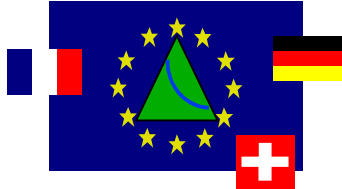


# ITADA

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



1999-2001

Abschlussbericht zum Projekt 1.1.2

**Anwendung des Verfahrens 'Agrarökologische Kenngrößen'  
Vergleich mit dem Verfahren KUL – Übertragung auf andere Anbau-  
systeme – Einsatz in sensiblen Gebieten – Übertragung auf EDV**

Projektleiter:	Christian Bockstaller (ARAA)	Colmar	F
Projektpartner:	Martina Reinsch (IfUL)	Müllheim	D
Weitere Beteiligte:	Phillippe Girardin (INRA)	Colmar	F

**Projekt gefördert durch die EU-Gemeinschaftsinitiative INTERREG II 'Oberrhein Mitte-Süd'**

Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Schiltigheim (ARAA)  
Institut National pour la Recherche Agronomique, Colmar (INRA)  
Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim (IfUL)

ITADA-Sekretariat: 2 allée de Herrlisheim, F-68000 COLMAR  
Tel.: 00333 89229550 Fax: 00333 89229559 eMail: itada@wanadoo.fr www.itada.org



# ITADA

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

**Das Aktionsprogramm II<sup>bis</sup> des ITADA untersteht der Trägerschaft des  
Conseil Régional d'Alsace und wird kofinanziert durch:**

Europäischer Regionalentwicklungsfonds (INTERREG Programm II Oberrhein Mitte-Süd)

Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg

Conseil Régional d'Alsace

Agence de l'Eau Rhin Meuse

Landwirtschaftliche Berufsverbände des Elsass

Schweizer Eidgenossenschaft

Kantone Basel-Stadt, Basel-Landschaft und Aargau

Projekt 1.1.2

**Anwendung des Verfahrens 'Agrarökologische Kenngrößen'**  
**Vergleich mit dem Verfahren KUL – Übertragung auf andere Anbausysteme –**  
**Einsatz in sensiblen Gebieten – Übertragung auf EDV**

wurde durchgeführt von:

Projektleitung: Christian Bockstaller (ARAA)

Projektpartner: Martina Reinsch (IfuL)

Mitbeteiligt: Phillippe Girardin (INRA)

---

Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Schiltigheim (ARAA)

Institut National pour la Recherche Agronomique, Colmar (INRA)

Institut für umweltgerechte Landwirtschaft Müllheim (IfUL)



<b>INHALTSVERZEICHNIS</b>	<b>Seite</b>
<b>ALLGEMEINE EINFÜHRUNG</b>	<b>8</b>
<b>A Ausgangssituation und Problemstellung</b>	<b>8</b>
<b>B Allgemeine Zielsetzung</b>	<b>9</b>
Kasten 1: Das INDIGO-Verfahren: Ein Evaluierungsverfahren auf der Grundlage von agrar-ökologischen Kenngrößen	11
 <b>TEILTHEMA 1: Anwendung des Verfahrens agrar-ökologische Kenngrößen (INDIGO): Vergleich mit dem KUL-Verfahren; Einsatz in anderen Produktionssystemen und in sensiblen Zonen; EDV-gestützte Berechnung</b>	<b>12</b>
<b>A Einführung</b>	<b>12</b>
<b>B Vergleich der Verfahren INDIGO und KUL</b>	<b>13</b>
1 Ausgangssituation und Problemstellung	13
Kasten 2: Agrar-Umwelt-Evaluierungsmethoden in Frankreich	14
Kasten 3: Umweltbewertungsverfahren in Deutschland	15
2 Zielsetzung	17
3 Methodik	17
4 Ergebnisse	17
4.1 Methodenvergleich: Das INDIGO-Verfahren ist komplexer	17
4.2 Vergleich der Ergebnisse: Das Indigo-Verfahren ist strenger als KUL	20
5. Vergleich der Ergebnisdokumentation und der Beratungsempfehlungen der beiden Verfahren	22
5.1 Dokumentation für den Landwirt	22
5.2 Vergleich der Empfehlungen	26
6. Umsetzung in die Praxis	27
7. Diskussion und Schlussfolgerungen	27
<b>C Betriebsdiagnose mit Hilfe eines Globalindikators</b>	<b>28</b>
1. Ausgangssituation und Problemstellung	28
2. Zielsetzung	29
3. Methodik	29
3.1 Allgemeine Beschreibung des Globalindikators IDU	29
3.2 Einsatz des Globalindikators IDU und von Multikriterien-Klassifizierungsverfahren des Typs ELECTRE	33
4. Ergebnisse	33
4.1 Klassifizierung der Betriebe mit dem Globalindikator IDU	33
Kasten 4: Die Multikriterien-Verfahren des Typs ELECTRE	34
4.2 Vergleich d. Klassifizierungen m. dem Indikator IDU u. dem Verfahren Electre III	36
5. Umsetzung in die Praxis	36
6. Diskussion und Schlussfolgerungen	37
<b>D Multikriterielle Klassifizierung von Unkrautbekämpfungsprogrammen bei Mais</b>	<b>38</b>
1. Ausgangssituation und Problemstellung	38
2. Zielsetzung	38
3. Methodik	38
3.1 Ausgewählte Kriterien	39
3.2 Berechnung der Kriterien	39
3.3 Ausgewählte Unkrautbekämpfungsprogramme	40
3.4 Anwendung des Verfahrens Electre III	41

4.	Ergebnisse	41
4.1	Vorläufiges Ergebnis: Vergleich von I-Phy und Kosten der Unkrautbekämpfung	41
4.2	Variabilität der Unkrautbekämpfungsprogramme	42
4.3	Mit dem Klassifizierungsverfahren Electre III erzielte Ergebnisse	42
5.	Praktische Umsetzung	46
6.	Diskussion und Schlussfolgerungen	46
<b>E</b>	<b>Allgemeine Schlussfolgerungen zu Teilthema 1</b>	<b>47</b>
	Literaturverzeichnis	48

## **TEILTHEMA 2: ÜBERTRAGUNG DES PFLANZENSCHUTZ-INDIKATORS AUF ANDERE PRODUKTIONSSYSTEME** **52**

<b>A</b>	<b>Ausgangssituation und Problemstellung</b>	<b>52</b>
<b>B</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>52</b>
<b>C</b>	<b>Durchgeführte Arbeiten</b>	<b>53</b>
1.	Anpassung des Moduls 'Luft' des Pflanzenschutz-Indikators	53
2.	Schaffung des Moduls 'Nützlinge' zum Pflanzenschutz-Indikator	55
2.1	Auswahl der Nützlings-Arten	55
2.2	Verwendete Daten zu den nicht beabsichtigten Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln	55
2.3	Aufbau des Moduls	55
2.4	Einbau des Moduls in den Indikator 'Pflanzenschutz'	58
3.	Anpassung des Pflanzenschutz-Indikators an die Bedingungen des Weinbaus	60
3.1	Erweiterung der Wirkstoff-Datenbank	60
3.2	Eichung des Indikators 'Programm'	60
4.	Einsatz des Pflanzenschutz-Indikators I-Phy zur Unterstützung bei der Mittelauswahl	60
4.1	Einrichtung einer systematischen Berechnung für alle Pflanzenschutzmittel	60
4.2	Verarbeitung der Ergebnisse	61
4.3	Auszug aus den Ergebnissen	62
<b>D</b>	<b>Umsetzung in die Praxis</b>	<b>64</b>
<b>E</b>	<b>Diskussion und Schlussfolgerungen</b>	<b>65</b>
	Literaturverzeichnis	66

## **TEILTHEMA 3: ANWENDUNG DER AGRAR-ÖKOLOGISCHEN KENNGRÖSSEN (INDIGO) IM SENSIBLEN GEBIET** **68**

<b>A</b>	<b>Ausgangssituation und Problemstellung</b>	<b>68</b>
<b>B</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>69</b>
<b>C</b>	<b>Angewandte Methoden</b>	<b>69</b>
<b>D</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>70</b>
<b>E</b>	<b>Umsetzung in die Praxis</b>	<b>72</b>
<b>F</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>72</b>
	Literaturverzeichnis	73

<b>TEILTHEMA 4: ENTWICKLUNG EINER SOFTWARE ZUR BERECHNUNG DER INDIKATORWERTE</b>		<b>74</b>
<b>A</b>	<b>Ausgangssituation und Problemstellung</b>	<b>74</b>
<b>B</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>74</b>
<b>C</b>	<b>Durchgeführte Arbeiten</b>	<b>74</b>
1.	Entwicklung der i-Phy-Software	74
2.	Entwicklung einer Access-Datenbank zur Berechnung aller Kenngrößenwerte	78
<b>D</b>	<b>Umsetzung in die Praxis</b>	<b>84</b>
<b>E</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>84</b>
	Literaturverzeichnis	85
<b>ALLGEMEINE SCHLUSSFOLGERUNG</b>		<b>86</b>
<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>		<b>88</b>
<b>ANHANG</b>		<b>97</b>
1	Grenzüberschreitende Zusammenarbeit im Rahmen des Vergleichs KUL – INDIGO	97
2	Das Verfahren KUL: Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung	98
3	Beschreibung der für den Vergleich KUL – INDIGO verwendeten landwirtschaftlichen Betriebe	99
4	Ermittlung der Werte der Leistungsfähigkeitsfunktion	102
5	Entscheidungsregeln für die Gewichtung der INDIGO-Indikatoren zur Berechnung des Relativindikators der Nachhaltigkeit (IDU)	105
6	Angaben zur Berechnung des Indikators IDU für die untersuchten Betriebe	111
7	Angaben zu den für die Multikriterien-Klassifizierung verwendeten Unkrautbekämpfungsprogrammen	114

## Arbeitsprogramm ITADA II<sup>bis</sup>

### Abschlussbericht - Projekt 1.1.2

#### Anwendung des Verfahrens 'Agrar-ökologische Kenngrößen': Vergleich mit dem Verfahren KUL, Übertragung auf andere Anbausysteme, Einsatz in sensiblen Gebieten, Übertragung auf EDV

##### Beteiligte

Projektverantwortlicher:	Christian Bockstaller (ARAA)	F
Projektpartner:	Martina Reinsch (IfUL Müllheim)	D
Mitbeteiligte:	INRA Colmar (Philippe Girardin)	F
	IfUL Müllheim (Dr. Vetter)	D

**Dauer** 01.07.1999 - 31.12.2001

### ALLGEMEINE EINFÜHRUNG

#### A Ausgangssituation und Problemstellung

Im letzten Jahrzehnt haben sich die Rahmenbedingungen für die intensive Landwirtschaft in den Ländern Europas weiterentwickelt und eine zunehmende Sensibilisierung der verschiedenen Akteure in der Landwirtschaft für Umweltprobleme bewirkt. Auf einer höheren Ebene ist das Konzept der Nachhaltigkeit, zumeist verengt auf seine ökologische Dimension, zu einem allgemeinen Ziel, ja zum Paradigma der landwirtschaftlichen Produktion der Zukunft geworden. Besteht hinsichtlich des Ziels eine gewisse Einigkeit, so gehen die Ansichten über die Wege auseinander. Um dieses manchmal vage Konzept konkretisieren und umsetzen zu können, sehen viele Forscher die Notwendigkeit, Instrumente zur Messung oder vielmehr Evaluierung der Nachhaltigkeit und, auf einer tieferen Ebene, der Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Umwelt zu entwickeln (Hansen, 1996; Bockstaller et al., 1997). Angesichts zu teurer und zeitaufwendiger systematischer Messungen vor Ort sowie mangels praxistauglicher Instrumente für exakte Vorhersagen, wird oft auf Indikatoren zurückgegriffen, die einen Kompromiss zwischen wissenschaftlicher Genauigkeit und Machbarkeit darstellen.

Unsere Arbeiten, die zur Entwicklung der agrar-ökologischen Kenngrößen, inzwischen 'INDIGO-Verfahren' (Kasten 1) genannt, geführt haben, sind in diesen Kontext einzuordnen. Im Rahmen früherer ITADA-Programme (Girardin et al. 1997; Bockstaller et Girardin, 2000b) haben wir eine erste Version zur Berechnung von Kenngrößen erstellt und diese in einem Netz von landwirtschaftlichen Betrieben auf beiden Seiten des Rheins getestet. Diese erste Version zur Berechnung der verfügbaren Kenngrößen verlangte einerseits Verbesserungen und neue Erkenntnisse, die Anwendung des Verfahrens offenbarte andererseits Probleme und warf Fragen auf. Diese sehr unterschiedlichen Fragen rückten in den Mittelpunkt des aktuellen Projekts und führten zu folgenden Unterthemen:

- Ein etwas theoretischerer Teil:
  - Sind die erzielten Ergebnisse belastbar und weisen sie in dieselbe Richtung wie die anderer Evaluierungsverfahren? Um dies zu klären, haben wir beschlossen, das INDIGO-Verfahren mit dem KUL-Verfahren (Anhang 2) zu vergleichen.
  - Der Indikatorenset dient der Ermittlung und Bewertung der Stärken und Schwächen landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen, um Verbesserungen im Hinblick auf die Agrar-Umwelt-Ziele in Richtung einer nachhaltigen Landwirtschaft zu erreichen. Aber ist eine umfassende Diagnose der Nachhaltigkeit unter dem Aspekt 'Ökologie' oder 'öko-



logische Machbarkeit' möglich, indem man diese Kenngrößen kombiniert oder aggregiert? Dies führt uns dazu, die Vorgehensweise zu untersuchen, Kriteriensysteme zu einem einzigen Wert zu aggregieren.

- Bei der Betrachtung einer nachhaltigen Landwirtschaft, die gleichermaßen auf einer ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension beruht, erscheint es uns angeraten, unsere Indikatoren zumindest mit ökonomischen Kriterien zu verknüpfen, nachdem wir uns für den sozialen Aspekt nicht kompetent fühlen. Die im vorangehenden Teil entwickelten und geprüften Verfahren könnten uns auch bezüglich dieser Problemstellung dienlich sein. Wir werden uns auf eine Untersuchung der Unkrautbekämpfung in Mais beschränken, einer Maßnahme von strategischer Bedeutung bei dieser Kultur, die Produkte verwendet, die im Zentrum der Umweltproblematik stehen (in Frankreich insbesondere Atrazin).

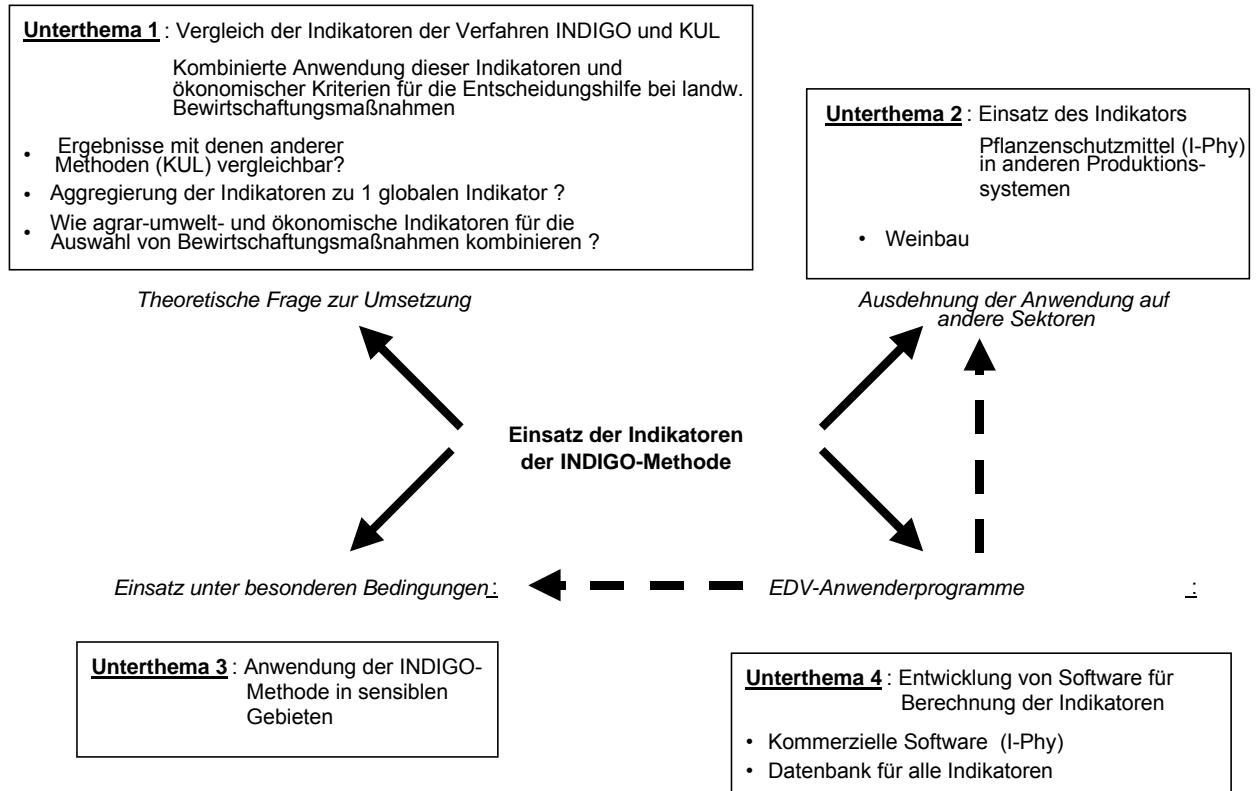
- Die Übertragung der INDIGO-Methode auf andere Betriebszweige als den Ackerbau:
  - In diesem Fall beschränken wir uns auf den Pflanzenschutzindikator I-Phy und den Betriebszweig Weinbau, der im Elsass und in Baden von besonderer Bedeutung ist.
- Die Anwendung der Indikatoren der INDIGO-Methode in Gebieten mit einer anerkanntermaßen besonderen Agrar-Umwelt-Problematik, die Reglementierungen oder besondere Aktionen veranlasst.
- Schließlich war es seit Beginn der Konzipierung der INDIGO-Indikatoren klar, dass ihre Berechnung mit Hilfe der EDV erfolgen muss, wenn sie angewandt werden sollen. Zwei Ansätze wurden verfolgt:
  - Zusammenarbeit mit einem Informatik-Unternehmen für die Entwicklung einer kommerziellen Software für den Indikator I-Phy und den Weinbau, einem Betriebszweig von herausragender Bedeutung für das Elsass und Baden.
  - Interne Entwicklung einer Berechnungssoftware für die Gesamtheit der Indikatoren an der INRA Colmar auf Grundlage der Microsoft-Access<sup>®</sup>-Datenbank (Version 97).

Diese Fragen haben also zu vier Unterthemen geführt, die miteinander verknüpft und in Abbildung 1 zusammengestellt sind. Die Teilthemen 1 und 3 wurden im Rahmen einer grenzüberschreitenden Zusammenarbeit zwischen der Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) sowie der Arbeitsgruppe 'Nachhaltige Landwirtschaft' der gemischten Forschungseinheit (UMR) INRA Colmar – ENSAIA Nancy einerseits und dem Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim (IfuL) andererseits bearbeitet. Im Anhang 1 sind die wichtigsten Ereignisse dieser grenzüberschreitenden Zusammenarbeit aufgeführt.

## **B Allgemeine Zielsetzung**

Die Projektziele sind:

- Antworten zu geben auf gewisse theoretische Aspekte der Anwendung der Indikatoren des Verfahrens INDIGO, um die Glaubwürdigkeit dieser Instrumente zu gewährleisten und deren Anwendungsmöglichkeiten zu vertiefen,
- den Anwendungsbereich der Kenngrößen der INDIGO-Methode über den Ackerbau hinaus sowie auf sensible Gebiete zu erweitern,
- die Anwendungsbedingungen dieser Instrumente durch die Entwicklung von Anwenderprogrammen zu verbessern, deren Gebrauch zu erleichtern und ihre Verbreitung zu fördern.



**Abb. 1:** Verknüpfung der verschiedenen Teilthemen im Projekt

## Kasten 1

### Das INDIGO-Verfahren: Ein Evaluierungsverfahren, das auf agrar-ökologischen Kenngrößen basiert

Die Entwicklung der agrar-ökologischen Kenngrößen beruht auf den folgenden Feststellungen (Girardin & Bockstaller, 1997):

- Bedarf an brauchbaren Bewertungsverfahren für die agronomischen und ökologischen Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen.
- Fehlen funktionierender wissenschaftlicher Modelle für die exakte Vorhersage der Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen auf Landbewirtschaftung und Umwelt, die aufwendige und teure Messungen im Freiland ersetzen könnten.
- Interesse am Kenngrößen-Konzept, das wie folgt definiert wurde:
  - ⇒ - "Indikatoren sind Variable [ ...], die Auskunft geben über andere Variable, die schwer erfassbar sind [ ...]. Die Kenngrößen dienen auch als eine Grundlage für die Entscheidungsfindung" (Gras et al., 1989). "Sie liefern Informationen über ein komplexes System, um dieses für die Benutzer verständlicher zu machen [...], so daß diese für die Verwirklichung der Ziele geeignete Entscheidungen treffen können" (Mitchell et al., 1995)

Aus dieser Definition folgt, dass die Kenngrößen die folgenden Eigenschaften aufweisen müssen, welche im Pflichtenheft, das der Entwicklung der agrar-ökologischen Kenngrößen zu Grunde lag, enthalten sind:

- Handhabbarkeit (zugängliche Daten, Berechnung mit EDV-Programm, ...)
  - ⇒ Sie werden berechnet auf der Grundlage von technischen Angaben, die der Landwirt macht sowie von stabilen Umweltdaten, die dem Landwirt zur Verfügung stehen (Bodenuntersuchung, ...). Für ihre Berechnung sind keine Daten erforderlich, die in regelmäßigen Feldmessungen gewonnen werden müssen.
- Lesbarkeit der Darstellung
  - ⇒ Die agrar-ökologischen Kenngrößen werden in Form von Indexzahlen zwischen 0 und 10 dargestellt mit einem Zielwert von 7, der den Mindestanforderungen der Integrierten Produktion entspricht.
- Sensibilität bezüglich Veränderungen der Anbaumaßnahmen
- Wiedergabe der Realität im Gelände
- Aussagefähigkeit für den Nutzer:
  - Die Berechnung erfolgt für jeden einzelnen Schlag (außer bei der *Kulturartenvielfalt*) für den Zeitraum von der Ernte der Vorfrucht bis zur Ernte des Betrachtungsjahres und wird flächenmäßig gewichtet.
  - Acht Kenngrößen, sieben 'Wirkungsindikatoren' und die Kenngröße Fruchtfolge, welche nicht direkt eine Wirkung sondern die Kohärenz des Systems bewertet (Bockstaller & Girardin, 2000c); Es handelt sich dabei um die Kenngrößen *Kulturartenvielfalt* (Girardin & Bockstaller, 1997), *Stickstoff* (Bockstaller & Girardin, 2000a), *Energie* (Pervanchon et al., 2001), *Beregnung, organische Substanz* (Bockstaller et al., 1997), *Pflanzenschutzmittel* (van der Werf & Zimmer, 1998) und *Phosphor* (Bockstaller & Girardin, 1998).
  - Eine neunte Größe wurde soeben fertiggestellt, in der vorliegenden Arbeit aber noch nicht verwendet: *Bodenbedeckung* (Keichinger & Girardin, 1998). Eine Kenngröße befindet sich derzeit in der Phase der Ausarbeitung: *Ökologische Strukturen*. Eine weitere Größe ist vorgesehen: *Bodenbearbeitung*. Schließlich wurden für ein Teilgebiet noch *Oberflächenabfluss-Erosion* und *Landschaft* bearbeitet (Weinstoerffer & Girardin, 2000)

## TEILTHEMA 1:

### **Vergleich der agrar-ökologischen Kenngrößen mit dem KUL-Verfahren – Kombinierte Anwendung dieser Indikatoren und ökonomischer Kriterien zur Unterstützung bei der Auswahl landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen**

**Projektleitung:** Christian Bockstaller (ARAA)  
**Projektpartner:** Martina Reinsch (IfuL)  
**Mitbeteiligte:** INRA Colmar (P. Girardin)

#### **A Einführung**

Im Rahmen der vorangegangenen Programme ITADA I und ITADA II hat die Arbeitsgruppe 'Nachhaltige Landwirtschaft' der gemeinsamen Forschungseinheit INRA Colmar – ENSAIA Nancy in Zusammenarbeit mit der Vereinigung zur Förderung der Landwirtschaft im Elsass (ARAA) ein Verfahren zur Bewertung von Risiken für die Umwelt bei landwirtschaftlichen Produktionsverfahren entwickelt, das auf einer Sammlung von Indikatoren beruht. Dieses Verfahren wurde zwischenzeitlich INDIGO-Methode getauft. Acht Indikatoren sind anwendungsreif und wurden in einem Netz von 14 Landwirtschaftsbetrieben beiderseits des Rheins getestet (Bockstaller & Girardin, 2000a). Außerdem war diese Methode Gegenstand einer Reihe von versuchsweisen Anwendungen in verschiedenen Regionen Frankreichs. Bisher haben wir uns darauf beschränkt, diese Methode zur Diagnose von Stärken und Schwächen eines Betriebs hinsichtlich der Ziele einer nachhaltigen Landwirtschaft einzusetzen und daraus im Dialog mit dem Landwirt Ansätze für Verbesserungen abzuleiten (s. a. Bockstaller & Girardin, 2000a).

Im Rahmen dieser Arbeiten konnten zwar die Möglichkeiten und Grenzen aufgezeigt werden, es bleiben jedoch noch Fragen eher theoretischer Art zur Anwendung. Parallel zu unserer Arbeit sind in den letzten Jahren in Frankreich (Briquel et al., 2001) und in Deutschland (Gebauer & Bäuerle, 2000) weitere Evaluierungsmethoden entwickelt worden. Diese Vielfalt wirft natürlich Fragen nach einem Vergleich der verschiedenen Methoden und vor allem danach auf, ob die Diagnosen zu denselben Schlussfolgerungen führen. Hier wird die Glaubwürdigkeit dieser Instrumente angesprochen, die es vor einer Verbreitung ihres Einsatzes zu klären gilt.

Die Anwendung einer Vielzahl von Indikatoren wirft häufig auch die Frage nach einem zusammenfassenden Indikator auf. Dieser würde eine umfassende Bewertung eines Landwirtschaftsbetriebes ermöglichen, auf leicht verständliche Weise die von Jahr zu Jahr gemachten Fortschritte darlegen und letztlich einen Vergleich zwischen Betrieben ermöglichen, was bei unserem Verfahren nur Indikator um Indikator möglich ist (Bockstaller & Girardin, 2000b). Ein derartiger Gesamt-Indikator ist sicher für die Einführung von Indikatoren von Interesse, ist aber auch Gegenstand von wissenschaftlichen Diskussionen (Hansen, 1996). Wir haben einen anderen Weg beschritten, um über eine auf Einzel-Indikatoren beruhende Betriebsbewertung hinauszukommen, indem wir die Multi-Kriterien-Methode der französischsprachigen Schule (Schärlig, 1985) angewandt haben. Diese Methode stützt sich nicht auf einen zusammenfassenden (oder globalen) Indikator und wurde speziell entwickelt, um der Komplexität menschlicher Entscheidungen bei Problemen mit mehreren Merkmalen sowie sich widerstreitenden Zielen und Interessen Rechnung zu tragen, ohne in die Falle des gewichteten Mittelwerts zu tappen. Derartige Verfahren wurden im Bereich der Landbauwissenschaften angewandt (Loyce, 1998), (Arondel, 2000).

Diese Entscheidungsfindungsmethoden mit mehreren Kriterien erschienen uns auch für die dritte Art der Fragestellungen, die über die vorherigen hinausgeht, besonders interessant: Wie lassen sich die INDIGO-Agrar-Umwelt-Kriterien mit ökonomischen Kriterien kombinieren, um Anbausysteme oder Bewirtschaftungsmaßnahmen auszuwählen. Auf diese Art sollen Kompromisse zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen gefunden werden, was genau in

die Richtung einer nachhaltigen Landwirtschaft geht. Zur Bearbeitung dieser Frage haben wir uns auf einen Fall konzentriert, der keine allzu großen Investitionen in ökonomische Berechnungen erforderte und im Kontext der Rheinebene interessant war: Die Unkrautbekämpfung in Mais, eine zentrale Bewirtschaftungsmaßnahme bei dieser Kultur, unter Verwendung von Produkten, die im Zentrum der Umweltproblematik stehen (insbesondere Atrazin).

## **B Vergleich der Verfahren INDIGO und KUL**

### **1. Ausgangssituation und Problemstellung**

Es gibt heute eine Reihe von Methoden, die Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen evaluieren und häufig auf dem Gebrauch von Indikatoren beruhen (siehe Kästen 2 und 3). Die Vielfalt an Instrumenten wirft bei Praktikern auf der Suche nach einer geeigneten Methode für ihre Problemstellung natürlich Fragen auf. In der Tat muss der potentielle Anwender über die Möglichkeiten und Grenzen, den Gültigkeitsbereich, die Brauchbarkeit usw. der ihm angebotenen Instrumente Bescheid wissen. Bedeutsamer aber ist, dass eine gewisse Verunsicherung bezüglich der mit dieser oder jener Methode erzielten Ergebnisse auftreten kann: Stimmen die Diagnosen und die daraus abgeleiteten Empfehlungen (mehr noch als die Rohergebnisse) mit denjenigen einer anderen Methode überein? Diese Frage ist zentral für die Glaubwürdigkeit dieser Art von Instrumenten und verlangt nach Vergleichen zwischen den verschiedenen Evaluierungssystemen. Aus wissenschaftlicher Sicht kann ein derartiger Vergleich auch der Validierung von Indikator-Systemen dienen, die nicht immer ganz einfach mit Messungen im Gelände abzugleichen sind. Wenn zwei unabhängig voneinander aufgebaute und auf unterschiedlichen Berechnungsweisen basierende Verfahren zu ähnlichen Ergebnissen kommen, kann man annehmen, dass ihnen eine gewisse Gültigkeit zukommt (Bockstaller & Girardin, 2002).

Mehrere Autoren haben deshalb einen tiefergehenden Vergleich zwischen einer Anzahl von Verfahren in Angriff genommen. In der Schweiz wurde eine Gruppe von Experten mittels Fragebogen nach den verfügbaren Instrumenten und Ihrem Urteil über deren Eignung für die Beurteilung von Umweltwirkungen im Zusammenhang mit der Einführung der neuen schweizer Agrarpolitik befragt (Hess et al., 1999). Im übrigen haben mehrere Autoren eine Beschreibung und Bewertung verschiedener Methoden vorgenommen. Auf internationaler Ebene: Hertwich et al. (1997), Reus et al. (1999). In Frankreich: Briquel et al. (2001), van der Werf & Petit (2002). In Deutschland: Gebauer & Bäuerle (2000). Mit Ausnahme von Reus et al. (1999) haben die Autoren aber keinen Vergleich der Ergebnisse mit einem einheitlichen Datensatz vorgenommen.

Im Rahmen dieses ITADA-Projekts haben wir deshalb in Zusammenarbeit mit dem Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim (IfUL) einen Vergleich zweier Verfahren, die auf Indikatoren beruhen, bis hin zu den Ergebnissen vorgeschlagen:

- das deutsche Verfahren KUL (Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung), das von einer Forschergruppe in Jena (Eckert et al., 1999; Eckert et al., 2000; Breitschuh et al., 2001) entwickelt wurde, jedoch bundesweit vom VDLUFA empfohlen wird und von daher auszuwählen war (siehe Kasten 3). Eine ausführliche Beschreibung findet sich in Anhang 2. Informationen gibt auch die Website des VDLUFA<sup>1</sup>
- das Verfahren INDIGO, das auf den agrar-ökologischen Kenngrößen beruht und von der INRA in Colmar in Zusammenarbeit mit der Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) im Rahmen verschiedener ITADA-Programme entwickelt wurde (Girardin et al. 1997; Bockstaller & Girardin, 2000b) und Gegenstand mehrerer Veröffentlichungen war (s. Kasten 1).

<sup>1</sup> [www.vdlufa.de/kul/usl](http://www.vdlufa.de/kul/usl)

## Kasten 2 (P. Girardin)

### Ein Blick auf die Agrar-Umwelt-Evaluierungsmethoden in Frankreich

Die 5 wichtigsten Evaluierungsmethoden für den agrar-ökologischen Bereich, die derzeit in Frankreich existieren ('IDEA' vom DGER des Landwirtschaftsministeriums, 'INDIGO', 'DIAGE' von den Genossenschaften (NICAA), 'DIALECTE' von Solagro und der regionalen Landwirtschaftskammer Midi-Pyrénées sowie 'ARBRE' von der Confédération Paysanne) unterscheiden sich hauptsächlich durch:

- das Globalziel (Instrument für Erhebungen oder Instrument zur Entscheidungshilfe)
- die Zielgruppe (Landwirte oder Berater)
- die Bezugsebene (der Schlag bei INDIGO, der Betrieb bei den vier anderen).

Die Methoden IDEA und ARBRE evaluieren alle Bereiche der Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch und sozial), während die anderen nur die Auswirkungen auf die Umwelt bewerten.

Die INDIGO-Methode ist unwidersprochen die wissenschaftlich am besten fundierte. Ein 7-stufiges Verfahren zur Entwicklung der Indikatoren wurde vorgeschlagen und umfasst verschiedene Verfahren zur Informationsverarbeitung und verschiedene Validierungsarten. Drei Verfahren aggregieren die Information durch die Addierung von Punkten, was Kompensationseffekte zwischen verschiedenen Kriterien vermuten lässt, praktisch aber nicht vorkommt.

Die INDIGO-Methode liefert Informationen und ermöglicht Empfehlungen auf der Ebene des Schlages, das heißt dort, wo die Entscheidungen getroffen werden (Wahl von Termin, Produkten, Aufwandsmengen, ...). Alle Methoden sind leicht anzuwenden und liefern verständliche Aussagen. Der Zeitaufwand ist bei den verschiedenen Methoden in etwa ähnlich (1 bis 1,5 Tage je Betrieb). Die wissenschaftliche Kohärenz und die Aussagekraft für den Anwender macht INDIGO zu einer der attraktivsten Methoden zur Bewertung der Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen und für eine Weiterentwicklung derselben in Richtung auf die Ziele der Integrierten Produktion.

**Tab. 1:** Ein Überblick über die wichtigsten französischen Evaluierungsmethoden

Methoden	Zielgruppe	Bewertungsbereich	Zielsetzung	Maßstab	Anzahl Indikatoren	Eingangsdaten	Aggregierungsverfahren
IDEA	Landwirte	3 Ebenen (ökon./ökol./soz.)	pädagog. Erhebung	Betrieb	36	121 Variable	Punkte
INDIGO	Landwirte, Berater	1 Bereich (Agrar-Umwelt)	Erhebung Entscheidungshilfe	Schlag	10	89 Variable	Modelle Expertensysteme
DIALECTE	Landwirte, Berater	2 Themen	Erhebung	Betrieb	49	ca. 94 Variable	Punkte
DIAGE	Landwirte, Berater	1 Bereich (Umwelt)	Erhebung Öffentlichk.arbeit	Betrieb	17 Umweltaspekte	ca. 500 Variable	Punkte
ARBRE	Landwirte	4 Säulen <sup>a</sup>	Projektunterstützung	Betrieb		79 Kriterien	Ja/Nein

<sup>a</sup> Reproduzierbarkeit (ökol.), Machbarkeit (ökon.), Übertragbarkeit (sozio-ökonom.), Lebbarkeit (sozial)

### Kasten 3 (M. Reinsch)

#### Überblick über Umweltbewertungsverfahren in Deutschland

Die Entwicklung geeigneter Umweltbewertungsverfahren auf Ebene des Landwirtschaftsbetriebes ist in Deutschland ein eigenständiger Forschungsschwerpunkt geworden.

Inzwischen gibt es eine Reihe von Ansätzen, die geeignet sind, die Umweltwirkungen, die von einem Landwirtschaftsbetrieb ausgehen, zu erfassen und zu bewerten.

Es haben sich zwei Gruppen von Umweltbewertungsverfahren für die Anwendung auf Ebene des Landwirtschaftsbetriebes herausgebildet: Die Gruppe der Verfahren zur Schwachstellenanalyse, die auf eine effiziente Ressourcennutzung abzielen, und die Gruppe der Verfahren zur Bewertung ökologischer Leistungen, bei denen der biotische Bereich (Arten-, Biotop- und Landschaftsschutz) im Vordergrund steht.

Die Umweltbewertungsverfahren zur Schwachstellenanalyse werden für den betrieblichen Umweltschutz herangezogen. Sie sind aus Elementen wie Stoff- und Energiebilanzen, Kennzahlen und Indikatoren sowie Checklisten aufgebaut und basieren auf vorwiegend handlungsorientierten Kriterien. Unterschiede ergeben sich aus der Auswahl der Kriterien und dem Niveau der gewählten Verknüpfungen und Bewertungsmodi.

Für die jeweilige Eignung der Verfahren für die betriebspraktische Anwendung wurde in einem Forschungsprojekt an der Humboldt Universität Berlin und der Universität Hohenheim in den Jahren 1998/99 der Frage nach dem spezifischen Nutzen (ökologie- und umweltorientierte Informationen) im Verhältnis zum jeweiligen Aufwand für den Landwirt nachgegangen (Gebauer, J.; Bäuerle, A. S., 2000). Das Ergebnis der Bewertung verschiedener Umweltbewertungsverfahren nach ihrem jeweiligen Nutzen-Aufwand-Verhältnis hob den hohen Aussagewert der *Ökobilanzsystematik* hervor. Dieser geht allerdings mit einem enorm hohen Anspruch an die Datenanforderungen und die zugrunde zu legende Anwenderqualifikation einher, so dass sich die Ökobilanzsystematik auf einzelbetrieblicher Ebene vorerst nicht für einen breiten Einsatz empfiehlt.

Als Instrumente, die bei relativ geringem Aufwand eine gute bis sehr gute Aussagekraft erzielen konnten, d.h. ein nahezu optimales Aufwand-Nutzen-Verhältnis erreichten, taten sich das *Modell REPRO* (Universität Halle) und das Umweltbewertungsverfahren *'Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung'/KUL* (TLL<sup>2</sup> Jena) hervor. Sie eignen sich daher für die betriebspraktische Anwendung. Das Verfahren REPRO steckte zum Zeitpunkt der Beantragung dieses ITADA-Projektes noch in der Entwicklung bzw. in der Phase der Modellanwendung, während das Verfahren KUL bereits in ca. 120 Betrieben erprobt war, so dass die Wahl für den Vergleich mit dem französischen Indikatorenmodell INDIGO auf das Verfahren KUL fiel. Zur Beurteilung der Instrumente mit vorwiegend biotischem Ansatz, die auf ergebnisorientierten Kriterien (floristisch-vegetationskundliche und landschaftsökologische Bestandsaufnahmen im Gelände) basieren, muss auf den relativ hohen Zeit- und Kostenaufwand verwiesen werden, der das jeweilige Nutzen-Aufwand-Verhältnis schmälert. Der ergebnisorientierte Ansatz dieser Gruppe ist aus naturschutzfachlicher Sicht aber sinnvoll, da mit ihm ein hohes Maß an Objektivität und Genauigkeit erreicht wird. Ihr Aussagewert bezieht sich dabei allerdings auf einen sehr spezifischen umweltrelevanten Bereich (Arten- und Biotopschutz), so dass sich diese Verfahren auf betrieblicher Ebene vorzugsweise für die naturschutzfachliche Bewertung von Betrieben empfehlen, etwa zur Honorierung ökologischer Leistungen.

<sup>2</sup> TLL Jena:= Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft Jena

**Tab. 2:** Übersicht über die wichtigsten deutschen Umweltbewertungsverfahren

<b>Verfahren</b>	<b>KURZBESCHREIBUNG</b>
NIEBERG <sup>1)</sup>	Indikatorenset zur Analyse von Umweltwirkungen landwirtschaftlicher Betriebe im Zusammenhang mit Erwerbsform und Betriebsgröße. Indikatoren aus den Bereichen Düngung, Pflanzenschutz, Ackerflächennutzung und Landschaftsstruktur.
KUL <sup>2)</sup>	EDV-gestütztes Umweltbewertungsverfahren anhand definierter (handlungsorientierter) Kriterien in den Umweltwirkungskategorien: Nährstoffhaushalt, Bodenschutz, Pflanzenschutzmitteleinsatz, Landschafts- und Artenvielfalt und Energiebilanz. Festlegen von standortspezifischen Grenzwerten und Toleranzbereichen (Zielvorgabe). Bewertung anhand von Boniturnoten. Starke ackerbauliche Orientierung.
REITMAYR <sup>3)</sup>	Rechnergestütztes Kennzahlensystem zur ökonomischen und ökologischen Betriebsbewertung. Ausgangspunkt ist das Kostenrechnungssystem der relativen Einzelkosten mit einem prozessorientierten Ansatz. Die Erfassung der ökologischen Parameter erfolgt parallel zu den ökonomischen Kostenarten.
REPRO <sup>4)</sup>	EDV-gestütztes Verfahren auf der Grundlage von Stoff- und Energieflüssen in Abhängigkeit von Betriebsstruktur, Bewirtschaftungsintensität und Verfahrensgestaltung. Modularer Aufbau; Abbildung vernetzter Stoffflüsse; Kombination ökologisch-ökonomischer Analysen ermöglicht Gesamtaussagen zu Betriebssystemen und den Vergleich mit anderen Betriebsvarianten (Abbildung von veränderten potentiellen Umweltwirkungen und Deckungsbeitragsdifferenzen).
Ökobilanz	Grundlage ist die Input-/Outputanalyse. Konzentration ausschließlich auf die Bewertung ökologischer Effekte; wirtschaftliche und gesellschaftliche Belange bleiben ausklammert. Betriebliche Ökobilanzen bislang noch wenig verbreitet.
FRIEBEN <sup>5)</sup>	Überwiegend ergebnisorientierter Bewertungsansatz für die Beratung ökologisch wirtschaftender Betriebe zur Ermittlung von Leistungen, Defiziten und Optimierungsbedarf im Hinblick auf Biotop- und Artenschutz. Bewertet werden die Produktionsbiotope Acker, Dauergrünland (u.a. Erfassung von Nutzungsparametern) und Hecken.
Naturbilanz <sup>6)</sup>	Ergebnisorientierter Ansatz auf der Indikatorebene Flora, Fauna und Landschaftsstruktur. Ergebnisse: Status-quo-Analyse und Bilanz. Bilanzierungsbereiche: Artenvielfalt, Strukturausstattung/ Landschaftselemente, Extensivnutzungsflächen, Wirtschaftsweise und Hofstelle/ Betriebsführung. Bewertung der Leistungen nach einer 100-Punkte-Skala (Zielgröße).
ÖKABB <sup>7)</sup>	Ergebnisorientierter Bewertungsansatz zur Einstufung einer konkreten Fläche nach ihrer Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz in eine von insgesamt 5 Kategorien (A bis E). Bewertungsgrundlage: flächendeckende Vegetationskartierung und Berücksichtigung von Biotoptypen. Hauptkriterien: Naturnähe, Ersetzbarkeit, Seltenheit/ Gefährdung, Intaktheit, Bedeutung für das Lebensraumgefüge. Punktevergabe nach Erfüllungsgrad des jeweiligen Kriteriums, Gesamtpunktzahl durch Addition.

<sup>1)</sup> Indikatorenkonzept nach Nieberg, 1994 (zitiert in Gebauer & Bäuerle, 2000)

<sup>2)</sup> Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung, TLL Jena, 1997 (s. Text und Anhang 2)

<sup>3)</sup> Ökonomisch-ökologisches Kennzahlensystem nach Reitmayr, 1995

<sup>4)</sup> Modell REPRO, Universität Halle-Wittenberg, 1998

<sup>5)</sup> Bewertungsansatz nach Friebe, 1998 (für ökologisch wirtschaftende Betriebe entwickelt)

<sup>6)</sup> Ökologischer Betriebsspiegel und Naturbilanz, 1998 (in einem Arbeitskreis praktizierender Landwirte und Naturschutzfachleute des NABU entwickelt)

<sup>7)</sup> Ökologische Analyse, Bewertung und Bilanzierung, Universität Bonn 1989; 1997 Erweiterung um Bewertungsmöglichkeit abiotischer Ressourcen



## 2. Zielsetzung

- Vergleichende Beschreibung der Verfahrenen INDIGO und KUL, um ihre Möglichkeiten und Grenzen zu evaluieren.
- Vergleich der in einem Betriebsnetz gewonnenen Ergebnisse der Bewertungen durch das jeweilige Verfahren hinsichtlich Diagnose und Empfehlungen zur Ermittlung der Glaubwürdigkeit der Methoden.

## 3. Methodik

Für einen ersten beschreibenden Teil werden wir uns von der Vorgehensweise der vorstehend zitierten Autoren inspirieren lassen und uns auf die Publikationen der Autoren der KUL-Methode stützen (Eckert et al., 1999; Eckert et al., 2000). Im weiteren haben wir die beiden Methoden bei einer Gruppe von landwirtschaftlichen Betrieben in der Rheinebene, von denen einige schon im Rahmen der Projekte 14 und A4 der früheren ITADA-Programme begleitet wurden, eingesetzt. Um die Vielfalt der Stichprobe zu erhöhen, wurden einige neue Betriebe (Tab. 3) mit Tierhaltung oder besonderen Kulturen (z.B. Frühkartoffeln, Zwiebeln) aufgenommen. Eine genaue Betriebsbeschreibung wird in Anhang 3 gegeben. Die für die Berechnung erforderlichen Daten wurden 1999 durch Befragungen erhoben und den Autoren der KUL-Methode (deren Berechnungsprogramm nicht zugänglich ist) zur Auswertung übersandt. Die Werte der INDIGO-Indikatoren wurden mit einer von der INRA Colmar entwickelten Access-Datenbank (Version 97), die auch ins Deutsche übersetzt wurde, berechnet. Um die Zahl der gemeinsamen Indikatoren zu vergrößern (Tab. 4) wurden die Indikatoren 'Kulturartenvielfalt' und 'Stickstoff' von INDIGO jeweils in zwei Teilkomponenten aufgespalten. Im Jahr 2000 konnte die Berechnung bei 2 Betrieben wiederholt werden.

**Tab. 3:** Typen der in den Vergleich einbezogenen landwirtschaftlichen Betriebe

Betrieb	Ackerbau-Marktfucht	Ackerbau und Sonderkulturen	Flächenunabhängige Tierhaltung und Ackerbau	Rindviehhaltung und Ackerbau	Grünland-Milchviehbetriebe
Elsass*	4	2	-	-	
Baden*	3	-	-	-	
Baden neu	-	1	2 <sup>a</sup>	3 <sup>b</sup>	2

\* Betriebe, die bereits an früheren ITADA-Projekten beteiligt waren

<sup>a</sup> einer mit Legehennen und einer mit Schweinemast

<sup>b</sup> alle mit Milchvieh

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Methodenvergleich

Die wichtigsten Merkmale der beiden Verfahren sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Bezüglich der Ausgangsziele, der Darstellung der Ergebnisse und der betrachteten Problembereiche gibt es einige Ähnlichkeiten, es gibt aber auch Unterschiede:

- bezüglich der behandelten Problembereiche: Die chemische Qualität des Bodens, die Bodenverdichtung und Erosion werden von KUL angesprochen, die Fruchtfolge und die Beregnung dagegen von INDIGO.
- bezüglich des Anwendungsbereichs: Die INDIGO-Methode ist derzeit für die Gesamtheit der Indikatoren nur im Ackerbau (große Kulturen sowie ähnlich geartete besondere Kulturen wie Kartoffeln, Kopfkohl, Tabak, ...) anwendbar. Der Anwendungsbereich von KUL ist deutlich breiter.
- bezüglich der Berechnungsebene: INDIGO liefert Ergebnisse für jeden Schlag (und sogar für jede Pflanzenschutzmaßnahme).

- Die Zahl der Indikatoren ist bei KUL größer, da sie nicht zu zusammengesetzten Indikatoren gebündelt werden, was bei INDIGO eine Reduzierung der Indikatoren erlaubt (z.B. Größe der Schläge und Kulturartenvielfalt, die bei INDIGO in einem einzigen Indikator „Flächennutzung“ zusammengefasst sind).
- bei den Berechnungsmethoden, die insgesamt unterschiedlich und bei INDIGO komplexer sind (Tab. 5).
- Was die Aggregation zu einem Globalindikator angeht, so sind die Ansätze entgegengesetzt. Darauf wird im Teil B dieses Kapitels eingegangen.

**Tab. 4:** Vergleich der allgemeinen Merkmale der beiden Verfahren

	<b>KUL</b>	<b>INDIGO</b>
<b>Allgemeine Zielsetzung</b>	agrar-ökologische Evaluierung von Stärken und Schwächen; Grundlage für Vergabe eines Gütesiegels <sup>a</sup>	agrar-ökologische Evaluierung von Stärken und Schwächen Werkzeug für Simulation im Hinblick auf die Auswahl von Anbaumaßnahmen
<b>Endverbraucher</b>	Landwirte und Berater	Landwirte und Berater
<b>Berechnungsebene</b>	Betrieb	Einzelschläge und Betrieb
<b>Kriterien/Indikatoren (in fett diejenigen, die verglichen wurden)</b>	<b>NH<sub>3</sub>; N-, P-, K-Bilanz; P-, K-, Mg-, pH-Bodenwerte; Humusbilanz, Erosions- und Verdichtungsgefahr; Median der Schlaggröße; Pflanzenschutzmitteleinsatz, Integrierter Pflanzenschutz, Kulturartenvielfalt; Energiebilanz und -gewinn</b>	<b>Kulturartenvielfalt, Fruchtfolge, Organische Substanz, Phosphor, Stickstoff, Pflanzenschutz, Beregnung, Energie<sup>b</sup></b>
<b>Berechnungsverfahren</b>	Betriebsbilanzen, Gleichungen, Koeffizienten	Gleichungen, einfache Modelle, Expertensysteme
<b>Darstellung der Ergebnisse</b>	Zwischen 1 (gut) und 10 (schlecht) mit einer Toleranzgrenze bei 6	Zwischen 0 (schlecht) und 10 (gut) mit einem empfohlenen Wert von 7 (Schwelle bei 6,5)
<b>Aggregation und Gewichtung</b>	aufgegeben	Vorhaben (s. Teil B)

<sup>a</sup> 'Betrieb der umweltverträglichen Landwirtschaft'

<sup>b</sup> Beim INDIGO-Verfahren befinden sich noch weitere in Entwicklung: Bodenbedeckung, Ausgleichsflächen ('unproduktive Strukturen'), Erosion-Oberflächenabfluss

**Tab. 5:** Vergleich der Verfahren zur Berechnung von Kenngrößen

Indikator	KUL	INDIGO
Schlaggröße <sup>a</sup>	Median der Größenverteilung der Schläge des Betriebs  Referenzwert = 20 ha	= 1 – SA10  SA10 = Fläche 'Große Schläge' / Gesamtfläche  Großer Schlag: > 25 ha  unscharfer Übergangsbereich von 5 – 25 ha
Kulturartenvielfalt <sup>a</sup>	= $-\sum p_i \cdot \ln p_i$ (Shannon-Index)	= $N_c \cdot D$  Nc = Anzahl Kulturen  D = Verteilungsindex (relativer Shannon-Index)
Organische Substanz	Hofor-Bilanz Zufuhr-Abfuhr	= Zufuhr durch Kultur und Düngung / empfohlene Zufuhr  Die Empfehlungen beruhen auf dem nach Bodenbearbeitung,... gewichteten Modell von Hénin-Dupuis
Phosphat	Hofor-Bilanz Zufuhr-Abfuhr	Vergleich: Düngung – Empfehlung (mit der REGIFERT-Methode berechnet) (Pellerin, 2000)
Stickstoff	Hofor-Bilanz Zufuhr-Abfuhr	Empirisches Evaluierungsmodell für die Ammonium- und Grundwasser-verluste auf dem Schlag
NH <sub>3</sub> <sup>b</sup>	Koeffizienten für die Tierhaltung	Koeffizienten in Abhängigkeit vom Dünger, der Jahreszeit, dem Boden und der Einarbeitung
Pflanzenschutzmittel	'monetärer Aufwand' (Kosten) (DM/ha) im Vergleich zu einem regionalen Referenzwert	Fuzzy-Logic-Expertensystem mit Berücksichtigung von Wirkstoff, Umwelt und Ausbringungsbedingungen; Bewertung der Risiken für Grund- und Oberflächenwasser und die Luft
Energie	Rechnungen des Betriebs für Energieträger + Koeffizienten für Dünger und Pflanzenschutzmittel	Gleichungen und Koeffizienten für Dünger und Pflanzenschutzmittel

<sup>a</sup> Diese beiden Komponenten werden bei INDIGO zum Indikator 'Kulturartenvielfalt' aggregiert

<sup>b</sup> Dieses Modul ist bei INDIGO im Indikator 'Stickstoff' enthalten

Insgesamt illustrieren diese Unterschiede gut die Vor- und Nachteile des jeweiligen Verfahrens, wie aus Tab. 6 ersichtlich wird. Das KUL-Verfahren scheint etwas weniger anspruchsvoll bezüglich Zeitaufwand und Qualifikation zu sein. Wir haben diese Unterschiede jedoch nicht quantitativ erfasst und versucht, Redundanzen zwischen den beiden Fragebogen zu vermeiden, um die Landwirte nicht zu sehr in Anspruch zu nehmen. Ein gewichtiger Nachteil der KUL-Methode ist, dass die Daten an eine Auswertungsstelle versandt werden müssen, die sich um die Berechnungen kümmert (gegen Gebühr). Das hat außerdem zur Folge, dass die mit der Auswertung und der Erstellung der Beratungsempfehlung befassten Personen im Gegensatz zu INDIGO keinen direkten Kontakt zu dem Landwirt haben. INDIGO kann dagegen detailliert die Wirkungen bestimmter Maßnahmen darlegen (um welche Belastung geht es, welche Maßnahme ist ursächlich, auf welchem Schlag, welchen Anteil hat der Standort, etc.).

**Tab. 6:** Vergleichende Bewertung der beiden Verfahren (nach Gebauer und Bäuerle, 2000)

	KUL <sup>a</sup>	INDIGO <sup>b</sup>
<b>Anforderungen des Verfahrens</b>		
Zeitaufwand	---	----
Externe Unterstützung	----	--
Qualifikation des Anwenders	--	----
Zusätzliche Daten	--	--
Zugänglichkeit der Daten	-	-
<b>Potential des Verfahrens</b>		
Reichweite der Analyse (Anzahl behandelter Probleme)	+++	++
Tiefe der Analyse	+++	+++++
Analyse von Stärken und Schwachstellen	+++++	+++++
Analyse der Ursachen (Stärken/Schwächen)	+++	++++
Überprüfung der wirklichen Auswirkungen auf die Umwelt	+++	+++
Darlegung der Ursachen dieser Wirkungen	+++	+++

<sup>a</sup> Die Werte für KUL sind Gebauer und Bäuerle, 2000 entnommen.

<sup>b</sup> Die Werte für INDIGO wurden von einem seiner Autoren geschätzt

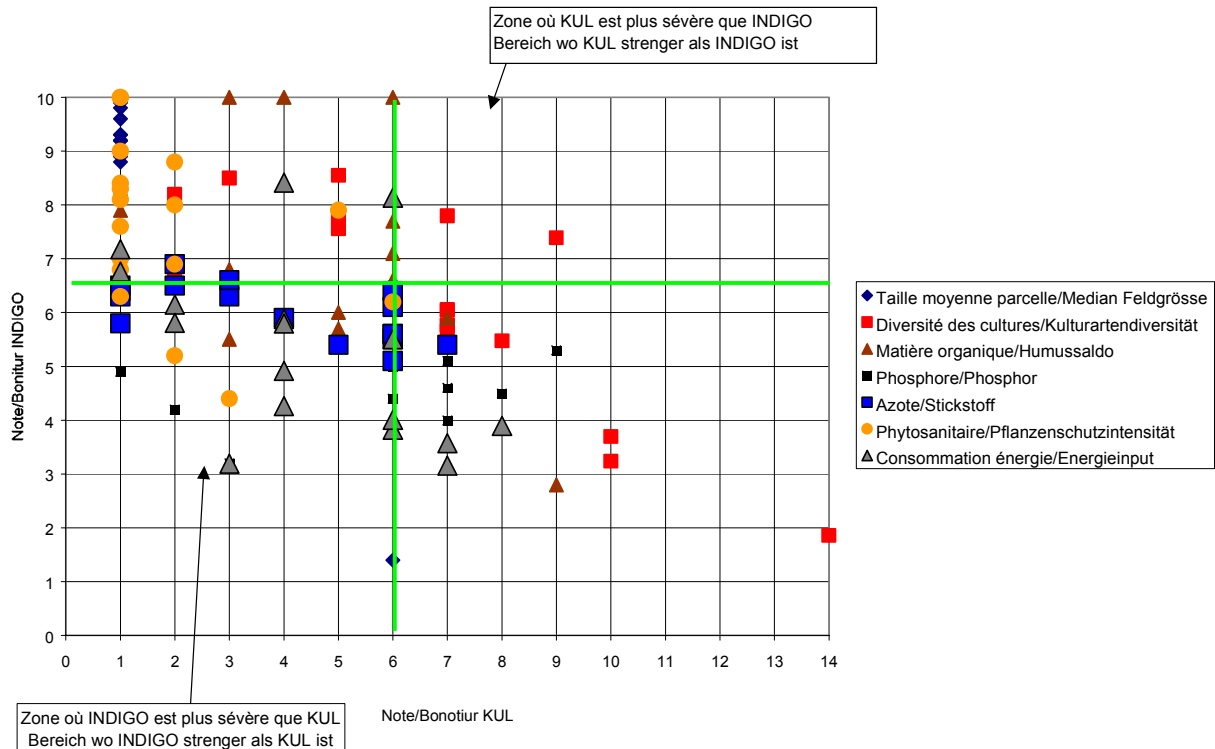
## 4.2 Vergleich der Ergebnisse

Wie im vorherigen Abschnitt erwähnt, ist die INDIGO-Methode nur bei den großen sowie einigen speziellen Kulturen des Ackerbaus anwendbar. Deshalb konnten für die beiden Tierhaltungs-Grünland-Betriebe mit 100% Dauergrünland die Indikatoren nicht berechnet werden. Bei einem Betrieb mit 50% Dauergrünland haben wir uns auf den Ackerbau beschränkt. Betriebe mit flachenunabhangiger Tierhaltung sind weniger problematisch, weil sie meist kein Dauergrünland bewirtschaften. Bei Stillungsflachen wird angenommen, dass die Dauerbrache kaum eine Gefahr für die Umwelt darstellt. Rotationsbrache wird als eine ungedüngte und unbehandelte Kultur angesehen. Um die Abweichungen beim Vergleich der Ergebnisse zu begrenzen, haben wir, dort wo es möglich war (z.B. bei 'Energie'), die Werte der KUL-Methode für den Ackerbauteil eingesetzt. In einem Betrieb mit Spargel haben wir diese Kultur bei beiden Methoden aus dem Vergleich genommen.

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass die mit den beiden Verfahren erzielten Ergebnisse nicht eng korreliert sind. Was vor allem zählt, ist die Diagnose. Liegen die Ergebnisse im akzeptablen oder im kritischen Bereich des jeweiligen Verfahrens? Abbildung 2 zeigt einige Divergenzen:

- In 2 von 136 Fällen ist das KUL-Verfahren strenger als INDIGO. Dies betrifft den Indikator 'Kulturartenvielfalt' bei einem Betrieb mit Grünlandanteil. Grünland wird von KUL nicht als Kulturart berücksichtigt, während INDIGO sogar Fett- und Magerwiesen unterscheidet. Diese Flächen haben in der Tat einen unterschiedlichen Einfluss auf die Landschaft, insbesondere weil sie das Landschaftsbild unterschiedlich prägen und unterschiedliche Bedingungen für die Biodiversität bieten. Bei der KUL-Methode zielt der Indikator ausschließlich auf die Kulturarten, möglicherweise um eine Information über die Vielfalt der Fruchtfolge zu geben. INDIGO widmet der Fruchtfolge einen spezifischen Indikator (Bockstaller et Girardin, 2000c).
- In rund 30% der Fälle ist INDIGO strenger als KUL, und zwar bei folgenden Kenngrößen:
  - 'Organische Substanz' (6 Fälle): Die Abweichungen sind wahrscheinlich durch Unterschiede in der Berechnungsweise und bei den verwendeten Koeffizienten bedingt.

- 'Phosphor' (11 Fälle) und 'Stickstoff' (12 Fälle): Eine erste Erklärung kann darin gesehen werden, dass die KUL-Kriterien auf Betriebsbilanzen beruhen, bei denen Kompensationen zwischen über- und unterversorgten Flächen möglich sind (Benoît, 1992), was bei INDIGO nicht erlaubt ist. Im übrigen orientiert sich INDIGO nicht an den Nährstoffabfuhr, sondern an der empfohlenen Düngung, wie sie mit einem neuen am INRA entwickelten Verfahren (Tab. 5), das die Erkenntnisse der letzten 20 Jahre berücksichtigt, berechnet wird. Die Empfehlung kann auf gut versorgten Böden, wie man sie im Elsass häufig antrifft '0' (nichts) lauten. In einem Betrieb mit Mais-Monokultur und Mais-Weizen-Fruchtfolge und einer durchschnittlichen Düngung von 108 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha beträgt die Betriebsbilanz + 36 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, was an der Grenze der Toleranz des KUL-Verfahrens liegt ( $\pm 35$  kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Der INDIGO-Indikator bezieht sich auf eine durchschnittliche Düngeempfehlung von 15 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und errechnet so einen Überschuss von 93 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, was weit entfernt ist vom INDIGO-Akzeptanzbereich ( $\pm 15$  kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), der strenger ist als der von KUL.
- Bei Stickstoff ergibt sich noch eine weitere Erklärung. Hofter-Bilanzen für Stickstoff berücksichtigen nicht die Stickstoffmineralisation, welche bei der Nitratauswaschung eine große Rolle spielt, evtl. sogar eine größere als die Düngung, wenn sie in der Zeit ohne Bodenbedeckung auftritt (Machet et al., 1997). Deshalb kann ein Indikator, der auf einer Hofterbilanz beruht, nur Situationen mit hohen Überschüssen aufdecken und interessante Elemente beisteuern (Simon et al., 2000). Eine schwach überschüssige oder negative Bilanz, wie sie bei den großen Kulturen im Ackerbau öfter vorkommt, bedeutet noch nicht zwangsläufig ein geringes Risiko (Appel et al., 1994; Benoît, 1992). Andererseits berücksichtigt der Stickstoff-Indikator IN die Stickstoffmineralisierung und deren Dynamik und kann also Auswaschungsgefahren in Situationen mit geringen Überschüssen aufdecken.
  - Bei 'Pflanzenschutz' (4 Fälle) waren Divergenzen in Anbetracht der Berechnungsweise von KUL, die auf Kosten/ha beruht, insbesondere bei der Unkrautbekämpfung von Mais zu erwarten. So kann eine Unkrautbekämpfung mit Atrazin und Alachlor auf 22,9 €/ha kommen, was gut im Toleranzbereich von KUL liegt (61 €/ha), während der Indikator I-Phy dieses Programm als risikobehaftet ausweist, was von den Forschungsprogrammen über Wirkstoffe im Wasser und den Versuchen sowohl im Elsass als auch in Frankreich, den USA und Canada gestützt wird (LfU-APRONA-DIREN/SEMA, 2000; Schiavon et al., 1995; Flury, 1996; Kolpin et al., 1998). Geier & Köpke (2000). In Deutschland wurde das Umweltrisiko hinsichtlich des Wirkstoffs Atrazin vor 10 Jahren durch ein Anwendungsverbot beseitigt.
  - Beim 'Energieverbrauch' (10 Fälle) erklären sich die Unterschiede nicht durch die von jedem Verfahren berechneten tatsächlichen Verbrauchswerte. Diese sind korreliert ( $r = 0,72$ ). Es liegt an den Toleranzbereichen, in denen sich die Verfahren unterscheiden. Auch hier ist die INDIGO-Methode strenger. Sie stützt sich auf die Empfehlungen für die Integrierte Produktion (Boller et al., 1997) und die Arbeiten von Meynard (1998).



**Abb. 2:** Vergleich der mit den Verfahren KUL und INDIGO bei einer Gruppe von Betrieben (s. Tab.1) erzielten Ergebnisse

## 5. Vergleich der Ergebnisdokumentation und der Beratungsempfehlungen der beiden Verfahren

### 5.1 Dokumentation für den Landwirt

Die Ergebnisse der KUL-Methode werden in einer graphischen Darstellung der ökologischen Situation des Betriebs (Schwachstellenanalyse) zusammengefasst, wie sie in Abb. 3 von Anhang 2 zu sehen ist. Diese wird von einem mehrseitigen Interpretationsbericht, der die Wertung, die Ursachenanalyse sowie die abgeleiteten Empfehlungen umfasst, einer Abschlussstabelle zur ökologischen Situation des Betriebs (Betriebswert, Boniturnote, sowie standortspezifischer Toleranzbereich) und einer Ergebnisdokumentation zu den einzelnen Indikatoren begleitet.

INDIGO bevorzugt graphische Darstellungen:

- Eine Abbildung in Form eines Spinnnetzes, wie sie seit mehreren Jahren eingeführt ist (Abb. 4) mit einem kurzen Text, der stichwortartig auf die Stärken und Schwächen des Betriebs eingeht.
- Ein Balkendiagramm, das bei gewissen Indikatoren die Ergebnisse der Einzelparzellen darlegt.
- Schließlich haben wir eine neue symbolische Abbildung kreiert, die Auskunft über die ökologische Nachhaltigkeit gibt und die relative Bedeutung jedes Indikators im Landbausystem angibt (Abb. 5). Für jeden Indikator gibt es die Farben grün (Wert  $\geq 7$ ), orange ( $4 \leq \text{Wert} < 7$ ) und rot (Wert  $< 4$ ). Die Maßstäbe (Betrieb, Schlag) und die nach großen Themen zusammengestellten Ziele (Umwelt des Betriebs, Kohärenz des Anbausystems, Bodenfruchtbarkeit und entferntere Umwelt) werden in dieser Abbildung dargestellt.

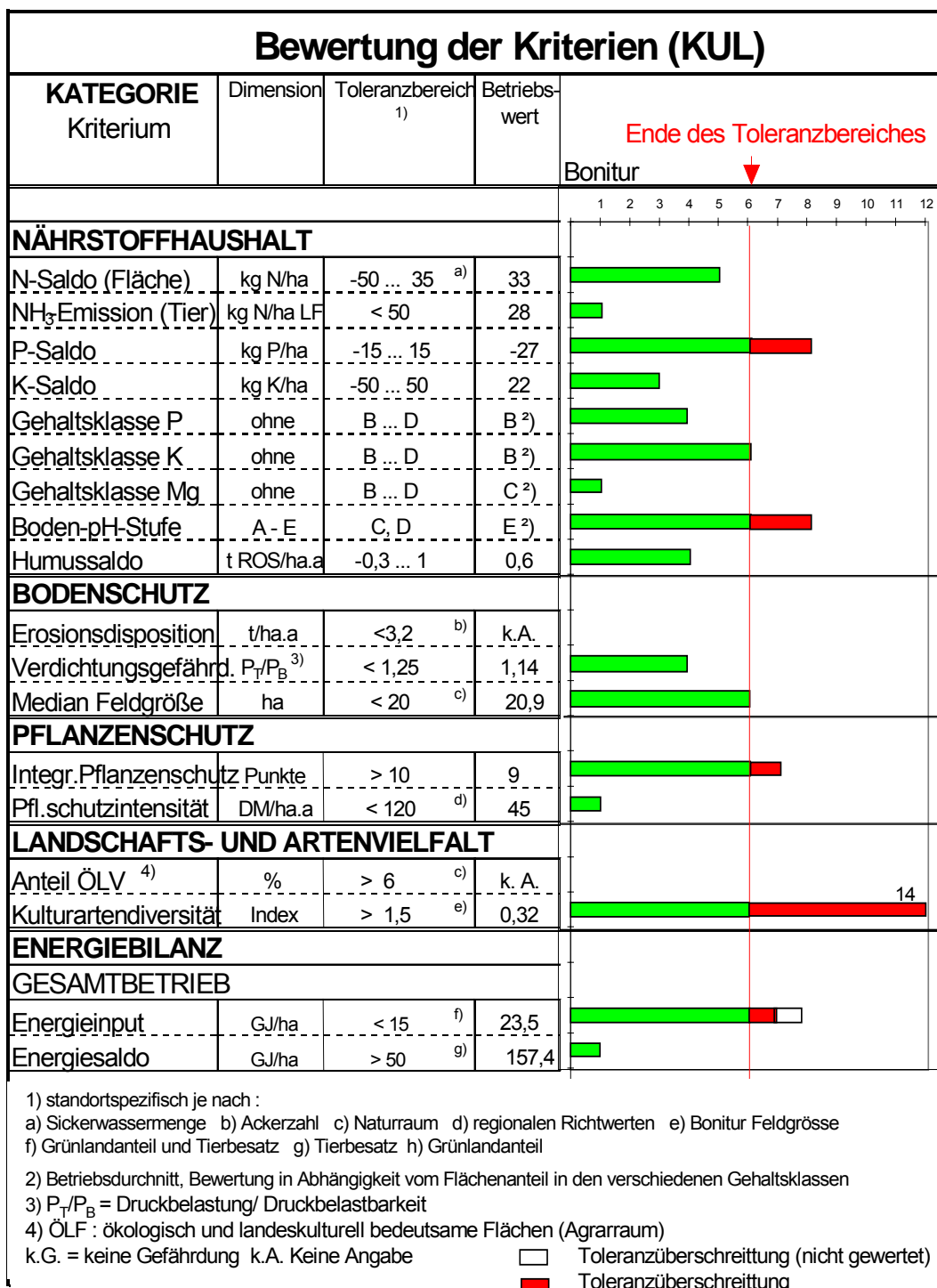
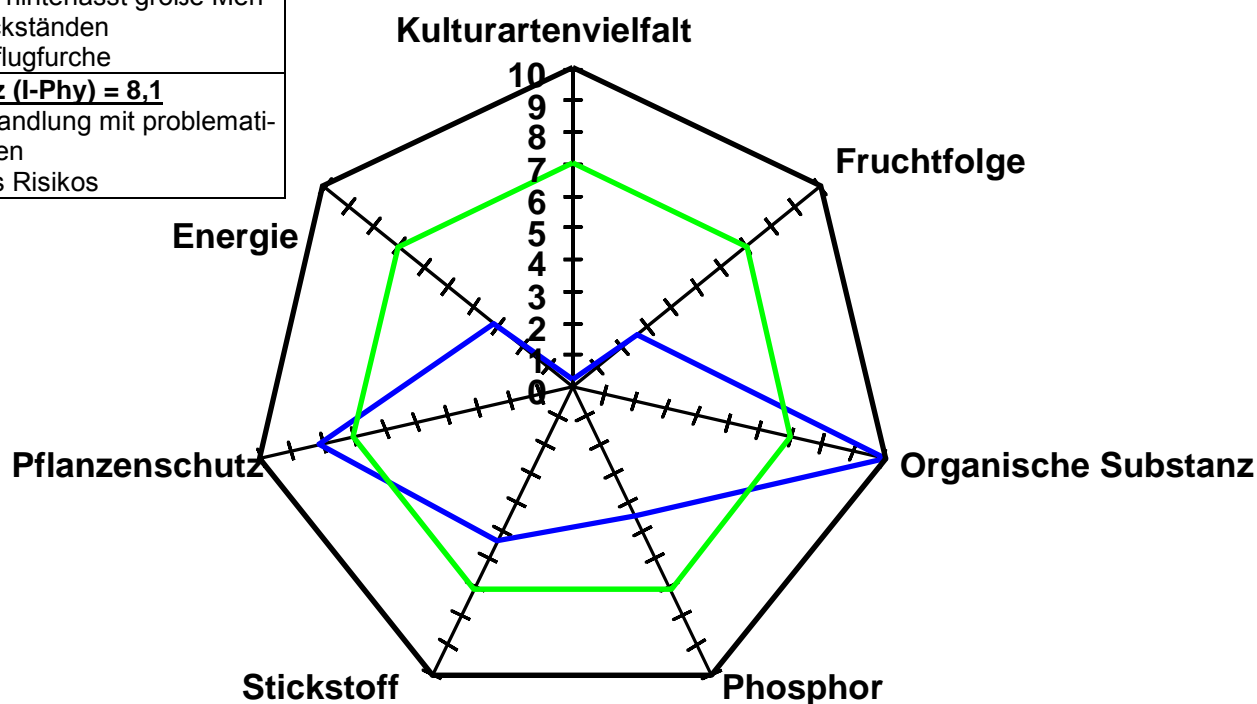


Abb. 3: Zusammenfassende Abbildung mit den KUL-Ergebnissen eines Betriebs

## STÄRKEN UND SCHWÄCHEN EINES BETRIEBS

STÄRKEN
<b>Organische Substanz (IMO) = 10</b> sehr gute Erträge Der Körnermais hinterlässt große Mengen an Ernterückständen keine zu tiefe Pflugfurche
<b>Pflanzenschutz (I-Phy) = 8,1</b> TB : Reihenbehandlung mit problematischen Wirkstoffen = Reduktion des Risikos



— 1999 — Empfehlung — max.

SCHWÄCHEN
<b>Kulturartenvielfalt (IAs) = 0,3</b> Große Schläge 1 Kultur auf 90 % LN
<b>Fruchtfolge (ISC) = 2,6</b> Monokultur: Inkohärentes System schwierigerer Einsatz von Betriebsmitteln
<b>Phosphor (IP) = 4,5</b> Düngung zu hoch (Aussetzen möglich)
<b>Stickstoff (IN) = 5,6</b> Verflüchtigung von Harnstoff ⇒ einarbeiten flachgründiger Boden: schwierigere Stickstoffdüngung trotz Nähe zur Empfehlung (215 kg N/ha) 1. Stickstoffgabe reduzieren (100 kg 18/46 zur Saat ?) unbedeckter Boden über Winter
<b>Energie (IE<sub>n</sub>) = 3,2</b> Mineraldüngerverbrauch

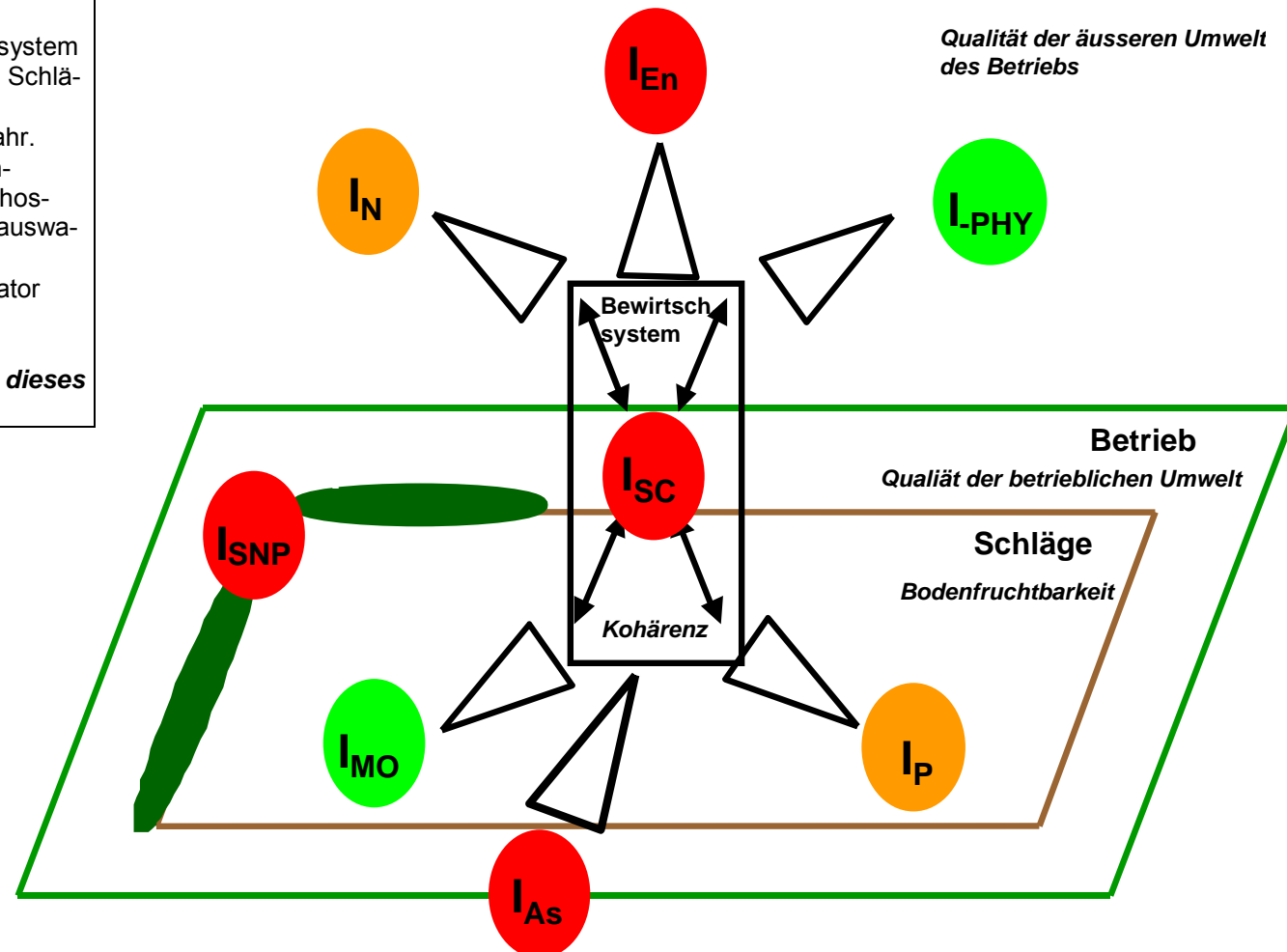
Abb. 4: Darstellung der Übersicht mit den Indikatoren der INDIGO-Methode



## Zusammenfassung in Bezug auf ökologische Nachhaltigkeit

### Schlussfolgerungen :

- Flächennutzung und Bewirtschaftungssystem mit Problemen (Monokultur auf großen Schlägen)
- Fruchtbarkeit des Bodens nicht in Gefahr.
- Betriebsmitteleinsatz: Gut bei Pflanzenschutzmitteln, aber Überschüsse bei Phosphat; mittelgroße Gefahr der Stickstoffauswaschung und hoher Energieverbrauch.
- durchschnittlicher Nachhaltigkeitsindikator (= 51\*\*\* %) \*\*\* mit drei grenzwertigen Indikatoren
- **Die ökologische Nachhaltigkeit dieses Systems ist fraglich.**



**Abb. 5:** Zusammenfassende Darstellung der ökologischen Nachhaltigkeit bzw. ökologischen Machbarkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs mit Hilfe von INDIGO-Indikatoren ( $I_{SNP}$  ist der Indikator für unproduktive Strukturen, dessen Berechnung sich noch in Entwicklung befindet. Er wurde hier geschätzt).

## 5.2 Vergleich der Empfehlungen

Der Diagnose des INDIGO-Verfahrens werden einige Empfehlungen beigefügt. Hauptsächlich ergeben sich diese jedoch im persönlichen Gespräch mit dem Landwirt bei der Berichtsübergabe. Gewisse Probleme wie die Mais-Monokultur werden angesprochen, aber nicht speziell vertieft, da sie unter den Bedingungen der Rheinebene nur unter ökonomischen Schwierigkeiten abzustellen sind. Bei den Stärken ist die Empfehlung, so weiter zu machen, wenn das keine technischen oder wirtschaftlichen Schwierigkeiten macht.

In Tabelle 7 sind die Empfehlungen des KUL-Verfahrens für denselben Betrieb zusammengefasst:

**Tab. 7:** Zusammenfassung der Feststellungen und Empfehlungen des KUL-Verfahrens für den Betrieb der Abbildungen 3 bis 5

---

### Schwächen

- Zu niedriger Wert der Kulturartenvielfalt (Diversitätsindex: 0,32); nur 2 Kulturen (Mais-Monokultur und Stilllegung)
- Ernsthafte Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit (> 60% der Flächen in Phosphat-Gehaltsklasse B) Unterbilanz für P.
- Zu geringe Bodengehalte bei Kali (Landwirt reagiert bereits)
- Zu hohe Boden-pH-Werte (Ursache unklar; geogen bedingt?)
- Die Prinzipien des Integrierten Pflanzenschutzes werden nicht genügend umgesetzt
- Zu hoher Energieverbrauch (Diesel)

### Stärken

- Sachgerechte Stickstoffdüngung
- Gute Energieproduktion (182 GJ/ha) wegen hoher Maiserträge; hoher Energiegewinn (152 GJ/ha) trotz erhöhtem Energieverbrauch.
- Zeigt das Potential der pflanzlichen Primärproduktion für die Reduktion von CO<sub>2</sub> durch Biomasseproduktion auf (Nettobilanz = -16.638 kg CO<sub>2</sub>/ha LN)

### Empfehlungen

- Erhöhung der Kulturartenvielfalt, sofern ökonomisch vertretbar.
  - Erhöhung des Zukaufs von Triple-Superphosphat um 8000 kg für eine Erhöhung der Phosphatdüngung um 120 kg/ha als Aufdüngungszuschlag auf den Flächen in P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gehaltsklasse B.
  - Maßnahmen zur Absenkung des hohen pH-Werts (physiologische saure Düngemittel).
  - Zwillingsbereifung oder breitere Reifen für die Düngerausbringung bei feuchten Bodenverhältnissen, ansonsten Ausnutzung abgetrockneter Böden (Schlagkraft!); On-Land-Pflügen.
  - Beachtung der Schadschwellen bei der Unkrautbekämpfung; Verminderung der Abdrift (Düsen der Spritze); Spritzenreinigung auf dem Feld.
- 

Die in den vorangegangenen Teilen des Berichts angesprochenen Punkte ergeben sich aus diesen Ratschlägen: Das Verfahren KUL behandelt vielfältigere Aspekte als das Verfahren INDIGO. So wird z.B. die CO<sub>2</sub>-Bindung angesprochen, die INDIGO nicht berücksichtigt. Auch werden völlig zu Recht Punktbelastungen angesprochen (Frede et al., 1998). Die positive Bemerkung zur Stickstoffdüngung kann suggerieren, dass bezüglich Nitrat keine Gefahr besteht. Der Anbau von Zwischenfrüchten wird hingegen überhaupt nicht angesprochen, obwohl sehr wohl problemrelevant (Normand et al., 1997; Machet et al., 1997). Im übrigen wird das Schadschwellenkonzept der Integrierten Produktion bei Unkräutern von den Herbolden stark in Frage gestellt, im Gegensatz zur Schädlings- und Krankheitsbekämpfung (Buhler et al., 2000; O'Donovan, 1996). Der heikelste Punkt ist jedoch der Widerspruch bei den Empfehlungen zur Phosphatdüngung. Dies liegt an den Analysemethoden und den Grenzwerten, die sich in den beiden Ländern unterscheiden.

## 6. Umsetzung in die Praxis

- Der eingeschlagene Weg für den Vergleich der beiden Verfahren mit den verschiedenen Aspekten einschließlich dem Vergleich der Ergebnisse wird als Muster für weitere Vergleiche dienen können.
- Der Vergleich kann hilfreich sein bei der Entscheidung zwischen den beiden Verfahren.
- Die Vorbehalte gegenüber den Aussagen des KUL-Verfahrens bei Phosphat, Stickstoff und insbesondere Pflanzenschutz können vermeiden, dass die Anwender dieses Verfahrens in der Rheinebene den manchmal optimistischen Aussagen des KUL-Verfahrens zu viel Gewicht beimessen.
- Mit dem INDIGO-Verfahren können Betriebe mit Tierhaltung und Grünlandbetriebe nicht vollständig beurteilt werden.

## 7. Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Vergleich mit anderen Autoren, die relativ pauschale Verfahrensvergleiche angestellt haben (Gebauer & Bäuerle, 2000; Hertwich et al., 1997; van der Werf & Petit, 2001) haben wir zwei Verfahren bei einer Auswahl existierender Betriebe bis hin zu den Ergebnissen vertieft verglichen. Diese Arbeit über das Verfahren KUL setzt die Arbeit von Geier und Köpke (2000) fort, mit dem Vorteil, dass sie bis zu einer Analyse der Ergebnisse von konkreten Fällen geht. Wir sind dabei nach einem strukturierten Plan vorgegangen, der von anderen vergleichenden Arbeiten aufgegriffen werden kann.

Aus diesem Vergleich ergeben sich mehrere Punkte:

- Das Verfahren INDIGO erfordert mehr Zeit und landwirtschaftliche Kenntnisse als das Verfahren KUL, erlaubt dafür aber, bis zu den Einzelheiten der Bewirtschaftungsmaßnahmen, etwa bis zur Wahl der Wirkstoffe, der Modalitäten der Stickstoffdüngung und des Zwischenfruchtanbaus, vorzudringen. Andererseits ist sein Anwendungsbereich viel enger, da insbesondere der Bereich der Tierhaltung von INDIGO nur unzureichend oder gar nicht berücksichtigt wird.
- Die zentrale Auswertung beim KUL-Verfahren verursacht nicht nur Kosten und hinterlässt den Eindruck mangelnder Transparenz, sondern schafft als noch größeren Nachteil eine Distanz zwischen Auswertungsstelle und Landwirt. Die Auswertung muss jedoch auf einem Dialog zwischen den verschiedenen Partnern aufbauen (Bockstaller & Girardin, 2000a; Pretty, 2000). Das könnte sich in Zukunft ändern, da eine Struktur, die sich um die Beratung kümmert, geschaffen werden soll.
- Ein Vergleich der Ergebnisse und der sich daraus ergebenden Feststellungen ist von größtem Interesse. Im vorliegenden Fall konnte sie Abweichungen zwischen den beiden Verfahren aufdecken, wobei INDIGO strenger war.
- Die Unterschiede bei den mit den beiden Verfahren erzielten Schlussfolgerungen lassen sich nur zum Teil durch verschieden gesetzte Referenzwerte erklären. Einige Unterschiede sind auf die Grenzen und Schwächen bestimmter von KUL verwendeter Kenngrößen zurückzuführen (Hoftorbilanzen, monetärer Pflanzenschutzmittelaufwand als Umweltkriterium). In der Tat führt ihr Einsatz über das diagnostische Potential hinaus zu Schwierigkeiten.
- Die vorgenannten Punkte veranlassen uns zu Bedenken über die Eignung des Verfahrens zur Vergabe eines Qualitätszeichens (Eckert et. al., Com. Pers.). In der Tat können einige von KUL verwendete Kriterien Situationen *mit* einem großen Umweltrisiko aufzeigen, nicht aber Situationen *ohne* Umweltrisiko. Aber nur Situationen ohne Umweltrisiko können Gegenstand einer Auszeichnung sein.

Eine derartige vergleichende Arbeit, die die jeweiligen Vorteile zweier Methoden ans Licht bringt, könnte auch zu Verbesserungen und Bereicherungen jedes einzelnen Verfahrens führen. Der vom KUL-Verfahren für die Verdichtungsgefährdung des Bodens verwendete Ansatz könnte für die Ausarbeitung einer Kenngröße 'Bodenbearbeitung' dienen, die der INDIGO-Methode fehlt.

Auf jeden Fall konnten wir die Zugänglichkeit gewisser technischer Daten (Reifenbreiten etc.) einschätzen. Es ist jedoch nicht sichergestellt, dass die in diesem Bericht geäußerte Kritik von den Autoren des KUL-Verfahrens aufgegriffen werden kann, da der Einsatz dieses Verfahrens bereits weiter fortgeschritten ist (Eckert et al., 1999; Eckert et al., 2000), was Anpassungen schwierig macht.

## **C. Allgemeine Feststellung /-Diagnose mit Hilfe eines einzelnen Werts**

### **1. Ausgangssituation und Problemstellung**

Die Anwendung eines Sets agrar-ökologischer Kenngrößen, wie es bei den Verfahren INDI-GO und KUL der Fall ist, erleichtert das Aufdecken von Stärken und Schwächen eines landwirtschaftlichen Betriebes gemessen an den Zielen einer nachhaltigen Landwirtschaft (s. vorangehendes Kapitel). Damit können Bewertungen vorgenommen werden, die Verbesserungsvorschläge für das untersuchte Bewirtschaftungssystem ermöglichen. Der Nachteil oder der größte Fehler eines derartigen Ansatzes ist, dass damit keine Gesamtbeurteilung der Nachhaltigkeit mittels einer einzigen Kenngröße, die alle anderen zusammenfasst, möglich ist (Hansen, 1996). Eine Gesamtbeurteilung der Entwicklung eines Betriebs in Hinsicht auf Nachhaltigkeit bzw. der Einordnung verschiedener Betriebe kann deshalb nur Kenngröße für Kenngröße vorgenommen werden (Bockstaller & Girardin, 2000b).

Eine sehr einfache Lösung wäre ein Ansatz 'größtmöglicher Sicherheit'. In diesem Fall wäre die Nachhaltigkeit bereits dann in Frage gestellt, wenn bereits eine Kenngröße unter dem Zielwert (7 bei INDIGO) bzw. außerhalb des Toleranzbereichs (über 6 bei KUL) liegt (Bockstaller et al., 1997; Smith & McDonald, 1998). Dies wäre vertretbar, stößt aber auch an Grenzen:

- Es handelt sich um eine sehr strenge und grobe Beurteilung, die keine Differenzierung zwischen den 'Problembetrieben' erlaubt und keine Darstellung von Fortschritten ermöglicht.
- Im übrigen ist nicht auszuschließen, dass es zu Interaktionen oder Konflikten zwischen den verschiedenen hinter den Kenngrößen stehenden Zielen gibt, die verhindern, für alle Kenngrößen gleichzeitig den Optimalwert zu erreichen (Geier & Köpke, 2000).

Ein anderer einfacher und intuitiver Ansatz, der häufig unbewusst angewandt wird, ist, die Summe der Werte der Kenngrößen zu bilden. Dies ist der Fall beim Verfahren IDEA (Briquet et al., 2001; s. Kasten 2) für jede der drei Komponenten (Tab. 1). Ein derartiges, sehr einfach durchzuführendes Verfahren ist jedoch offensichtlich angreifbar hinsichtlich der Zulässigkeit, Werte von Kenngrößen unterschiedlicher Art und Dimension, die nicht vergleichbar sind, zu addieren. Außerdem hat nicht jede Kenngröße zwangsläufig dasselbe Gewicht.

Dies kann zu einem etwas differenzierteren Ansatz führen, der auf dem gewichteten Mittel der Werte der verschiedenen Kenngrößen oder auf dem Abstand zum Referenzwert (beim Verfahren KUL) beruht und den verschiedenen Kriterien ein unterschiedliches Gewicht beimißt. Bei dieser Vorgehensweise treten zwei größere Probleme auf:

- Die Subjektivität der Gewichtung der Indikatoren (Hansen, 1996). Manche Autoren akzeptieren und rechtfertigen sie, andere versuchen, möglichst viele objektive Elemente einzubringen (Geier & Köpke, 2000).
- Das Problem der Kompensation zwischen niedrigen und hohen Werten, die einer solchen Berechnung inne wohnen (Schärlig, 1985). Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit ist dies problematisch. Es ist nicht akzeptabel, dass ein guter Wert (z. B. für die Luftqualität) einen schlechten Wert (z. B. für die Wasserqualität) kompensiert und so für den gesamten Indikator einen mittleren Wert ergibt.

Es gibt auch noch stärker integrierte und quantitativere Ansätze, die auf Funktionen beruhen, welche mehrere Faktoren berücksichtigen (Senanayake, 1991; Smith & McDonald, 1998). Diese Gesamt-Indikatoren erlauben dafür aber nicht, die abzuändernden Elemente im System herauszufinden. Andere haben Optimierungsverfahren geprüft, um Betriebe oder Systeme zu klassifizieren oder herauszustellen (Prato, 2000; ten Berge et al., 2000). Dabei wird

der Vorteil quantitativer Bewertung mit der Anwendung sehr komplexer mathematischer Verfahren erkauft, die häufig nur auf drei Kriterien wie Kosten, Menge an Dünger oder Pflanzenschutzmitteln, Ertrag etc. beruhen. Sie erfordern auch viele quantitative Daten, die nicht immer verfügbar sind. Schließlich beruhen sie auf der Annahme, dass es eine optimale Lösung gibt, was von gewissen Autoren in Frage gestellt wird (Schärlig, 1985).

Es erschien uns von daher interessant, ein Bündel von Indikatoren und eine Methode zu kombinieren, um zu einer Gesamtbeurteilung zu kommen und dabei soweit wie möglich die Klippen der Gewichtung wegen der Heterogenität der Kriterien, der Subjektivität der Gewichtung und der Kompensationsproblematik zu umgehen. Wir haben deshalb beschlossen, angesichts dieser Mehrfachkriterien-Problematik die beiden möglichen Ansätze parallel zu verwenden:

- Entwicklung eines umfassenden Gesamtindikators oder eines aus den Indikatoren von INDIGO zusammengesetzten Gesamtindikators. Dabei handelt es sich um einen relativen Indikator der ökologischen Nachhaltigkeit (IDU).
- In einem zweiten Schritt werden wir diesen Indikator mit der Multikriterien-Klassifizierungsmethode ELECTRE III (Kasten 4) vergleichen, welche versucht, die Komplexität der Multikriterien-Ansätze anzunähern, was durch Optimierungsverfahren nicht immer möglich ist (Schärlig, 1985; Schärlig, 1996). Diese Multikriterien-Methoden beginnt man in den Landbauwissenschaften zu prüfen (Arondel & Girardin, 2000; Loyce, 1998). Sie können gewisse Aggregierungsprobleme wie die Unmöglichkeit, die Werte heterogener Kriterien zu addieren oder das Problem nicht akzeptabler Kompensationseffekte lösen.

## 2. Zielsetzung

- Entwicklung eines Gesamtindikators für die ökologische Nachhaltigkeit (IDU), der die mit den INDIGO-Indikatoren erzielten Ergebnisse zusammenfasst.
- Vergleich dieses Ansatzes mit einem Multikriterien-Klassifizierungsverfahren.
- Beschreibung der Nachhaltigkeit einer Gruppe von Betrieben der Rheinebene.

## 3. Methodik

### 3.1 Allgemeine Beschreibung des Globalindikators IDU

#### 3.1.1 Vorbemerkungen

Im Folgenden werden wir von 'ökologischer Nachhaltigkeit' sprechen, obwohl Spezialisten statt dessen den Ausdruck 'ökologische Machbarkeit' bevorzugen. Das Verfahren kann jedoch an eine Kombination aus ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien angepasst werden, um zu einer Einschätzung der Nachhaltigkeit zu kommen.

Wir stützen uns dabei auf eine Definition der Nachhaltigkeit, die ökonomischen, sozialen und ökologischen Zielen genügt (Hansen, 1996; Bonny in Ricard & Claudez, 1994), und konzentrieren uns dabei auf die vom Indikatorenset des Verfahrens INDIGO berücksichtigten Umweltaspekte. Diese Indikatoren bewerten eine Reihe von Bewirtschaftungsmaßnahmen hinsichtlich einem oder mehrerer Ziele (Wasserqualität, Biodiversität, u.s.w.).

Der Indikator bleibt relativ, da es mit den verfügbaren Instrumenten nicht möglich ist, ein absolutes und endgültiges Urteil über die Nachhaltigkeit zu fällen. Er erlaubt es nicht, den Schluss zu ziehen, dass das System nachhaltig ist, sondern zeigt lediglich Probleme hinsichtlich der Nachhaltigkeit auf.

#### 3.1.2 Grundlagen der Methode

Der Indikator der relativen Nachhaltigkeit (IDU) wird folgendermaßen berechnet:

$$IDU = \frac{\sum p_i * f(i)}{\sum p_i}$$

wobei  $f(i)$  = Wert einer Funktion der Umweltleistung bei einem Kenngrößenwert  $i$  ( $i$ )  
 $p_i$  = Wichtung des Indikators  $i$ .

### 3.1.2.1 Die Funktion der Umweltleistung

Sie verwandelt den Rohwert eines Indikators in einen Relativwert der Realisierung oder Leistung (zwischen 0 und 100%), gemessen am jeweiligen Umweltziel, welches der Kenngröße zugrunde liegt. Diese Funktion ermöglicht es, die Werte mehrerer heterogener Indikatoren auf eine gemeinsame Größe zurückzuführen, so dass sie auf einer gemeinsamen Skala Werte zwischen 0 und 10 einnehmen.

Bei Stickstoff gibt der Indikator beispielsweise die Brutto-Stickstoffverluste in kg N/ha an, während das Ziel sein könnte, die Stickstoffverluste soweit zu reduzieren, dass der Grenzwert von 50 mg/l Nitrat im Trinkwasser nicht überschritten wird oder aber gar kein Stickstoff verloren geht. Die Funktion ordnet jedem Verlustniveau einen Zielerreichungsgrad zu und ist wahrscheinlich nicht linear. Bei Verlusten von 5 oder 10 kg N/ha bestehen gute Aussichten, dass der Grenzwert von 50 mg/l Nitrat eingehalten wird und das Ziel somit zu 100% erreicht wird, während bei Verlusten zwischen 30 und 60 kg N/ha die Norm wahrscheinlich überschritten wird und somit der Zielerreichungsgrad in unterschiedlichem Ausmaß verfehlt wird. Bei Verlusten von 100 oder 150 kg N/ha liegt man wahrscheinlich weit außerhalb der Norm, so dass der Zielerreichungsgrad in beiden Fällen gering ist und kaum mehr variiert.

### 3.1.2.2 Definition von Leistungsfunktionen

Bei der Festlegung dieser Funktionen sind wir auf zwei Schwierigkeiten gestoßen:

- Die Indikatoren des Verfahrens INDIGO sind nicht alle quantitativ (Bockstaller et Girardin, 2000b) und geben keinen Hinweis in Bezug auf festgelegte Ziele. Für Stickstoff wird kein Konzentrationswert angegeben.
- Unsere Indikatoren sind zusammengesetzt und beziehen sich auf die Risiken zusammenhängender Maßnahmen (z.B. Maßnahmen des Stickstoffmanagements), die mehrere Umweltkompartimente (Grundwasser, Luft bei Stickstoff) gleichzeitig betreffen. Außerdem gibt es nicht für jedes Umweltproblem ein quantifizierbares Ziel (z.B. Phosphatdüngung).
- Die Indikatoren wurden auf Referenzwerten aufgebaut, die in Abhängigkeit vom Indikator schwanken, um sowohl dem Kenntnisstand als auch den verfügbaren Referenzdaten und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen Rechnung zu tragen.

Die Festlegung dieser Funktionen enthält also durchaus subjektive Elemente.

Unsere Wahl wurde jedoch von einigen Grundsätzen geleitet: Der Wert 7 wurde so gelegt, dass er etwa 75-80% der angestrebten Leistung oder des Zielerreichungsgrades (bei fehlenden Referenzen) entspricht. Um durch eine Analyse der gewählten Referenzen auf den Wert 7 zu kommen, haben wir diesen Wert moduliert:

Für zwei Indikatoren (organische Substanz, Beregnung) haben wir ihn abgesenkt, in der Annahme, dass hier größere Potentiale für den ökologischen Fortschritt schlummern. Für zwei andere Indikatoren (Fruchtfolge, Energie) haben wir den Wert der Umweltleistungsfunktion angehoben, da diese beiden Indikatoren bereits einen ziemlich anspruchsvollen Referenzwert von 7 aufweisen, der präzisen Empfehlungen entspricht.

Die Variation unterhalb des Werts 7 wurde ebenfalls in Abhängigkeit von bestimmten Merkmalen der Konstruktion des Indikators moduliert.

Die Details dieser Funktionen werden in Anhang 4 dargestellt.

### 3.1.2.3 Gewichtung der Indikatoren

Um die Objektivität bei der Gewichtung der Indikatoren zu erhöhen oder genauer gesagt, des unterschiedlichen Aussagewertes der einzelnen Indikatoren, haben wir eine Tabelle mit Empfehlungen für die Gewichtung erstellt, in der die Situation des Betriebs, die Empfindlich-

keit der Umwelt sowie die Anbausysteme berücksichtigt werden (Tab. 8). Diese Tabelle beruht auf einer Anzahl von Entscheidungsregeln, die in Anhang 6 dargestellt werden.

Die 8 derzeit routinemäßig berechneten Indikatoren werden dabei exponentiell gewichtet mit den Faktoren 1, 20, 400 oder 8000. Bei dieser Vorgehensweise bleibt der Globalindikator 'gut', wenn ein Indikator mit hohem Gewicht 'gut' ist, selbst wenn die anderen 7 Indikatoren mit einem geringeren Gewicht 'schlecht' sind und umgekehrt.

Bei einer Sensibilitätsstudie für  $n$  Kriterien hat sich gezeigt, dass für zwei benachbarte Gewichtungsstufen  $p_i$  und  $p_{i+1}$  das Kriterium  $p_{i+1}$  durch die restlichen Kriterien geringfügig kompensiert wird (im Sinne von auf einen mittleren Wert gebracht), sofern

$$p_{i+1} = k \cdot p_i \quad \text{mit } k = 2n \quad (\text{k wurde aus Rundungsgründen } = 20 \text{ gesetzt})$$

### 3.1.2.4 Ein Warnsystem für die Korrektur des Globalindikators

Wir haben versucht, die Probleme der Kompensation zwischen Kriterien über die Gewichtungsfaktoren zu lösen. So kann ein Indikator mit geringem Gewicht selbst bei einem hohen Wert keinen Indikator mit höherem Gewicht und einem niedrigeren Wert kompensieren. Die Indikatoren mit geringerem Gewicht werden jedoch nicht total beiseite geräumt. Ihre geringe Gewichtung ist an eine zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebene Situation gebunden. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit, also mit Blick in die Zukunft und auf den ursprünglichen Sinn des Begriffs (Hansen, 1996) ist es durchaus möglich, dass sich die Situation des Betriebs verändert und beispielsweise ein Gewässerbelastungsproblem auftaucht oder in dem Betrieb eine schutzwürdige Art entdeckt wird. In so einem Fall kann einem derzeit gering gewichteten Indikator ein höheres Gewicht beigemessen werden, so dass er die Gesamtbeurteilung beeinflusst und die aktuelle Beurteilung in Frage gestellt wird, obwohl sich ansonsten nichts geändert hat.

Wir schlagen deshalb die Anwendung eines Bonitursystems für die Korrektur des Gesamtbeurteilungsindikators vor, wenn dieser gut oder durchschnittlich ist und einer der Indikatoren mit geringem Gewicht einen niedrigen Wert der Umweltleistung (< 25%) aufweist.

- Für jeden Indikator mit einem Umweltleistungsgrad von weniger als 25% wird dem Wert des Gesamtindikators ein '\*' hinzugefügt.

Eine solche Kennzeichnung weist darauf hin, dass der Wert des Gesamtindikators in Frage gestellt werden kann, sobald man die Gewichtung verändert. In Bezug auf die Nachhaltigkeit heisst das, dass der Indikator wohl einen positiven Wert aufweist, jedoch ein oder mehrere Schwachstellen bestehen, die ihn in Frage stellen könnten, wenn sich bei der Situation des Betriebes oder der Umwelt Änderungen ergeben.

**Tab. 8:** Festlegung der Gewichtungen für den Gesamtindikator IDU in Abhängigkeit von der Situation des landwirtschaftlichen Betriebs (Einzelheiten siehe Anhang 6).

Indikator	Gewichtung			
	8000	400	20	1
<b>Kulturartenvielfalt</b>	Gemeinde mit sehr viel Fremdenverkehr <u>oder</u> ökologisch wertvolle Umwelt	Gemeinde mit viel Fremdenverkehr <u>oder</u> typische Landschaft (Hecken etc.)	Andere, wobei Betrieb in Gebiet mit wenig naturnahen Strukturen (Wald etc.) liegt	Andere, wobei Betrieb in Gebiet mit vielen naturnahen Strukturen liegt.
<b>Fruchtfolge</b>	-	Intensives Anbausystem <u>oder</u> Ökolandbau	Anbausystem mittlerer Intensität	sehr extensives Anbausystem
<b>Organische Substanz</b>	-	Erosions- oder verdichtungsgefährdeter Boden	Andere Situation	-
<b>Phosphat</b>	Gebiet um durch Eutrophierung gefährdeten See	Erosionsgefährdete Zone <u>oder</u> Zone mit hohem Tierbesatz <u>oder</u> keine Düngung bei armen Böden	Andere Situation	-
<b>Stickstoff</b>	Wasserschutz- oder Einzugsgebiet mit Nitratproblemen	Wasserschutz- oder Einzugsgebiet ohne Nitratprobleme <u>oder</u> Grundwasser mit Problemen <u>oder</u> starke Deposition aus der Atmosphäre	Grundwasser ohne Nitratprobleme <u>oder</u> starke Deposition aus Atmosphäre	Andere Situation
<b>Pflanzenschutz</b>	Wasserschutz- oder Einzugsgebiet mit Pflanzenschutzmittelproblemen	Wasserschutz- oder Einzugsgebiet ohne Probleme <u>oder</u> Pflanzenschutzmittel in Grund oder Oberflächenwasser.	Grundwasser ohne Probleme	Andere Situation
<b>Berechnung</b>	s. Stickstoff	s. Stickstoff <u>oder</u> Gebiet mit begrenzten Wasserreserven	vgl. Stickstoff	Andere Situation
<b>Energie</b>	-	-	Alle	-



### **3.2 Einsatz des Globalindikators IDU und von Multikriterien-Klassifizierungsverfahren des Typs ELECTRE**

Für jeden Betrieb haben wir, ausgehend von den in Tabelle 8 und Anhang 6 gegebenen Empfehlungen, eine Gewichtung der Indikatoren auf Grundlage der spezifischen Situation festgelegt und dann die Funktionen der Umweltleistung mit den Werten der Indikatoren für das Jahr 1999, wie sie in Anhang 5 definiert werden, berechnet.

Für den Einsatz der Methode Electre III verfügten wir über ein ziemlich leicht anwendbares EDV-Programm. Wird einmal das Format der Eingabedatei (in ASCII) beherrscht, geht die Berechnung ganz schnell. Für jeden Indikator wurden folgende Schwellenwerte festgelegt:

- Veto-Schwelle: 4
- Vorzughkeits-Schwelle: 1
- Indifferenz-Schwelle: 0,5

Das bedeutet, dass wenn sich die Werte eines Indikators zwischen zwei Betrieben um weniger als 0,5 unterscheiden, wird zwischen den beiden Betrieben kein Unterschied gemacht. Unterscheidet sich der Wert um mehr als 1, so wird der bessere Betrieb gegenüber dem anderen klar bevorzugt. Liegt der Wert einer Kenngröße für einen Betrieb um mehr als 4 über dem für einen anderen Betrieb, so kann dies die Überlegenheit des Letztgenannten bei den übrigen Kriterien in Frage stellen.

Bei Electre III kann die Gewichtung nicht in Abhängigkeit vom Betrieb verändert werden. Für die Gesamtheit der Betriebe wurden die Medianwerte der Gewichtung der einzelnen Indikatoren verwendet (Tab. 9). Da bei der Eingabemaske des EDV-Programms der Gewichtungswert 400 nicht möglich war, wurden alle Werte durch 10 geteilt. Um die Klassifizierung von IDU mit derjenigen von Electre III vergleichen zu können, haben wir die Gewichtung der Betriebe für die Berechnung des Gesamtindikators IDU vereinheitlicht und dieselben Werte genommen wie bei Electre III.

## **4. Ergebnisse**

### **4.1 Klassifizierung der Betriebe mit dem Globalindikator IDU**

Die Variation der Gewichtung der einzelnen Indikatoren bei der Stichprobe der untersuchten Betriebe wird in Tabelle 9 dargestellt. Eine Extremsituation, die die Maximalgewichtung erforderte, liegt nicht vor. Die ausführlichen Ergebnisse werden in Anhang 7 und die Klassifizierung in Tabelle 10 dargestellt.

Man stellt fest, dass sich die Verteilung der Gewichtungen zwischen 20 und 400 konzentriert. Es fand sich keine einzige Situation, die eine Gewichtung 8000 erfordert hätte. In einem Fall wurde für die Kulturartenvielfalt die Gewichtung 1 vergeben, bei einem Betrieb, der in einer Gemeinde liegt, die einen großen Waldanteil aufweist (Hardt). Was die Fruchtfolge angeht, so handelt es sich mehrheitlich um Intensivbetriebe und einen ökologisch wirtschaftenden Betrieb. Betreffend Stickstoff und Pflanzenschutzmittel liegen einige Betriebe in Gebieten, in denen keine Grundwasserprobleme bestehen, so dass eine Gewichtung von unter 20 festgelegt wurde (s. Belastungskarte LfU-APRONA-DIREN/SEMA,2000). Die Kenngrößen Kulturartenvielfalt, organische Substanz und Phosphat wurden meist mit dem Faktor 20 gewichtet und bei einer Minderheit der Betriebe mit dem Faktor 400.

#### **Kasten 4: Die Multikriterien-Verfahren des Typs ELECTRE**

All diese Multikriterien-Methoden wurden unter dem Einfluss der Arbeiten von Bernard Roy und seiner Gruppe, der LAMSADE der Universität Paris-Dauphine entwickelt. Die Ausgangshypothese all dieser Arbeiten ist, dass es unmöglich ist, einen Gesamtwert für eine Anzahl von Aktionen (in unserem Fall landwirtschaftliche Betriebe) zu geben, die durch eine Anzahl heterogener Kriterien gekennzeichnet sind (hier die INDIGO-Indikatoren).

Dieser Lösungsansatz von Multi-Kriterien-Problemen wird auch die 'französische' oder 'europäische Schule' genannt, im Gegensatz zum 'amerikanischen' Multi-Kriterien-Ansatz, der letztendlich in ein (synthetisches) Globalkriterium mündet. Beim europäischen Ansatz wird akzeptiert, dass es Situationen gibt, die nicht miteinander vergleichbar sind. Man spricht hierbei von partieller Aggregation im Gegensatz zur totalen Aggregation.

Die Methoden der ELECTRE-Familie beruhen alle auf folgenden Grundsätzen:

- Für jedes Kriterium werden die Maßnahmen zweier Betriebe miteinander verglichen unter dem Aspekt der Überlegenheit (*der Fragestellung, wer ist der bessere*).
- Begriff der Überlegenheit: Eine Maßnahme ist einer anderen überlegen, wenn sie für die Mehrheit der Kriterien mindestens ebenso gut ist wie die andere, ohne dass es bei einem Kriterium einen zu krassen Unterschied zugunsten der Maßnahmen des anderen Betriebs gibt.
- Die Schwellen für die Überlegenheit:
  - Schwelle der strikten Vorzüglichkeit: Schwelle für den Unterschied zwischen zwei Aktionen  $a_1$  und  $a_2$  bezüglich eines Kriteriums, oberhalb derer eine Aktion vollständig der anderen gegenüber vorgezogen wird.
  - Veto-Schwelle: Schwelle für den Unterschied zwischen zwei Aktionen  $a_1$  und  $a_2$  bezüglich eines Kriteriums, oberhalb derer der Unterschied zu krass ist und die Vorzüglichkeit bei den anderen Kriterien in Frage stellt.
  - Indifferenz-Schwelle: Schwelle für den Unterschied zwischen zwei Aktionen  $a_1$  und  $a_2$  bezüglich eines Kriteriums, oberhalb derer zwei Aktionen nicht unterschieden werden können. Diese Schwelle verweist auf einen weiteren Begriff der 'unscharfen Grenze' bei den jüngsten Verfahren wie ELECTRE III.
- Indizes der Überlegenheit, der Zweifelhaftigkeit und der Vertrauenswürdigkeit, die es erlauben, für die jeweils miteinander verglichenen Aktionen bezüglich der Gesamtheit der Kriterien einen Schluss zu ziehen/ein Urteil zu fällen.
- Es gibt mehrere Methoden vom Typ ELECTRE:
  - Die Methoden des Typs I (ELECTRE I, Iv, Is) sollen helfen, die beste/n Aktion/en zu finden.
  - Die Methoden Electre II, III und IV dienen der Klassifizierung von Aktionen. Die Methode Electre III verwendet dabei Elemente der fuzzy logic, unter Beibehaltung der Gewichtung (die es in Electre IV nicht mehr gibt).
  - Eine Sortiermethode (Electre tri) erlaubt die Einordnung der Aktionen in Kategorien (gut, mittel, schlecht etc.).

Im Rahmen dieses Berichts ist es nicht möglich, auf diese Methoden weiter einzugehen. Zur Verbreitung und Bekanntmachung dieser Methoden haben die Werke von Alain Schärlig (Schärlig, 1985; Schärlig, 1996) beigetragen. Für die vorliegende Arbeit wurde eine Klassifizierungsmethode ausgewählt, um deren Klassifizierung mit derjenigen durch unseren Gesamtindikator IDU vergleichen zu können. Die Wahl fiel dabei auf Electre III, die genauer ist als Electre II (die nicht viel verwendet wird) und die Möglichkeit eröffnet, mittels Electre IV auch noch eine Gewichtung vorzunehmen.

**Tab. 9:** Gewichtung der verschiedenen Indikatoren in Abhängigkeit von der Situation des einzelnen Betriebs

Indikator	Median	Minimum	Maximum
Kulturartenvielfalt (Ias)	20	1	400
Fruchtfolge (ISC)	400	20	400
organische Substanz (Imo)	20	20	400
Phosphor (IP)	20	20	400
Stickstoff (IN)	400	20	400
Pflanzenschutzmittel (Iphy)	400	20	400
Energie (Ien)	20	20	20

**Tab. 10:** Wert des Relativ-Indikators 'Ökologische Nachhaltigkeit' (IDU) bei 15 Betrieben, berechnet auf Grundlage der Werte der INDIGO-Indikatoren von 1999

Betriebsnummer	Gebiet	Betriebstyp	IDU
27	Kehl (D)	BV + GCex	87*
16	Freiburg (D)	GCex	82
17	Müllheim (D)	BL + GCex	74
14	Löffingen/Schw. (D)	GC	73
18	Neuenburg (D)	BL + GC + CS	69
21	Freiburg (D)	Legehennen + GCbio	69
20	Eschbach (D)	GC + CS	60*
7	Colmar (F)	GC	56
15	Breisach (D)	GC	55
11	Strasbourg (F)	GC + CS	53
5	Hardt (F)	GC	51***
4	Mulhouse (F)	GC	49
13	Kochersberg (F)	GC (+CS)	43**
10	Erstein (F)	GC	38*
26	Friesenheim (D)	Schweinemast + GC	33*

(BV = Rindermast; GCex = halb-extensiv; GC = intensiver Ackerbau; BL = Milchvieh; CS = Sonderkultur)

Betrachtet man die Klassifizierung durch den Relativ-Indikator 'Ökologische Nachhaltigkeit' (Tab. 10), so scheinen die deutschen Betriebe besser abzuschneiden als die elsässischen. Dies ist jedoch nicht signifikant, wegen der unterschiedlichen Ausrichtung der Betriebe. Bei den Ackerbaubetrieben sind die Unterschiede weniger ausgeprägt.

Der Warnhinweis beim bestplatzierten Betrieb betrifft Phosphat, weil durch den Einsatz von Wirtschaftsdüngern Überschüsse auftreten. Es handelt sich dabei um einen Betrieb der Rheinebene in einem Gebiet ohne Phosphat- oder Nitratprobleme. Langfristig könnten jedoch Probleme bei der Grundwasserqualität infolge einer Übersättigung der Böden mit Phosphor auftreten (Sharpley et al., 2000; Sims et al., 1998).

Bei den Spitzenbetrieben mit einem hohen IDU-Wert über 70% handelt es sich mehrheitlich um Gemischtbetriebe mittlerer Intensität. Dies bestätigt die Empfehlungen von Spezialisten wie Viaux (1997). Bester Ackerbaubetrieb ist die N° 14 von der Ostabdachung des Schwarzwaldes mit Getreide, Öl- und Eiweißpflanzen, jedoch ohne Mais. Die Erträge dieser Kulturen sind hoch und der Landwirt betreibt systematisch pfluglose Bodenbearbeitung. Würde man den Gewichtungsfaktor bei Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln von 20 auf 400 erhöhen, so würde das den IDU-Wert nicht sehr stark verändern (von 74 auf 69%).

Die intensiven Ackerbaubetriebe mit einem hohen Maisanteil weisen im Mittel einen Wert um 50% auf. Die bessere Gruppe beinhaltet Betriebe mit einem recht guten I-Phy-Wert aufgrund

von Nachaufbehandlungen oder Reihenbehandlung im Voraufbau (N° 5). Die schlechtere Gruppe mit Werten unter 50% macht die klassische Unkrautbekämpfung mit Atrazin und Alachlor (Elsass). Der reine Mais-Monokultur-Betrieb schlägt sich also gar nicht so schlecht, der gute Wert ist jedoch mit drei Anmerkungen bezüglich Kulturartenvielfalt, Fruchtfolge und Energie (hoher Verbrauch infolge N-Düngung und Beregnung) versehen. Die Nachhaltigkeit dieses Systems ist nicht gewährleistet. Der schlechtestplatzierte Betrieb N° 26 leidet vor allem unter dem N- und P-Management infolge seiner flächenunabhängigen Tierhaltung.

#### 4.2 Vergleich der Klassifizierungen mit dem Indikator IDU und dem Verfahren Electre III

Die mit den beiden Methoden ermittelten Klassifizierungen liegen nahe beieinander. Der Klassifizierungsfehler liegt bei höchstens  $\pm 2$  Rängen, was vertretbar ist. Eine derartige Abweichung tritt bei den 4 letztplatzierten Betrieben mit einer Spanne der IDU-Werte von 6% auf.

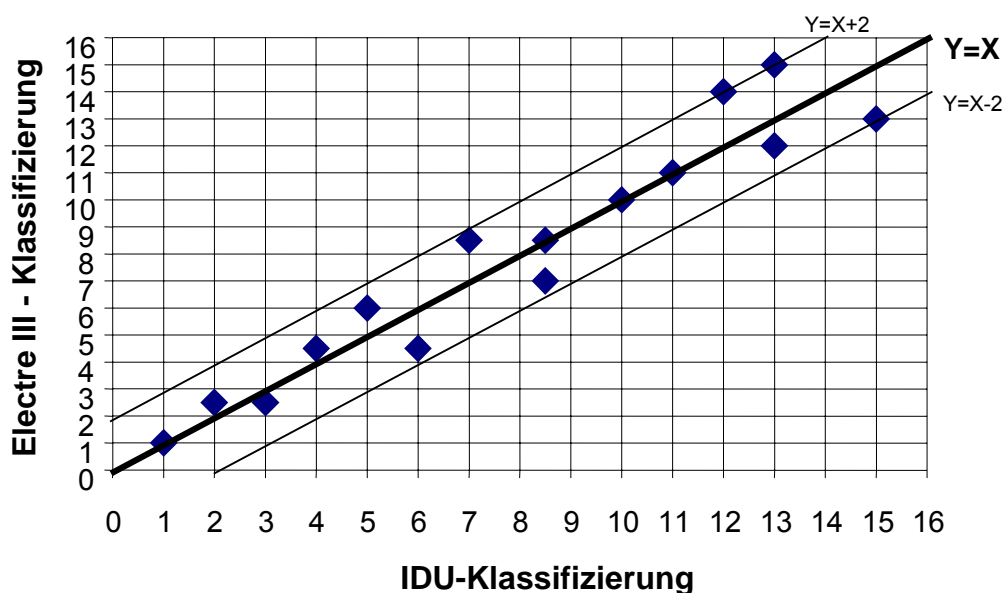


Abb. 6: Vergleich der Klassifizierung mit dem Indikator IDU und mit der Methode Electre III

#### 5. Umsetzung in die Praxis

- Entwicklung eines Gesamt-Indikators der ökologischen Nachhaltigkeit, der im Rahmen einer Synthese eine Gesamt-Diagnose des landwirtschaftlichen Betriebs gestattet, indem er auf der Evaluierung der Stärken und Schwächen sowie auf der mit der INDIGO-Methode durchgeführten Beratungsphase aufbaut.
- Einen Überblick über die relative ökologische Nachhaltigkeit der verschiedenen Betriebstypen / Anbausysteme in der Rheinebene geben.

## 6. Diskussion und Schlussfolgerungen

In diesem Teil wurde die Entwicklung eines Gesamt-Indikators beschrieben, der auf den Einzel-Indikatoren des Verfahrens INDIGO aufbaut. Er beruht auf Funktionen der ökologischen Leistung und einem Gewichtungssystem, das auf die Situation der Umwelt und des Betriebes Bezug nimmt. Ein anderer Weg wurde mit der Multi-Kriterien-Methode Electre eingeschlagen, die einerseits akzeptiert, dass nicht alles vergleichbar ist und vermeidet, dass unvergleichbare Elemente miteinander verglichen werden und missbräuchliche Kompensationen auftreten. Ihr Nachteil ist, dass sie nur bei einer Gruppe von Aktionen (hier landwirtschaftliche Betriebe) einsetzbar ist. Ein weiterer Nachteil von Electre III ist die relativ undurchsichtige Berechnungsweise, wohingegen die Berechnung des Indikators IDU auf Grundlage einer Excel-Tabelle erfolgt.

Dies lässt uns für ein Verfahren mit einem einzigen Indikator wie IDU optieren. Wir haben versucht, die Fehler, die die französischen Spezialisten für Multi-Kriterien-Verfahren diesem Ansatz vorwerfen, zu reduzieren (Schärlig, 1985), indem wir den Maßstab der Gewichtung sowie das Warnsystem modifiziert haben. Dieses ist dazu bestimmt, die Fälle anzuzeigen, in denen ein Indikator einen zu niedrigen Wert aufweist, welcher jedoch infolge zu geringen Gewichts kompensiert wird, und um darauf hinzuweisen, dass unter veränderten Bedingungen in Zukunft ein Problem auftreten kann. Ein anderer Vorwurf gegenüber derartigen Ansätzen ist die Subjektivität der Gewichtung (Hansen, 1996; Smith & McDonald, 1998). Wir haben versucht, diesen Schritt so objektiv wie möglich zu gestalten. Die Konstruktion des Indikators IDU beruht desweiteren auf der Einrichtung von Funktionen der ökologischen Leistungsfähigkeit, die den Indikator in einen Grad der Zielerreichung im Hinblick auf ein Umweltziel umwandeln. In diesem Abschnitt waren bis zur Entscheidungsfindung einige Schwierigkeiten zu überwinden. Wichtig ist, dass die getroffene Entscheidung transparent ist (s. Anhang 4).

In jedem Fall ist das Klassifizierungsergebnis mit dem IDU-Indikator kohärent mit den Empfehlungen gewisser Experten für nachhaltige Systeme. Die Übereinstimmung der mit IDU bzw. dem Verfahren Electre erstellten Klassifizierung ist ein weiterer Beitrag zur Validierung.

Die Anwendung dieses Indikators darf jedoch nicht die Grenzen seiner Möglichkeiten überschreiten. Er ist vor allem ein Instrument, um Alarm zu schlagen, wenn Probleme mit der Nachhaltigkeit auftreten. Er kann jedoch keinesfalls die Nachhaltigkeit eines Systems beweisen. Die Unsicherheit ist zu groß, insbesondere dann, wenn sich das Umfeld des Betriebes ändert. So kann die Klassifizierung bestimmter Betriebe durch Warnhinweise relativiert werden, was die Interpretation verkompliziert. Außerdem beruht sie auf der Berechnung der INDIGO-Indikatoren, die nur zu gebrauchen ist, wenn ein Vertrauensverhältnis zum Landwirt besteht und kein finanzieller Einsatz in der Art von Besteuerung oder Subvention im Spiel ist. Bei dieser Arbeit haben wir uns auf die ökologische Nachhaltigkeit beschränkt und deshalb die ökonomische und soziale Dimension außer Acht gelassen. Die bei IDU vorgeschlagene Methodik erlaubt jedoch die Einbeziehung von ökonomischen und sogar sozialen Kriterien. Einige der für die IDEA-Methode entwickelten Kriterien (Briquel et al., 2001) könnten genutzt werden. Wahrscheinlich müsste man in zwei Schritten vorgehen: Eine Aggregation in jeder Dimension der Nachhaltigkeit und dann die Rekombination dieser Indikatoren. Bleibt noch das Problem der Erstellung von Leistungsfunktionen.

## **D Multikriterielle Klassifizierung von Unkrautbekämpfungsprogrammen bei Mais**

### **1. Ausgangssituation und Problemstellung**

Im vorigen Teil wurde das Problem der Aggregation von mehreren agrar-ökologischen Kenngrößen behandelt, jedoch ohne die ökonomische Dimension mit einzubeziehen. Der Landwirt misst dieser Dimension bei der Wahl seiner Anbaumaßnahmen eine ebenso große Bedeutung zu wie der technischen Seite. Aus der Sicht der nachhaltigen Landwirtschaft ist die Suche nach dem besten Kompromiss zwischen den verschiedenen technischen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen eine zwingende Notwendigkeit. Diese Kompromisse sind auch bei der Wahl der technischen Mittel oder der Anbaumaßnahmen zu suchen, nachdem auf der Ebene des landwirtschaftlichen Betriebs die soziale Dimension wahrscheinlich beiseite gelassen werden kann. Den Landwirten und Beratern müssen deshalb Multikriterien-Entscheidungshilfe-Verfahren zur Verfügung gestellt werden. Zu dieser Thematik gibt es nur wenige Arbeiten (Foltz et al., 1995). Für die Auswahl von Produktionsverfahren für Weizen zur Äthanolherstellung lassen sich die Arbeiten von Loyce (1998) zitieren. Auch Arondel & Girardin (2000) haben einen Multikriterien-Ansatz für die Auswahl von Anbauverfahren mit dem Ziel des Schutzes der Grundwasserqualität angewandt, sich dabei aber auf verschiedene Umweltkriterien beschränkt (Risiken im Zusammenhang mit dem Stickstoffmanagement, Pflanzenschutzmittel).

Im Rahmen dieser Arbeit beschränken wir uns auf die Problematik der Auswahl von Unkrautbekämpfungsprogrammen in Mais. Dies ist eine Schlüsselmaßnahme, die, wie eine Vorabevaluierung einer Reihe ausgewählter Programme ergab, Umweltprobleme verursacht. Auf diesem Gebiet gibt es eine Reihe von bio-ökonomischen Modellen zur Entscheidungshilfe über die richtige Behandlung in Abhängigkeit vom Unkrautdruck und den Mittelkosten (Lundkvist, 1997). Ihre Aufgabe ist jedoch die Steuerung der Unkrautbekämpfung und nicht die Vorabauswahl von Unkrautbekämpfungsprogrammen. Im übrigen beziehen sie die ökologische Dimension nicht mit ein und ihre Anwendbarkeit bleibt begrenzt, da sie nicht regional angepasst sind (Buhler et al., 1996; Buhler et al., 1997; Forcella et al., 1996).

Wir wenden uns deshalb den INDIGO-Indikatoren, einem der im vorherigen Teil überprüften Verfahren zu, und verwenden als ein Umweltkriterium den Indikator I-Phy, als ökonomisches Kriterium die Kosten der Unkrautbekämpfung sowie als technische Kriterien die Wirksamkeit, das Witterungsrisiko und die Kulturverträglichkeit. Benötigt werden also die dem Landwirt zur Verfügung stehenden technischen und ökonomischen Informationen, zu denen sich die Umweltinformationen von I-Phy gesellen.

### **2. Zielsetzung**

- Prüfung der Anwendbarkeit einer Multikriterien-Klassifizierungsmethode als Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Unkrautbekämpfungsprogrammen mit der Absicht, den besten Kompromiss zwischen ökonomischen, technischen und ökologischen Erfordernissen auf der Grundlage verfügbarer Informationen (Broschüre und Indikator) herzustellen.
- Identifizierung von Unkrautbekämpfungsprogrammen bei Mais, die gleichzeitig ökonomischen, technischen und ökologischen Zielen gerecht werden.

### **3. Methodik**

Im vorangegangenen Teil haben wir zwei Wege verfolgt: einen Gesamt-Indikator und eine Multikriterien-Klassifizierungsmethode. Für die Erstellung einer Gesamtdiagnose für die Nachhaltigkeit eines landwirtschaftlichen Betriebs erschien uns die Entwicklung eines synthetischen Indikators in Form von IDU angemessener und vielversprechender hinsichtlich der Entwicklungsmöglichkeiten als der Rückgriff auf ein Multikriterien-Klassifizierungsverfahren Electre III (Schärlig, 1996). In diesem Teil nun werden wir die letztgenannte verwenden, da

sie nicht die Entwicklung zusätzlicher Funktionen voraussetzt und dem Ziel der Klassifizierung von Anbaumaßnahmen vollauf genügt.

### 3.1 Ausgewählte Kriterien

Es wurden fünf Kriterien ausgewählt:

- ein Umweltkriterium: Der Pflanzenschutzmittelindikator I-Phy,
- ein ökonomisches Kriterium: Die Verfahrenskosten, Hacke inbegriffen,
- technische Kriterien: Wirksamkeit, Witterungsrisiko, Kulturverträglichkeit.

### 3.2 Berechnung der Kriterien

Der Pflanzenschutz-Indikator I-Phy wurde mit der an der INRA Colmar entwickelten Berechnungssoftware (s. Teilthema 4) entwickelt. Er berechnet einen Wert zwischen 0 und 10 (Nullrisiko) für jeden Wirkstoff (unter Berücksichtigung der behandelten Fläche) sowie für das gesamte Programm. Diesen letztgenannten Wert haben wir ausgewählt. Es wurden zwei Fälle unterschieden:

- Ein Fall in der Ebene mit einem sehr auswaschungsgefährdeten Boden (< 2% organ. Subst.), jedoch ohne Oberflächenabfluss (nicht geneigt) und ohne Abdrift in Oberflächengewässer (Gewässerabstand > 10m).
- Ein Fall im Hügelland mit einem Boden von mittlerer Auswaschungsgefährdung (ca. 2,8% org. Subst.) und einer mittleren Neigung zum Oberflächenabfluss (gering geneigt, wenig verschlammende Böden mit > 20% Tongehalt) sowie Abdriftgefahr in Oberflächengewässer.

Die Kosten des Programms wurden berechnet, indem die Kosten für die verschiedenen Mittel (Quelle = AGPM Alsace) und die eventuell erforderliche Hacke, welche auf 19 €/ha für ein 6-reihiges Hackgerät geschätzt wurden (Blatz, INRA, pers. Mittlg.), addiert wurden.

Die technischen Kriterien wurden mit Hilfe der AGPM-Broschüre für den Maisanbau ermittelt (AGPM & SPV, 2001). Die Einzelheiten werden in Tabelle 10 dargestellt.

- Für das Kriterium Kulturverträglichkeit wurde der Minimalwert der Einzelwerte des Produkts genommen.
- Für das Kriterium Witterungsrisiko verwendeten wir die Angaben über die Gefahr der Unwirksamkeit bei trockenen Bedingungen im Falle von Vorauflaufprogrammen. Bei den Programmen mit Reihenbehandlung im Vorauflauf haben wir das Minimum aller verwendeten Mittel eingesetzt und für die im Nachauflauf den Wert 2, weil diese Technik in nassen Jahren Risiken beinhaltet.
- Für die Wirksamkeit wird die Note jedes Produkts in Bezug auf eine bestimmte Art moduliert in Abhängigkeit vom Verhältnis  $\text{Dosis} / \text{zugelassene Dosis}$  gemäß folgender Formel:  
**- Produktnote = (Note bei zugelassener Aufwandmenge \* 1,25 Dosis / zugelassene Dosis)**
  - Die Produktnote ist auf 10 begrenzt und verändert sich nicht, wenn die Aufwandmenge  $\geq 80\%$  der zugelassenen Aufwandmenge beträgt. Diese Gleichung ist eine Näherung. Gewisse Autoren haben logarithmische Kurven in S-Form verwendet (N. Munier-Jolain, INRA Dijon, pers. Mittlg.). Im Falle der Reihenbehandlung wird die Note mit einem Flächenkoeffizienten gewichtet (= 0,4 für 40% behandelte Fläche). Wird die Anwendung auf das Unkrautstadium ( $\leq 4$ -Blatt-Stadium) beschränkt, wird die Note um eine Klasse abgesenkt.
  - Bei der Hacke sind wir von einer mittleren Effizienz ausgegangen, also = 7, um das Fehlen von Resistenzproblemen und die Möglichkeit eines erneuten Auflaufens zu berücksichtigen (Bockstaller, 2000). Dieser Wert wurde mit dem Oberflächenfaktor 0,6 moduliert (60% der Fläche behandelt).

- Schließlich werden alle Produktnoten sowie die Hacknote nach Unkrautarten oder -gruppen (Panicum, Setaria, Bluthirse, triazinsensible Dikotyledonen, Amaranth, schwarzer Nachtschatten, triazinresistenter Gänsefuß und Flohknöterich) insgesamt also 8 Gruppen, aufaddiert. Die Endnote eines Programms ist der Durchschnitt der Produktnoten.

**Tab. 11:** Benotung der verschiedenen Kriterien auf der Grundlage der Pflanzenschutzmittelbroschüre der AGPM (AGPM & SPV, 2001)

Angaben der AGPM		Benotung
Phytotoxizitätsgefahr	Farbe / Darstellung	<b>Phytotoxizitätsnote</b>
Keine oder gering	dunkelgrün	10
gering bis mäßig	hellgrün	6
mäßig bis stark	gelb	4
unregelmäßig	hellgrün/rot	4
sehr stark	rot	0
Endnote für das Programm		Minimum der Produktnoten
Wirksamkeit insgesamt von Vorauflaufprogrammen bei trockenen Verhältnissen	Farbe / Darstellung	<b>Witterungsrisiko-Note</b>
gut	Dunkelgrün	10
ungleichmäßig	dunkel-/hellgrün	8
mittel	hellgrün	7
unregelmäßig	gelb	4
unregelmäßig	hellgrün/rot	3
unzureichend	rot	0
Programm für frühen Nachauflauf*		2
Nachauflaufprogramm normal*		6
Endnote des Programms		Programm mit <u>Vorauflaufmitteln</u> : Minimum der Einzelproduktnoten Programm ausschließlich im <u>Nachauflauf</u> : Note für Nachauflauf
Wirksamkeit bei der zugelassenen Aufwandmenge	Farbe/ Darstellung	<b>Wirksamkeitsnote bezogen auf die Art</b>
gut	dunkelgrün	10
ungleichmäßig	dunkel-/hellgrün	8
mittel	hellgrün	7
ungleichmäßig	gelb	4
ungleichmäßig	hellgrün/rot	3
ungenügend	rot	0
Endnote des Programms		siehe Text

\* in der AGPM-Broschüre nicht aufgeführt



### 3.3 Ausgewählte Unkrautbekämpfungsprogramme

Auf Grundlage der im Rahmen der ITADA-Projekte seit 1994 begleiteten landwirtschaftlichen Betriebe (Bockstaller & Girardin, 2000b) sowie der Arbeiten des Agrar-Gymnasiums Rouffach wurden 35 Programme (N° 1 bis 35) ausgewählt. Das Spektrum sollte ausreichend groß sein. Hinzugefügt wurden 8 Programme (N° 36 bis 43), die von Programmen inspiriert waren, welche ITCF und AGPM mit innerhalb der letzten beiden Jahre neu zugelassenen Mitteln getestet hatten. Die beiden letzten Programme (N° 44 und 45) entsprechen schließlich einer Kombination der Empfehlungen von AGPM und ITCF mit Reihenspritzung und Hacke (Voraufspritzung in der Reihe und im Durchschnitt 1,5 Hackgänge zwischen den Reihen). Die Einzelheiten mit den wichtigsten Ergebnissen werden in Anhang 8 aufgeführt.

### 3.4 Anwendung des Verfahrens Electre III

Die Schwellenwerte für jedes Kriterium werden in Tabelle 1 (vgl. C.3.2) angegeben. So wird bei den Kosten zwischen zwei Programmen nicht unterschieden, wenn Sie sich um weniger als 7,62 €/ha unterscheiden. Ein Unterschied von mehr als 30,5 €/ha wird hingegen als inakzeptabel betrachtet.

Die Festlegung der Gewichtung ist eine andere schwierige Etappe, wie schon im vorhergehenden Kapitel erwähnt wurde. Für die ökonomischen und technischen Kriterien gibt es keine objektiven Daten wie bei den ökologischen Kriterien, um die Gewichtung festzulegen. Alles ist eine Frage der Wahl und der Präferenzen des Landwirts. Eine Möglichkeit wäre gewesen, in der Sichtweise von Nachhaltigkeit, die nach dem besten Kompromiss sucht, alle Kriterien auf eine Ebene zu stellen. Wir haben jedoch, wie von Schärlich (1996) vorgeschlagen und von Loyce (1998) praktiziert, mehrere Sets von Gewichtungen erstellt, die verschiedenen Strategien entsprechen. Innerhalb jeder Strategie wurden die wichtigsten Kriterien mit dem Faktor 4 gewichtet, die weiteren mit den Faktoren 2 oder 1.

- eine 'technische Strategie', die die Kostenminimierung und Wirksamkeit unter Beachtung der Kulturverträglichkeit in den Vordergrund stellt;
- Eine 'Versicherungsstrategie' in Bezug auf die beiden Risiken sowie die Wirksamkeit;
- Eine 'integrierte Strategie', bei der ein Ausgleich zwischen Ökonomie und Ökologie gesucht wird, wobei hinsichtlich der Wirksamkeit Abstriche akzeptiert werden (der Schlag muss nicht 100% sauber sein). Ein gewisses Risiko wird in Kauf genommen;
- Eine 'Umweltstrategie', bei der die Ökologie im Vordergrund steht.

Die beiden ersten Strategien entsprechen denjenigen, die von den Landwirten bisher verfolgt wurden. Der Umwelt wird dabei weniger Rechnung getragen (z.T. wegen fehlender Information). Die zwei folgenden sind alternative Möglichkeiten, wobei die 'integrierte' Strategie in Richtung nachhaltiger Landwirtschaft geht (Viaux, 1997).

Das Verfahren wurde sowohl für die Situation in der Ebene als auch für die im Hügelland (s. 2.) angewandt. Ein Unterschied ergibt sich dabei lediglich für I-Phy.

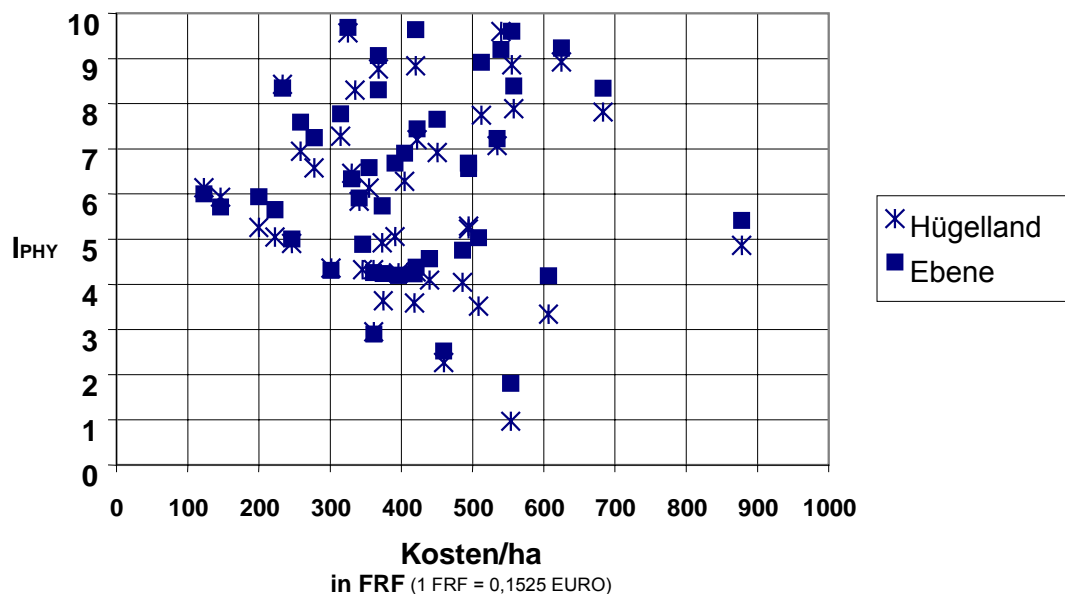
**Tab. 12:** Schwellenwerte und Gewichtungssets für das Verfahren Electra III

	Kosten (€/ha)	Phytotoxizität	Witterungsrisiko	Wirksamkeit	I-Phy
<b>Schwelle</b>					
Vetoschwelle	30,50	4	4	4	4
Präferenzschwelle	15,25	2	2	1	1
Indifferenzschwelle	7,62	1	1	0,5	0,5
<b>Gewichtung</b>					
technische Strategie	4	2	1	4	1
Versicherungsstrat.	2	4	4	4	1
integrierte Strategie	4	1	1	3	4
Umweltstrategie	2	1	1	2	4

#### 4. Ergebnisse

##### 4.1 Vorläufiges Ergebnis: Vergleich von I-Phy und Kosten der Unkrautbekämpfung

Der einfachste Ansatz, ökonomische und ökologische Kriterien miteinander zu verknüpfen ist, paarweise zu schauen, ob möglicherweise eine Beziehung besteht. Im Falle des Indikators I-Phy und der Kosten der Unkrautbekämpfung sieht man gut, dass kein klarer Zusammenhang besteht (Abb. 7), genauso wenig wie bei I-Phy und Wirksamkeit sowie zwischen Kosten und Wirksamkeit. Jedenfalls bringt die Verbesserung des Umweltindicators nicht systematisch eine Erhöhung der Kosten mit sich, wie es von manchen befürchtet wird. Ein derartiges Ergebnis wurde bereits bei den vom Beratungsdienst des Departements Moselle betreuten Betrieben (mit WRa, WW, SG) festgestellt (Chegard, 2000). Es gibt Programme um 45,75 €/ha mit einem Indikatorwert über 7. Dies lässt vermuten, dass es möglich ist, einen Kompromiss zwischen diesen beiden Kriterien zu finden.



**Abb. 7:** Vergleich des Pflanzenschutz-Indikators I-Phy mit den Kosten der Unkrautbekämpfung bei 45 Programmen (Ebene und Hügelland)

## 4.2 Variabilität der Unkrautbekämpfungsprogramme

Was die Variabilität angeht, so findet man bei jedem Kriterium eine ausreichende Variationsbreite (Tab. 13). Im Falle von Wirksamkeit und Phytotoxizität liegen die Boniturnoten über den Minima. Dies ist logisch, da wir keine Programme ausgewählt haben, die zu schwach in der Wirkung oder zu gefährlich für die Kultur sind.

**Tab. 13:** Verteilung der verschiedenen Kriterien bei den 45 Unkrautbekämpfungsprogrammen

	Kosten/ha (€)	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksamkeit	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügelland)
Median	60,37	4	6	8,8	6,3	5,8
Minimum	18,75	2	4	5,3	1,8	1,0
Maximum	133,85	7	10	10,0	9,7	9,6

## 4.3 Mit dem Klassifizierungsverfahren Electre III erzielte Ergebnisse

Wir haben uns entschieden, die End-Klassifizierung darzustellen, wohl wissend, dass es noch eine Prozedur gibt, um die gleichrangigen Aktionen (hier Programme) zu differenzieren. Dies entspricht jedoch nicht mehr ganz dem Multikriterien-Ansatz. Es ist zu beachten, dass Programme derselben Zeile nicht miteinander vergleichbar sind. Davon gibt es eine gewisse Anzahl. Im übrigen können auch Aktionen unterschiedlicher Ränge miteinander unvergleichbar sein. Das bedeutet, dass eine Rang-1-Aktion von keiner anderen übertroffen wird, nicht jedoch, dass diese allen anderen überlegen ist (s. Kasten 4). Die Aktionen von Rang 2 werden lediglich von einer einzigen Aktion übertroffen u.s.w.. Trotz der Komplexität der sich daraus ergebenden Klassifizierung sowie der Probleme der Unvergleichbarkeit lassen sich einige Punkte aus Tabelle 14 entnehmen:

- In der Situation 'Hügelland' ist das Programm 20 (s. Tab. 15) immer auf Rang 1, gleich bei welcher Strategie. Das Programm 45 ist in beiden Situationen immer auf den beiden ersten Rängen, außer bei der Versicherungsstrategie in der Ebene (4. Rang).
- Vier Programme finden sich am Schluss der Klassifizierung: P23, P38 (außer bei der 'Versicherungsstrategie' – ein Rang höher), P39 und P41.
- Weitere Programme verdienen eine gewisse Beachtung: Die Programme 2 und 3 befinden sich fast immer auf dem zweiten oder dritten Rang. Die Programme 32 (im Hügelland), 35 und 37 (in der Ebene) sowie 43 (im Hügelland) und 44 (in beiden Situationen) treten in den beiden umweltorientierteren Strategien hervor. Im Hügelland sind die Programme 35 und 37 schlechter eingestuft.

Zwei Programme heben sich ab: Eines wird seit einigen Jahren von einem Landwirt (20) in Form einer ganzflächigen Nachauflaufbehandlung mit reduzierter Atrazin-Menge gefahren. Dieses Programm kann Schwächen gegenüber Gräsern aufweisen, die jedoch teilweise durch die Hacke aufgefangen werden. Der Landwirt hat sie durch eine Motivell-Mikado-Behandlung ersetzt. Das zweite Programm beruht auf einer Reihenspritzung mit Atrazin + Alachlor + IFT bei der Saat. Einige Landwirte wenden bereits derartige Verfahren an, kombinieren dabei jedoch lediglich Atrazin mit Alachlor (s. Programme 9 und 10). Die Wirksamkeit ist jedoch grenzwertig, wegen resistenter Unkräuter. Die beiden erstgenannten Wirkstoffe sind für die Umwelt problematisch, so wie Atrazin beim ersten Programm. Die markante Reduzierung der Aufwandmengen (> 40%) sowie die auf die Reihe beschränkte Ausbringung haben eine sehr positive Wirkung hinsichtlich der Verluste ins Grundwasser (Kolpin et al., 1997; Guillard et al., 1999) und in die Oberflächengewässer (Gascuel-Odoux & Heddadj, 2001; Gascuel-Odoux et al., 1996; Gaynor & van Wesenbeeck, 1995). Der Effekt der Reihenspritzung ist in etwa proportional zur behandelten Fläche. Was die Kosten angeht, liegt das Programm 45 um die 50 €/ha bei 1 oder 2 Hackgängen, je nach Jahr (im Mittel 1,5). Dies ist völlig akzeptabel und bewegt sich in Höhe der Kosten der für das Elsass empfohlenen

Programme (Lasserre et al., 2001). Dabei werden die Kosten des Hackens vollständig berücksichtigt, obwohl damit auch noch ein positiver Effekt hinsichtlich Reduzierung der Verflüchtigung von Harnstoff um 10-20 % verbunden ist (ca. 30 kg N/ha bei einer Düngung von 200 kg/ha entsprechend etwa 15 €/ha).

Mit Ausnahme von Programm 23 (das nur alte Wirkstoffe beinhaltet und für eine spezielle Unkrautflora verwendet wird) enthalten die anderen Programme am Schluss der Rangfolge neue Pflanzenschutzmittel. Diese enthalten jedoch ebenfalls alte Wirkstoffe wie Atrazin und Metolachlor, die eindeutig als problematisch für Grund- und Oberflächenwasser gelten (Flury, 1996; Kolpin et al., 1997a).

Von den anderen Programmen scheinen P2 und P3 gut eingestuft zu sein, machen jedoch Probleme. Der Wert des I-Phy-Indikators liegt unter 7, infolge gefährlicher Wirkstoffe, deren Wirksamkeit wegen resistenter Unkräuter im Grenzbereich liegt. Hier liegt ein Beispiel vor, das gut zeigt, dass die Multikriterien-Verfahren eine Einstufung ergeben, die nicht absolut und perfekt ist. Sie geben Hinweise, denen anschließend nachzugehen ist. Die Programme 32 und 35 sind zu teuer, obwohl ökologisch vorteilhaft. Die Programme 37 (in der Ebene) und 43 sind etwas weniger teuer. Bleibt noch P44, das dem P45 ähnlich ist, aber etwas teurer.

Die deutschen Unkrautbekämpfungsprogramme (ohne Atrazin) stechen mit Ausnahme von P32 und P37 nicht hervor. Die meisten enthalten Motivell und Mikado, sind wirksam und umweltverträglich, insgesamt jedoch zu teuer (um 75 €/ha) oder aber grenzwertig in Bezug auf Risiko und Wirksamkeit, wenn sie zur Reihenbehandlung eingesetzt werden.

**Tab. 14:** Rangfolge der 45 Programme nach dem Verfahren Electre III (Situation 'Ebene')

	technische Strategie	Versicherungsstrategie	integrierte Strategie	umweltorientierte Strategie
1. Rang	<b>P7 P13 P20</b>	<b>P20 P33</b>	<b>P20 P45</b>	<b>P20 P45</b>
2. Rang	<b>P4 P14 P45</b>	<b>P2 P6</b>	<b>P2 P37 P44</b>	<b>P2 P43 P44</b>
3. Rang	<b>P2 P5 P6 P11 P19 P33</b>	<b>P3 P11</b>	<b>P3 P14 P24 P32 P35</b>	<b>P3 P31 P35 P37</b>
....				
Vorvorletzter	<b>P28 P42</b>	<b>P23 P25 P41</b>	<b>P41</b>	<b>P41</b>
Vorletzter	<b>P16 P23 P38 P41</b>	<b>P12 P16 P30</b>	<b>P8 P39</b>	<b>P8 P38 P39</b>
letzter Rang	<b>P23 P39</b>	<b>P39</b>	<b>P23 P38</b>	<b>P23</b>

**Tab. 15:** Beschreibung der im Text erwähnten Programme

Pro-gramm	Da-tum	Mittel	Dosis (kg, l/ha)	Kosten (€/ha)	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksam- keit ges.	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügel.)
<b>P2</b>	30/4	Alachlor	5						
	30/4	Atrazin	1	<b>18,75</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6,8</b>	<b>6,0</b>	<b>6,1</b>
<b>P3</b>	30/4	Aalachlor	5						
	30/4	Atrazin	2	<b>22,25</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>6,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5,9</b>
<b>P20</b>	20/5	Atrazin	1,7						
	20/5	Pyron DE (pyri- dat+clopyralid)	1,3						
	25/5	Maschin.hacke		<b>61,75</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8,1</b>	<b>6,9</b>	<b>6,3</b>
<b>P23</b>	15/5	Atrazin	1						
	15/5	Lentagran 600	1						
	5/4	Atrazin	1						
	5/4	Capsolane	14	<b>133,85</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8,5</b>	<b>5,4</b>	<b>4,9</b>
<b>P32</b>	20/5	Motivell	1						
	20/5	Mikado	1	<b>76,22</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9,5</b>	<b>9,2</b>	<b>9,6</b>
<b>P35</b>	20/5	Duogranol	1,5						
	20/5	Cato	0,04						
	25/5	Masch.hacke	1	<b>78,21</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>8,9</b>	<b>7,7</b>
<b>P37</b>	27/4	Trophée (acetochlor)	3						
	27/4	Atrazin	1,5						
	27/4	Lagon (isoxaflu- tol+aclonifen)	0,6	<b>59,75</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9,8</b>	<b>6,7</b>	<b>5,1</b>
<b>P38</b>	27/4	Gao (meto- lachlor+benoxa cor+metosulam)	4						
	27/4	Atrazin	1,5						
	20/5	Lentagran 600	1,5	<b>92,54</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8,1</b>	<b>4,2</b>	<b>3,3</b>
<b>P39</b>	27/4	Gao (meto- lachlor+benoxa cor+metosulam)	3						
	27/4	Merlin	0,06						
	27/4	Atrazin	1,5	<b>67,08</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8,2</b>	<b>4,6</b>	<b>4,1</b>
<b>P41</b>	27/4	Duelor S (meto- lachlor+benoxa cor)	2						
	27/4 20/5	Atrazin Cambio (benta- zon+dicamba)	1,5 2,5	<b>70,13</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>
<b>P43</b>	27/4	Spectrum (Frontière)	1,3						
	27/4	Atrazin	1,5						
	27/4	Merlin	0,075	<b>68,75</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>9,2</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>
<b>P44</b>	27/4	Atrazin*	1,5						
	27/4	Spectrum (Frontière)*	1,3						
	27/4	Merlin*	0,075	<b>56,10</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8,2</b>	<b>9,1</b>	<b>8,8</b>
	20/5	Maschin.hacke	1,5 Mal						
<b>P45</b>	27/4	Atrazin*	1,5						
	27/4	Aalachlor*	4						
	27/4	Merlin*	0,075						
	20/5	Maschin.hacke	1,5 Mal	<b>51,07</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9,1</b>	<b>8,3</b>	<b>8,3</b>

\* Reihenspritzung

## 5. Praktische Umsetzung

- Getestet wurde ein zwischen ökonomischen, technischen und ökologischen Kriterien vermittelndes Verfahren zur Auswahl von Programmen (zur Unkrautbekämpfung), das unter der Voraussetzung, dass die Berechnungsinstrumente I-Phy und Electre III verfügbar sind, zur Ziehung von Schlussfolgerungen aus Unkrautbekämpfungsverfahren verwendet werden könnte. Ihr routinemäßiger Gebrauch ist ziemlich einfach.
- Einige Unkrautbekämpfungsprogramme wurden bei der Suche nach einem Kompromiss zwischen ökonomischen, technischen und ökologischen Erfordernissen als interessant eingestuft. Derartige Programme sind in der Praxis zu prüfen.
- Ausgehend von den untersuchten Programmen und den dabei erzielten Ergebnissen können neue Programme entwickelt werden.

## 6. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Arbeit in diesem Teil behandelte einen 'schulmäßigen' Fall in Art des Ansatzes von Loyce (1998), ohne bis zum Versuch zu gehen. Wir haben eine ziemlich umfassende Auswahl von Unkrautbekämpfungsprogrammen zusammengestellt und auf Grundlage der dem Landwirt vorliegenden allgemeinen Informationen sowie mit dem Indikator I-Phy charakterisiert. So wurde die Wirksamkeit anhand einer 'theoretischen' Flora mit den wichtigsten Arten (einjährige Gräser, Amaranth, Chenopodien, Schwarzer Nachtschatten, Flohknöterich) abgeschätzt. Andere Arten können Probleme verursachen, insbesondere wenn auf Atrazin verzichtet wird (Bockstaller & Girardin, 2000b; Juncker-Schwing, 1999). Es braucht also echte Fälle. Außerdem könnten die Schätzung der Wirksamkeit je nach Aufwandmenge und die Aggregation zu einem Durchschnittswert am Schluss verbessert werden. Es wurden auch verschiedene Gewichtungsfaktoren in Abhängigkeit von der Bekämpfungsstrategie geprüft. In der Praxis fragt der Multikriterien-Ansatz die verschiedenen Interessenvertreter eines Problembereichs nach ihrer Gewichtung, so z.B. Arondel & Girardin (1998).

Der Einsatz dieses Verfahrens ist ziemlich leicht, wenn es auf EDV läuft. In Anbetracht der Zahl der geprüften Programme ist die erzielte Rangfolge komplex, wegen der verschiedenen Unvereinbarkeiten zwischen Einzelprogrammen. Es ist eines der Prinzipien der europäischen Schule, diese Realität zu akzeptieren (Schärlig, 1985). Ohne Instrumente dieser Art würde der Praktiker wahrscheinlich dasselbe für alle Programme schlussfolgern. So eine Methode ersetzt nicht denjenigen, der entscheidet, sondern dient dazu, ihn bei seiner Entscheidungsfindung so gut wie möglich zu unterstützen. Ein vorsichtiger Umgang mit diesen Klassifizierungsinstrumenten, die nur einen Teil leisten, ist also angezeigt und ihre Ergebnisse sind zu validieren.

Was die erzielten Ergebnisse angeht, so konnten wir einige Programme herausfinden, die einen Kompromiss bilden zwischen ökonomischen, technischen und Umwelterfordernissen. Sie enthalten jedoch meistens einen problematischen Wirkstoff (z.B. Atrazin), jedoch mit reduzierter Aufwandmenge. Programme mit umweltschonenderen Wirkstoffen sind häufig zu teuer oder werfen technische Probleme auf. Die Auswahl der Programme erfolgte auf empirischer Grundlage. Andere Autoren haben EDV-Systeme verwendet, die eine sehr große Zahl von Kombinationen ermitteln (Loyce, 1998; tenBerge et al., 2000), was viel schwerfälliger ist und eine große Menge an Daten erfordert, jedoch den Vorteil hat, sehr innovativ zu sein. Auch ohne in derartige Prozeduren einzusteigen, die eher Sache der Forschung sind, kann man mit unserem Ansatz und den geprüften Programmen daran gehen, neue Kombinationen auszudenken, die den Kriterien der Untersuchung gerecht werden (insbesondere 45). In jedem Fall müssen derartige Programme in einem weiteren Schritt dann experimentell geprüft werden.

## E: Allgemeine Schlussfolgerungen zu Teilthema 1

Die in diesem (wichtigen) Teilprojekt berichteten Arbeiten waren veranlasst durch die Fragen, die sich ein Anwender des INDIGO-Verfahrens (basierend auf agrar-ökologischen Kenngrößen) stellen kann.

Zuerst haben wir dieses Verfahren mit dem deutschen Verfahren KUL verglichen, welches gewisse Ähnlichkeiten aufweist und in Deutschland an Bedeutung gewinnt. Ziel war es, die Möglichkeiten und Grenzen jedes der beiden Verfahren zu ermitteln und den Befürchtungen der Anwender bezüglich möglicherweise auftretender Unterschiede in der Diagnose und daraus abgeleiteter Empfehlungen durch die beiden Verfahren eine Antwort geben zu können. Der von uns gewählte Ansatz kann auch anderen Untersuchungen dienlich sein, die mit der Verbreitung der Verfahren nötig sein werden (s. Kästen 2 und 3). Ein Vergleich der Ergebnisse zweier Verfahren wurde bisher nur selten vorgenommen. In unserem Fall kommt dabei heraus, dass die mit INDIGO erstellte Diagnose strenger ist als die mit KUL erstellte, was uns veranlasst, gegenüber eines evtl. auf KUL aufbauenden Zertifizierungsverfahrens Vorbehalte anzumelden. Einer der wichtigsten Ursachen ist im Typus der von den beiden Verfahren verwendeten Indikatoren sowie in deren Diagnosefähigkeit zu sehen. So können insbesondere die von KUL verwendeten Nährstoffbilanzen (N, P) nicht eine risikofreie Situation ausweisen, sondern lediglich bestehende Risiken aufdecken. Die von INDIGO entwickelten Indikatoren weisen ein größeres Potential auf. Jedoch dürfen auch sie nicht als Vorschau- oder Kontrollinstrument gebraucht werden.

In einem zweiten Schritt haben wir versucht, die Frage nach einem Instrument zur Aggregation oder Integration von Informationen zu beantworten, um Entwicklungen vergleichen und begleiten zu können, was mit einer Vielzahl an Kriterien oder Indikatoren nicht möglich ist. Zwei Möglichkeiten boten sich an (Schärlig, 1985; Schärlig, 1996):

- das zusammenfassende Einheitskriterium oder der Globalindikator.
- ein Multikriterien-Ansatz der 'Europäischen Schule', der versucht die Fallen, Unvergleichbares miteinander zu vergleichen, zu umgehen. Eine Falle, die insbesondere Ansätzen vom Typ 'gewichtetes Mittel' innewohnt. Sie wird auch wegen der erforderlichen subjektiven Aspekte kritisiert (Hansen, 1996).

Wir haben einen Relativindikator der Nachhaltigkeit (IDU) entwickelt, der auf den INDIGO-Indikatoren aufbaut und soweit wie möglich die Nachteile vermeidet, die mit einem Ansatz, der ein gewichtetes Mittel verwendet, verbunden sind. Insbesondere haben wir versucht, die Gewichtung der Indikatoren auf eine objektive Grundlage zu stellen. Ein schwieriger Schritt bleibt die Festlegung der Leistungsfunktionen, denen eine objektive Grundlage fehlt. Eine Untersuchung der Sensibilität wäre erforderlich (Girardin et al., 1999). In jedem Fall ist es wieder einmal wichtig, das Potential des Instruments festzulegen, das relativ bleibt und vor allem dazu dient, Schwachstellen aufzuzeigen: und dies im Sinne des Verfahrens INDIGO, als Evaluierungs- und nicht als Kontrollinstrument.

Der Multikriterien-Ansatz ist auch interessant für Probleme der Verfahrensauswahl, insbesondere unter dem Aspekt einer nachhaltigen Landwirtschaft, bei der Rentabilität, technische Machbarkeit und Umweltschutz unter einen Hut gebracht werden müssen. Damit haben wir eine Klassifizierungsmethode auf einen schulmäßigen Fall der Unkrautbekämpfung bei Mais angewandt. Ein derartiger Ansatz könnte dazu dienen, die Auswertung von Unkrautbekämpfungsversuchen, die bereits eine multikriterielle Information (Wirksamkeit, Risiken, Kosten) liefern, und die es vermehrt um Umweltinformationen zu ergänzen gilt, zu verbessern. Der Indikator I-Phy kann hier hilfreich sein. Dieser Ansatz kann auch Innovationen unterstützen, indem er bei der Erstellung neuer, den Anforderungen genügender Unkrautbekämpfungsprogramme behilflich ist. Natürlich müssen diese anschließend noch in Versuchen erprobt werden. Auf jeden Fall können derartige Ansätze auch dem Informationsaustausch zwischen Forschern, Technikern und Landwirten dienen, was in Richtung einer nachhaltigen Landwirtschaft geht (Pretty, 2000).

## Literatur

AGPM, SPV, 2001. Protection du maïs (brochure).

Appel, T., Schmücker, M., Schultheiss, U., 1994. Möglichkeiten und Grenzen schlagbezogener N-Bilanzen zur Reduzierung der Nitratbelastung in Wasserschutzgebieten. VDLUFA-Schriftenreihe 37, 137-140.

Aronde, C., Girardin, P., 1998. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. Colloque EURO XVI . Cahier du LAMSADE 158, 1-26.

Aronde, C., Girardin, P., 2000. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. European Journal of Operational Research 127, 476-482.

Baudry, J., Bunce, R. G. H., Burel, F., 2000. Hedgerows: An international perspective on their origin, function and management. Journal of Environmental Management 60, 7-22.

Benjamin, J. G., Porter, L. K., Duke, H. R., Ahuja, L. R., 1997. Corn growth and nitrogen uptake with furrow irrigation and fertilizer bands. Agronomy Journal 89, 609-612.

Benoît, M., 1992. Un indicateur des risques de pollution azotée nommé "Bascule" (Balance Azotée Spatialisée des systèmes de CULTure de l'Exploitation). Fourrages 129, 95-110.

Bockstaller, C., Girardin, P., Assessing the P fertilization by means of an agro-ecological indicator: the *Phosphorus* indicator, Zima, M., Bartosova, M. L., (Eds.), Fifth Congress of the European Society for Agronomy, Nitra (Slovak Republic), European Society for Agronomy, 1998, pp. 33-34.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000a Agro-ecological indicators - Instruments to assess sustainability in agriculture, In: Härdtlein, M., Kaltschmitt, M., Lewandowski, I., Wurl, H., (Eds.), Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaft, Initiativen zum Umweltschutz, vol. 15, Erich Schmidt Verlag, Stuttgart, pp. 69-83.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000b. Faisabilité de la Production Intégrée en grande culture, ITADA, Colmar.

Bockstaller, C., Girardin, P., Using a *crop sequence* indicator to evaluate crop rotations, 3rd International Crop Science Congress 2000 ICSC, Hamburg, 2000c, pp. 37.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2001. How to validate environmental indicators? Agricultural Systems, submitted.

Bockstaller, C., Girardin, P., Van der Werf, H., 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. European Journal of Agronomy 7, 261-270.

Boller, E. F., Malavolta, C., Jörg, E., 1997. Guidelines for integrated production of arable crops in Europe. Technical guidelines III. IOBC/WPRS Bulletin 20, 5-19.

Breitschuh, G., Eckert, H., Kuhaupt, H., Gernand, U., Sauerbeck, D., Roth, S., 2001. Erarbeitung von Beurteilungskriterien und Messparametern für nutzungsbezogene Bodenqualitätsziele. Anpassung und Anwendung von Kriterien zur Bewertung nutzungsbedingter Bodengefährdungen. UBA-Text 50/00 50/00, 129.

Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., Kuhlmann, H., 2000. Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as input to LCA studies in the agricultural sector. International Journal of Life Cycle Assessment 5, 1-9.

Briquel, V., Vilain, L., Bourdais, J. L., Girardin, P., Mouchet, C., Viaux, P., 2001. La méthode IDEA (indicateurs de durabilité des exploitations agricoles): une démarche pédagogique. Ingénieries n°25, 29-39.

Buhler, D. D., King, R. P., Swinton, S. M., Gunsolus, J. L., Forcella, F., 1996. Field evaluation of a bioeconomic model for weed management in corn (*Zea mays*). Weed Science 44, 915-923.

Buhler, D. D., King, R. P., Swinton, S. M., Gunsolus, J. L., Forcella, F., 1997. Field evaluation of a bioeconomic model for weed management in soybean (*Glycine max*). Weed Science 45, 158-165.

Buhler, D. D., Liebman, M., Obrycki, J. J., 2000. Theoretical and practical challenges to an IPM approach to weed management. Weed Science 48, 274-280.



- Chegard, L., 2000. Suivi des pratiques d'un groupe d'agriculteurs de Moselle au moyen d'indicateurs agro-écologiques, ENSA Rennes.
- Debaeke, P., Doré, P., Viaux, P., Production de référence sur les successions de culture, Expérimenter sur les conduites de cultures : Un nouveau savoir-faire au service d'une agriculture en mutation, 10 janvier 1996, Paris, DERF, ACTA, Paris, 1996, pp. 63-72.
- Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 1999. Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft (KUL): ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. *Agribiological Research* 52, 57-76.
- Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 2000. Criteria and Standards for Sustainable Agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 337-351.
- Flury, M., 1996. Experimental evidence of transport of pesticides through field soils - A review. *Journal of Environmental Quality* 25, 25-45.
- Foltz, J. C., Lee, J. G., Martin, M. A., Preckel, P. V., 1995. Multiattribute assessment of alternative cropping systems. *American Journal of Agricultural Economics* 77, 408-420.
- Forcella, F., King, R. P., Swinton, S. M., Buhler, D. D., Gunsolus, J. L., 1996. Multi-year validation of a decision aid for integrated weed management in row crops. *Weed Science* 44, 650-661.
- Frede, H. G., Fischer, P., Bach, M., 1998. Reduction of herbicide contamination in flowing waters. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 161, 395-400.
- Gascuel-Oudou, C., Heddadj, D., 2001. Maîtrise des transferts de surface dans le contexte armoricain, Bretagne Eau Pure, Rennes.
- Gascuel-Oudou, C., Heddadj, D., Clément, M., Maquere, M., Seux, R., 1996. Incidence des pratiques du désherbage sur le transfert des eaux et des phytosanitaires, INRA, ENSA, ENSP, Rennes.
- Gaynor, J. D., van Wesenbeeck, I. J., 1995. Effects of band widths on atrazine, metribuzine, and metolachlor runoff. *Weed Technology* 9, 107-112.
- Gebauer, J., Bäuerle, A. S., 2000. Betriebliche Umweltinformationstechniken für die Landwirtschaft. *Berichte über Landwirtschaft* 78, 354-392.
- Geier, U., Köpke, U., 2000. Analyse and Optimierung des betrieblichen Umweltbewertungsverfahrens "Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung" (KUL). *Berichte über Landwirtschaft* 78, 191.
- Girardin, P., Bockstaller, C., van der Werf, H. M. G., 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13, 5-21.
- Girardin, P., Hanson, M., Bockstaller, C., 1997. Mise au point et validation d'indices agro-écologiques pour le diagnostic des exploitations de grande culture s'orientant vers la Production Intégrée., ITADA, Colmar.
- Guillard, K., Warner, G. S., Kopp, K. L., Stake, J. D., 1999. Leaching of broadcast and banded atrazine from maize plots. *Journal of Environmental Quality* 28, 130-137.
- Hansen, J. W., 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? *Agricultural Systems* 50, 117-143.
- Hertwich, E. G., Pease, W. S., Koshland, C. P., 1997. Evaluating the environmental impact of products and production processes: A comparison of six methods. *The Science of the Total Environment* 196, 13-29.
- Juncker-Schwing, 1999. Evolution de la flore d'une parcelle de maïs en l'absence d'atrazine dans le programme de désherbage. Synthèse des expérimentations de 1994 à 1998 au Lycée de Rouffach (68), Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM).
- Juncker-Schwing, F., Lasserre, D., Kansy, F. J., 2000. Interaction azote et irrigation : optimisation et maîtrise des risques, ITADA, Colmar.
- Keichinger, O., Girardin, P., 1998. Evaluation de l'impact des pratiques agricoles sur la valeur cynégétique du milieu au moyen d'indicateurs, Havet, P., Taran, E., Berthos, J. C., (Eds.), IUGB XXIIIrd Congress, Lyon, pp. 289-298.

- Kolpin, D. W., Barbash, J. E., Gilliom, R. J., 1998. Occurrence of pesticides in shallow groundwater of the United States: Initial results from the National Water Quality Assessment Program. *Environmental Science and Technology* 32, 558-566.
- Kolpin, D. W., Kalkhoff, S. J., Goolsby, D. A., Sneek-Fahrer, D. A., Thurman, E. M., 1997a. Occurrence of selected herbicides degradation products in Iowa's ground water, 1995. *Ground Water* 35, 679-688.
- Kolpin, D. W., Sneek-Fahrer, D., Hallberg, G. R., Libra, R. D., 1997b. Temporal trends of selected agricultural chemicals in Iowa's groundwater, 1982-1995: Are things getting better? *Journal of Environmental Quality* 26, 1007-1017.
- Lasserre, D., Remuaux, M., Muller, J., Juncker-Schwing, F., Hammel, F., 2001. Le maïs en Alsace : Résultats 2000 et préconisations, ITCF, AGPM, Ste-Croix en Plaine, Colmar.
- LfU-APRONA-DIREN/SEMA, 2000. Inventaire de la qualité des eaux souterraines dans la vallée du Rhin supérieur : résultats de la campagne de prélèvements et d'analyses, Région Alsace, Strasbourg.
- Loyce, C., 1998. Mise au point d'itinéraires techniques pour un cahier de charges multicritères : Le cas de la production de blé éthanol en champagne crayeuse, Thèse de l'Institut National Agronomique Paris Grignon, pp. 242.
- Lundkvist, A., 1997. Weed management models. A literature review. *Swedish Journal of agricultural Research* 27, 155-166.
- Machet, J. M., Laurent, F., Chapot, J. Y., Dore, T., Dulout, A., 1997. Maîtrise de l'azote dans les intercultures et les jachères, In: Lemaire, G., Nicolardot, B., (Eds.), *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes*, Les colloques de l'INRA, INRA, Versailles, pp. 271-288.
- Mengel, K., 1997. Agronomic measures for better utilization of soil and fertilizer phosphates. *European Journal of Agronomy* 7, 221-233.
- Meynard, J. M., 1998. La modélisation du fonctionnement de l'agro-système, base de la mise au point d'itinéraires techniques et de systèmes de culture, In: Biarnès, A., (Ed.), *La conduite du champ cultivé. Points de vue d'agronomes*, ORSTOM éditions, Paris, pp. 29-54.
- Normand, B., Recous, S., Vachaud, G., Kengni, L., Garino, B., 1997. Nitrogen-15 tracers combined with tensio-neutronic method to estimate the nitrogen balance of irrigated maize. *Soil Science Society of America Journal* 61, 1508-1518.
- O'donovan, J. T., 1996. Weed economic thresholds: Useful agronomic tool or pipe dream? *Phytoprotection* 77, 13-28.
- Pellerin, F., Pellerin, S., Vilette, C., Boiffin, J., 2000. Evolution du raisonnement de la fertilisation phosphatée des grandes cultures. Etude par simulation de l'évolution des sols et des successions de culture du Nord du Bassin Parisien. *Etude et Gestion des Sols* 7, 53-71.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C., Girardin, P., 2001. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the *energy* indicator. *Agricultural Systems* (in press).
- Prato, T., 2000. Multiple attribute evaluation of landscape management. *Journal of Environmental Management* 60, 325-337.
- Pretty, J., 2000. Conditions for successful implementation of sustainable agriculture, In: Härdtlein, M., Kaltschmitt, M., Lewandowski, I., Wurl, H., (Eds.), *Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaft, Initiativen zum Umweltschutz*, vol. 15, Erich Schmidt Verlag, Stuttgart, pp. 323-343.
- Reus, J., Leenderste, P., Bockstaller, C., Fomsgaard, I., Gutsche, V., Lewis, K., Nilsson, C., Pussemier, L., Trevisan, M., van der Werf, H., Alfarroba, F., Blümel, S., Isart, J., McGrath, D., Seppälä, T., 1999. Comparing environmental risk indicators for pesticides. Results of the European CAPER project, Centre for Agriculture and Environment, Utrecht.
- Ricard, C., Claudez, C., 1994. Développement durable et agriculture durable, Ministère de l'Agriculture et de la pêche DAFE /BEP, Paris.
- Romig, D. E., Garlynd, M. J., Harris, R. F., McSweeney, K., 1995. How farmers assess soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 50, 229-236.

- Schärlig, A., 1985. Decider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Schärlig, A., 1996. Pratiquer Electre et Prométhée. Un complément à decider sur plusieurs critères, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Schiavon, M., Perranganier, C., Portal, J. M., 1995. La pollution de l'eau par les produits phytosanitaires : état et origine. *Agronomie* 15, 157-170.
- Sebillote, M., 1989. Fertilité et systèmes de production: essai de problématique générale, In: Sebillote, M., (Ed.), *Fertilité et systèmes de production*, INRA, Paris, pp. 13-57.
- Senanayake, R., 1991. Sustainable agriculture: definitions and parameters for measurement. *Journal of Sustainable Agriculture* 1, 7-28.
- Sharpley, A., Foy, B., Withers, P., 2000. Practical and innovative measures for the control of agricultural phosphorus losses to water: an overview. *Journal of Environmental Quality* 29, 1-9.
- Simon, J. C., Grignani, C., Jacquet, A., LeCorre, L., Pages, J., 2000. Typologie des bilans d'azote de divers types d'exploitation agricole : recherche d'indicateurs de fonctionnement. *Agronomie* 20, 175-195.
- Sims, J. T., Simard, R. R., Joern, B. C., 1998. Phosphorus loss in agricultural drainage: Historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* 27, 277-293.
- Smith, C. S., McDonald, G. T., 1998. Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. *Journal of Environmental Management* 52, 15-37.
- tenBerge, H. F. M., van Ittersum, M. K., Rossing, W. A. H., van de Ven, G. W. J., Schans, J., van de Sanden, P., 2000. Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy* 13, 263-277.
- van der Werf, H. G. M., 2001. Evaluation of environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison of twelve indicator-based methods. *Agriculture Ecosystems and Environment*, in preparation.
- van der Werf, H. M. G., Zimmer, C., 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* 36, 2225-2249.
- Vansteelant, J. Y., Trevisan, D., Perron, L., Dorioz, J. M., Roybin, D., 1997. Frequency of runoff in the cropped area of the French basin of Lac Lemman. *Agronomie* 17, 65-82.
- Viaux, P., 1997. Les systèmes de production intégrés. *Oléagineux Corps gras Lipides* 4, 430-441.
- Weinstoerffer, J., Girardin, P., 2000. Assessment of the contribution of landuse pattern and intensity of landscape quality: use of an landscape indicator. *Ecological Modelling* 130, 95-109.

**TEILTHEMA 2:****Übertragung des Pflanzenschutz-Indikators auf andere Produktionssysteme**

<b>Projektleitung:</b>	Christian Bockstaller (ARAA)	F
<b>Mitbeteiligte:</b>	Philippe Girardin, M. Thiollet* (INRA)	F
	Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne (CIVC)	F
	Institut Technique de la Vigne et du Vin (ITV) Alsace/France	F

\* im Rahmen des Programms 'Netzwerk nördlicher Weinbau und Wein' (RVVS), finanziert von den Regionen Champagne-Ardennes, Alsace et Bourgogne

**A Ausgangssituation und Problemstellung**

Im Teilthema 1 haben wir das INDIGO-Verfahren mit einem deutschen, auf Umweltkriterien basierenden Evaluierungssystem, KUL, verglichen. Dabei zeigte sich, dass einer der Schwachpunkte von INDIGO in seinem bei manchen Indikatoren auf den Ackerbau, mit einer teilweisen Berücksichtigung von Grünland beschränkten Anwendungsbereich liegt. Es war also naheliegend, sich um die Ausweitung des Anwendungsbereichs dieses Verfahrens auf andere Produktionssysteme zu bemühen. Dies gilt insbesondere für den Pflanzenschutzmittel-Indikator und damit eine der 'brennendsten' Umweltproblematiken. Dieser Indikator interessiert ganz besonders die in direktem Kontakt mit dem Verbraucher stehenden Sektoren wie den Weinbau (de la Roque, 1999), den Obstbau und den Gartenbau. In der vorliegenden Arbeit beschränken wir uns auf den Weinbau, wohl wissend, dass auch mit dem Obstbau, über dessen Technisches Institut CTIFL, eine Zusammenarbeit vereinbart wurde. Dies wird jedoch nicht mehr Gegenstand des vorliegenden Projekts sein.

Angesichts der steigenden Nachfrage der Verbraucher bemüht sich der Berufsstand der Winzer, insbesondere über das Weinbauinstitut (ITV), das Comité Interprofessionnel des Vins de Champagne, den Verein elsässischer Weinbauern (AVA), aber auch im Rahmen von Weinbauerngruppen-Initiativen in der Art von Tyflo, Anbaumaßnahmen, die sich auf die integrierte Produktion stützen, zu entwickeln. Diese hat ihren Ursprung in Konzepten des integrierten Pflanzenschutzes, welche seit den 60er Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt wurden, um die Anzahl der Behandlungen zu reduzieren und die Resistenzproblematik zu entschärfen. Eines ihrer Grundprinzipien ist die Berücksichtigung der Wirkungen von Nützlingen. Außerdem haben verschiedene Arbeiten die Bedeutung der Abtrift im Weinbau in Abhängigkeit von der eingesetzten Technik aufgezeigt (Siegfried et al., 1999; Vernet, 1998). Bis jetzt berücksichtigte der I-Phy-Indikator diese Effekte nicht. Die Bedeutung dieser Problemstellungen hat uns dazu gebracht, den I-Phy-Indikator vor einem Einsatz im Weinbau zu verbessern und an die Besonderheiten des Weinbaus anzupassen (andere Mittel, größere Anzahl von Behandlungen als im Ackerbau). Wir konzentrieren uns in diesem Bericht auf diesen Aspekt der Arbeit und werden ein Anwendungsbeispiel geben, wie man mit dem Indikator Mittel für die integrierte Produktion auswählt.

**B Zielsetzung**

- Verbesserung des Pflanzenschutzmittelindikators durch Einfügung neuer Evaluierungsmodule, die neue und bedeutende Umweltproblematiken im Weinbau aufgreifen.
- Anpassung des Pflanzenschutzmittelindikators an die Situation im Weinbau, um den Landwirten zu helfen, Fortschritte zu machen, hin zu auf der Integrierten Produktion basierenden Behandlungsprogrammen.

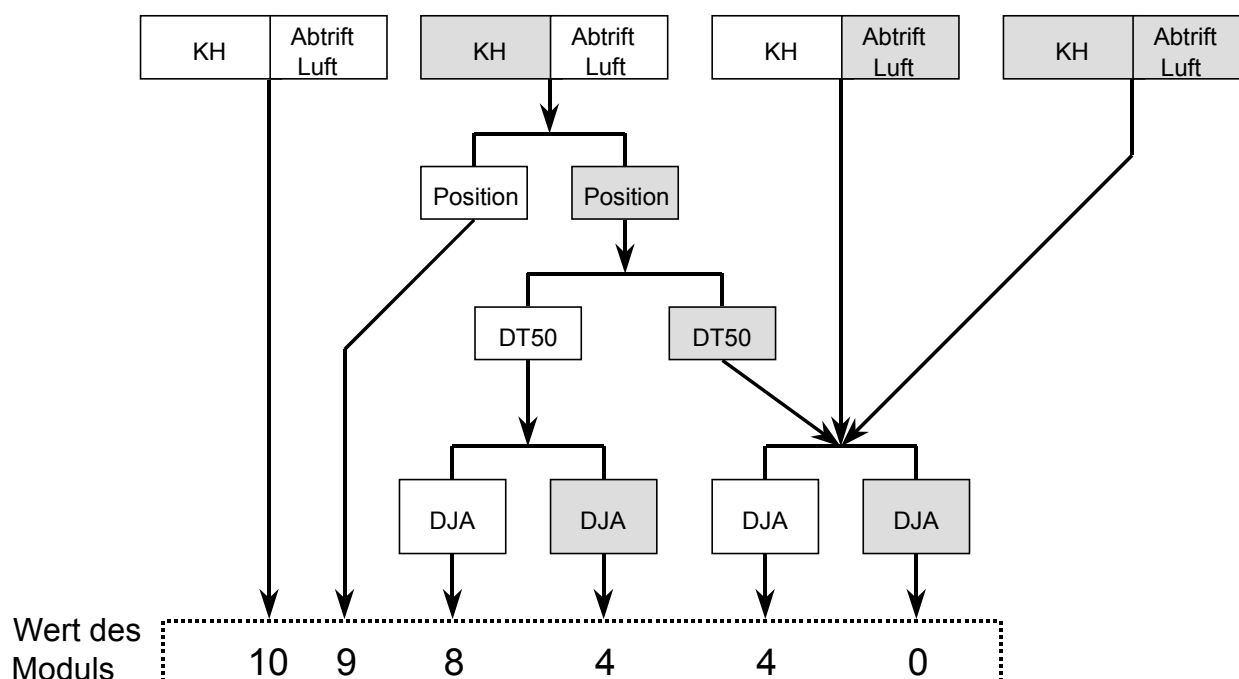
## C Durchgeführte Arbeiten

Im Gefolge einer bibliographischen Arbeit (Chegard, 2001), wurde die Kenngröße I-Phy zwei bedeutenden Änderungen bei der Berechnung des Umweltrisikos für jede Anwendung eines Wirkstoffes unterzogen:

- Das Modul 'Luft' wurde angereichert um die Berücksichtigung der Abtrift beim Spritzen, was Konsequenzen sowohl auf der Ebene der Umwelt (Luftverschmutzung, Eintrag in Naturflächen) als auch auf agronomischer Ebene (Wirksamkeitsverlust (Siegfried et. al., 1999)) hat.
- Es wurde ein Modul 'Nützlinge' eingeführt, das nicht beabsichtigte Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf die Nützlingsfauna berücksichtigt.

### 1. Anpassung des Moduls 'Luft' des Pflanzenschutz-Indikators

In der Ackerbauversion wurde nur die Verflüchtigung berücksichtigt (Bockstaller & Girardin, 2000; van der Werf & Zimmer, 1999), beruhend auf den in der linken Hälfte von Abb. 8 angegebenen Entscheidungsregeln. Abbildung 8 zeigt Extremfälle, wo die Variablen Henry-Konstante (KH), Exposition (Aufnahme in den Körper oder nicht), die Halbwertszeit als Maß für die Persistenz (DT 50) und die chronische Humantoxizität (DJA) entweder im günstigen (weißes Kästchen) oder im ungünstigen Bereich (graues Kästchen) liegen. Für die dazwischenliegenden Fälle bedient sich der Indikator dem Verfahren der Fuzzy-Logic (Bockstaller & Girardin, 2000; van der Werf & Zimmer, 1999).



**Abb. 8:** Entscheidungsregeln nach den in diesem Teilthema am Modul 'Risiko für die Luft' des Indikators I-Phy vorgenommenen Änderungen (helle Kästchen stehen für günstige, graue Kästchen für ungünstige Fälle).

Es wird vorgeschlagen, eine zusätzliche Variable, die Abtrift in der Luft (Dair) einzuführen, welche vom eingesetzten Spritzgerät abhängt. Diese Variable wird folgendermaßen klassifiziert:

- günstige Klasse: für das Abtriffrisiko 0%
- ungünstige Klasse: für Abtriftrisiken > 50%
- Übergangsklasse ('floue'): zwischen 0 und 50% Abtrift.

Nach den verschiedenen Literaturangaben (in Chegard, 2001) wurde folgende Tabelle mit repräsentativen Werten für verschiedene Gerätetypen zusammengestellt. Diese Angaben sind gültig für Behandlungen von Vegetation (Insektizide, Akarizide, Fungizide). Für Herbizidbehandlungen, die auf den Boden appliziert werden, sind die Gefahren geringer und wurden auf 5% geschätzt.

**Tab. 16:** Werte für Luftabtrift bei verschiedenen Pflanzenschutzgeräten (nach Chegard, 2001). *Angaben in Kursivschrift sind extrapoliert.*

Gerätetyp	% Abtrift bei Behandlungen auf Vegetation <sup>a</sup>
Spritzgerät	25
Tunnelspritzgerät (Spritzgerät mit Auffangvorrichtung)	10
Axialsprühgerät (Sprühgerät mit Axialgebläse)	25
Sprühgerät mit Axialgebläse und Düsenabschaltung	10
Querstromsprühgerät (Sprühgerät mit Tangentialgebläse)	10
Weitraumsprühgerät (Weitraumsprühkanone)	50
Sprühgerät mit Radialgebläse, beidseitige Applikation	20
Sprühgerät mit Radialgebläse, Standard von oben	30
Hubschrauber	50
Stäubegerät	50

<sup>a</sup> Für Bodenbehandlungen (Herbizide) wurde der Abtrift-Prozentsatz auf 5% festgesetzt

Aus Tabelle 16 wird ersichtlich, dass Behandlungen mit dem Hubschrauber, einer Weitraumsprühkanone oder mit einem Stäubegerät in die ungünstige Kategorie fallen und somit das höchste Abtriftrisiko aufweisen.

Nachdem die Variable Dair nun definiert ist, muss sie noch in die Entscheidungsregeln des Moduls (Abb. 8) eingebaut werden. Wir schlagen vor, dabei von folgenden Überlegungen auszugehen:

- Ist das Abtriftrisiko Null, bleibt es bei den Entscheidungsregeln der alten Version.
- Ist der Abtriftwert ungünstig, ist die Gefahr von Verlusten in die Atmosphäre sehr groß (> 50%). Wir nehmen also an, dass das Abtriftrisiko das anschließend auftretende Verflüchtigungsrisiko erhöht. In diesem Fall berücksichtigt man das Verflüchtigungsrisiko nicht und das Modul 'Luft' hängt nur von der Abtrift ab.

Dies hat dazu geführt, den rechten Teil des Entscheidungsbaums in Abb. 8 anzufügen. Dieser Entscheidungsbaum mit 5 Variablen ähnelt dem für die 'Gefahr für Oberflächengewässer', wo die Luft-Abtrift durch den Anteil der Abtrift in Oberflächengewässer und die Henry-Konstante durch das Oberflächenabfluss-Potential ersetzt wird. So ein Baum mit 5 Variablen umfasst  $2^5 = 32$  Regeln. Es ist nicht leicht weiter zu gehen, ohne an Lesbarkeit einzubüßen.

Die Berechnung des Moduls basiert auf einem auf Fuzzy-Logik aufgebauten Expertensystem. Die Entscheidungsregeln sind 'gewichtet', in Abhängigkeit von den Werten der verschiedenen Variablen. Weist eine Variable einen günstigen Wert auf, so ist die Gewichtung 1 für den günstigen und 0 für den ungünstigen Fall und umgekehrt. Im Falle von intermediären Werten liegen die Werte zwischen 0 und 1.

## 2. Schaffung eines Moduls 'Nützlinge' zum Pflanzenschutz-Indikator

### 2.1 Auswahl der Nützlings-Arten

Von den verschiedenen Nützlingen, die es im Weinberg gibt, haben wir uns, nach Gesprächen mit Experten, auf die Raubmilben (*Phytoseiidae*) konzentriert. Diese spielen in der Tat im Weinbau eine wichtige Rolle (Kreiter, 1991) als Vertilger von pflanzenfressenden Milben (vor allem rote und gelbe, gegen die im chemischen Pflanzenschutz spezifische, häufig toxische Akarizide eingesetzt werden). Im übrigen waren diese Gegenstand zahlreicher Studien und Versuche, weshalb wir für die wichtigsten Arten dieser Gruppe auf umfangreiches Datenmaterial zurückgreifen können:

- *Typhlodromus pyri* Scheuten; die vorherrschende Art in den Regionen Elsass, Aquitaine, Auvergne, Bourgogne, Champagne, Franche-Comté, Midi-Pyrénées, Pays de Loire, Poitou-Charentes und Rhône-Alpes. Diese Art ist die häufigste und wahrscheinlich die aktivste gegen die Rote Spinne (Baillod & Venturi, 1980).
- *Kampimodromus aberrans* gibt es vor allem in Südfrankreich.

### 2.2 Verwendete Daten zu den nicht beabsichtigten Wirkungen von Pflanzenschutzmitteln

Es wurden vorzugsweise Ergebnisse aus Feldversuchen in Frankreich nach der Methode CEB 167 (Sentenac et al., 1999) verwendet. Diese Daten haben den Vorteil, dass sie mit einer standardisierten und anerkannten Methode auf Grundlage einer Expertenarbeit unter Weinbaubedingungen gewonnen wurden. Trotzdem mussten mehrere Anpassungen vorgenommen werden:

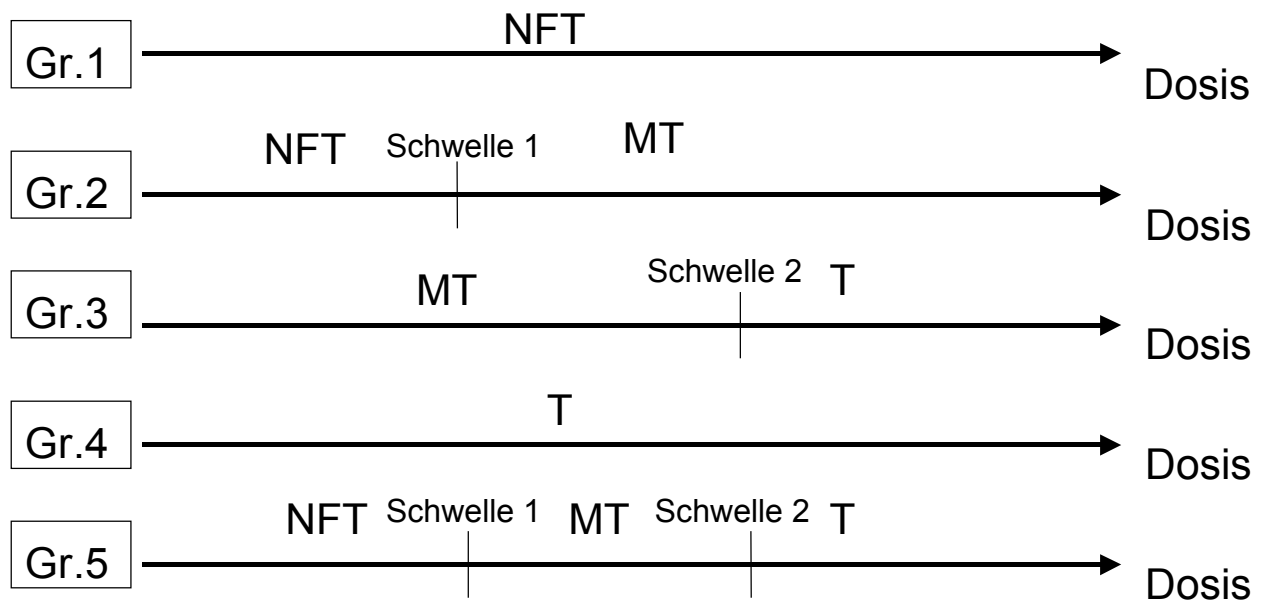
- Die Ergebnisse dieser Methode beziehen sich auf Handelsprodukte. Bei Produkten mit mehreren Wirkstoffen waren wir genötigt, die auf die Wirkstoffe extrapolierten Ergebnisse durch Verschnitt der Ergebnisse mehrerer Produkte, welche diese Wirkstoffe isoliert enthalten bzw. aus anderen Quellen, wie die der OILB, zu gewinnen.
- Bei Wirkstoffen, zu denen keine Ergebnisse vorlagen, haben wir uns auf ausländische Ergebnisse (Versuchsstation CH-Changins oder deutsche BBA) gestützt und Ergebnisse anderer Wirkstoffe derselben chemischen Familie extrapoliert.
- Bei auf den Boden applizierten Wirkstoffen wie Herbiziden, denen die Raubmilben kaum einmal ausgesetzt werden, wurde das Toxizitätsniveau auf die niedrigste Stufe festgelegt.

### 2.3 Aufbau des Moduls

Die Ergebnisse des CEB 167-Verfahrens wurden in drei Klassen eingeteilt:

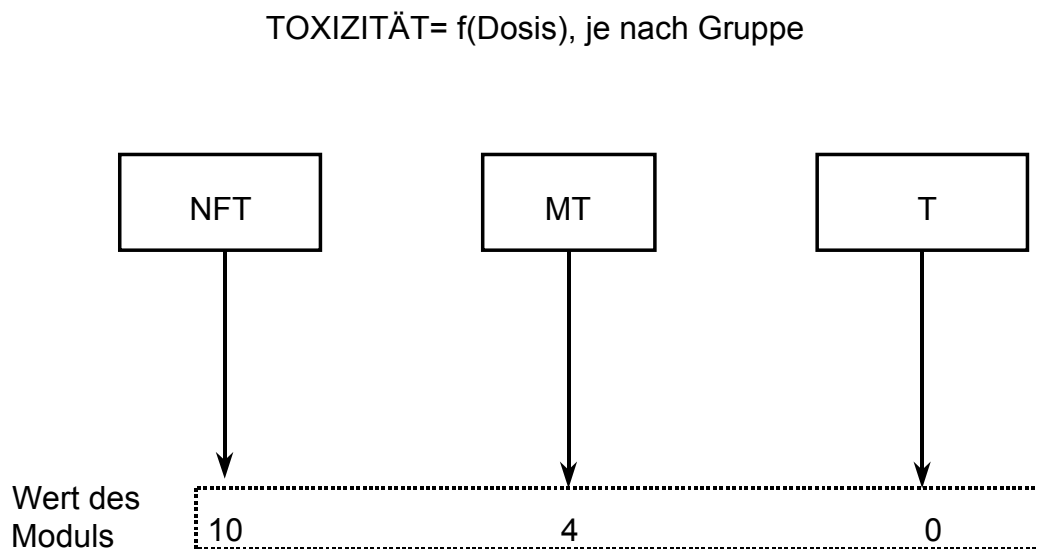
- toxisch (T) bei einer Restpopulation zwischen 0 und 30%.
- mittlere Toxizität (MT): für eine Restpopulation zwischen 30 und 60%.
- nicht bis gering toxisch

Ausgehend von den Ergebnissen bestimmter Produkte bei bestimmten Aufwandmengen konnten wir die Schwellen definieren, oberhalb derer die Produkte in die nächsthöhere Toxizitätsstufe kamen. Dies gilt insbesondere für Fungizide. Für andere, wie die Insektizide, gab es keine Variation der Aufwandmenge und somit nur ein Ergebnis. Anschliessend haben wir in Abhängigkeit von der Dosis 5 Toxizitätsgruppen gebildet, mit keiner, einer oder zwei Schwellen.



**Abb. 9:** Toxizitätsgruppen in Abhängigkeit von der Aufwandsmenge (Dosis)  
(T = toxisch, MT = mittlere Toxizität, NFT = nicht bis schwach toxisch)

In Tabelle 17 werden Beispiele für einige Wirkstoffe bei *Typhlodromus pyri*, der in unserer Gegend häufigsten Art, gegeben. Ausgehend von dieser Variablen haben wir, wie für die anderen Module, einen Entscheidungsbaum entwickelt (Abb. 10).



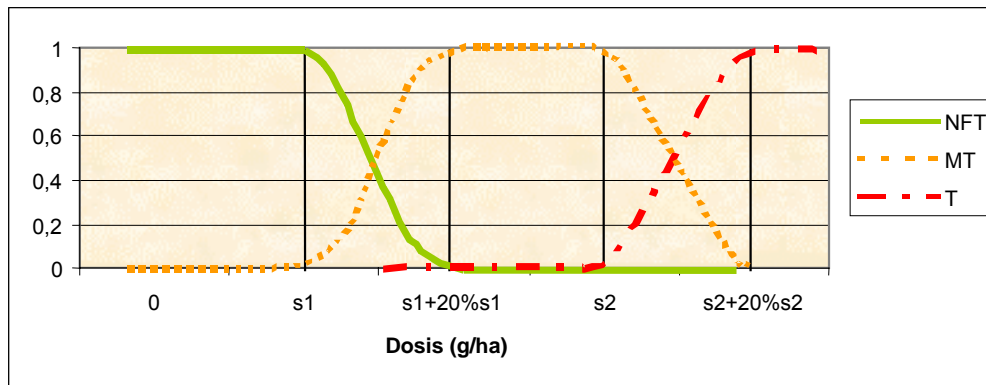
**Abb. 10:** Entscheidungsregeln für die Berechnung des Moduls 'Nützlige'  
(T = toxisch, MT = mittlere Toxizität, NFT = nicht bis schwach toxisch)



**Tab. 17:** Einteilung einiger Wirkstoffe in verschiedene Toxizitätsgruppen (T = toxisch, MT = mittlere Toxizität, NFT = nicht bis schwach toxisch) nach Abb. 9 samt Schwellenwerten für *Typhlodromus pyri*

Wirkstoffbezeichnung	Familie	Toxizität in Abhängigkeit von der Wirkstoffdosis (g/ha)				
			Schwelle 1		Schwelle 2	
aldicarb	carbamat					T
alphamethrin	pyrithrenoïd					T
aminotriazol	herbizid	NFT				
azoxystrobin	strobilurin	NFT				
carbendazim	carbamat	NFT	500	MT		
chlorothalonil	carbamat			MT	2000	T
chlorpyriphos-ethyl	organo-phosphat					T
chlorpyriphos-methyl	organo-phosphat			MT	200	T
clofentezin	acarizid	NFT				
Kupfersulfat	Kupfer	NFT				
Kupferoxyd (cuivreux)	Kupfer	NFT	3012	MT		
deltaméthrine	pyrethrinoid					T
dimethoate	organo-phosphat					T
diuron	herbizid	NFT				
epoxiconazol	IBS					T
flufénoxuron	Wachstumsregler	NFT	100	MT		
folpel	phtalimid	NFT				
ammonium-glufosinat	herbizid	NFT				
glyphosat	herbizid	NFT				
kresoxim-methyl	strobilurin	NFT				
lambda-cyhalothrin	pyrethrinoid					T
malathion	organo-phosphat					T
mancozeb	dithiocarbamat			MT	2800	T
maneb	dithiocarbamat					T
oryzalin	phenylamid	NFT				
parathion ethyl	Phosphor ester					T
pendimethalin	herbizid	NFT				
phosalon	organo-phosphat					T
quinoxifen	phenoxyquinolein	NFT	240	MT		
simazin	herbizid	NFT				
Schwefelpuder	Schwefel	NFT	30000	MT	50000	T
thiodicarb	carbamat					T
vinchlozolin	zyklisches Imid	NFT				
zineb	dithiocarbamat			MT	1750	T

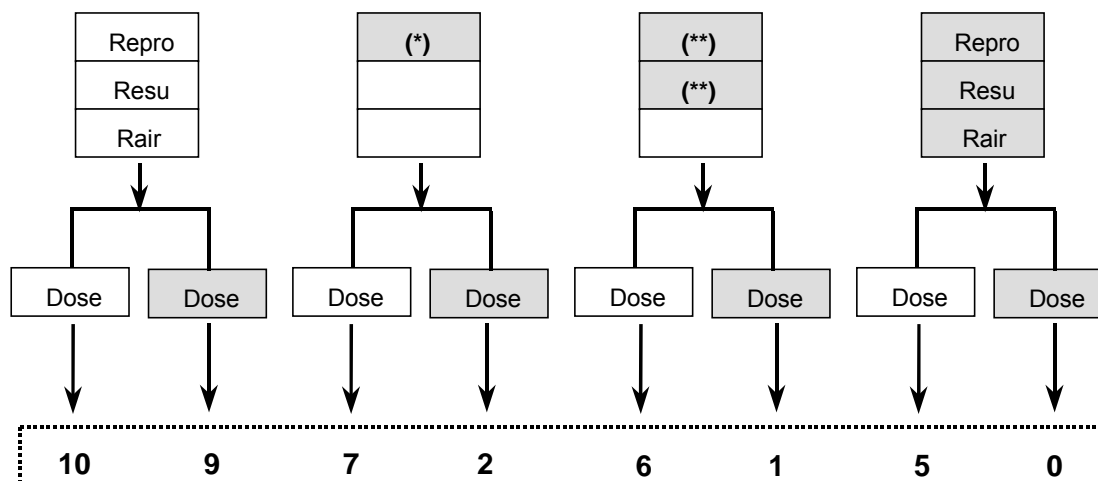
Wie bei den anderen Modulen haben wir beschlossen, ein auf Fuzzy-Logik basierendes Expertensystem zu verwenden, um den Unschärfen an den Klassengrenzen Rechnung zu tragen und brutale Änderungen zu vermeiden. In diesem Fall führte das zur Einführung intermediärer Klassen jeweils zwischen den Toxizitätsklassen NFT und MT bzw. MT und NT, was die Schwellenwerte angeht, für einen Bereich zwischen dem Schwellenwert und 20% darüber. Im nächsten Schritt wurden Zugehörigkeitsfunktionen definiert, mit denen sich Werte berechnen lassen, die die Entscheidungsregeln aus Abbildung 10 gewichten. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel für die Toxizitätsklasse mit zwei Schwellenwerten. Für weitere Informationen über Fuzzy-Logik verweisen wir den Leser auf die Arbeiten von van der Werf & Zimmer (1999) sowie Bockstaller & Girardin (2000).



**Abb. 11:** Darstellung der Zugehörigkeitsfunktion zu den Toxizitätsklassen in Abhängigkeit von der Dosis für eine Toxizitätsgruppe

## 2.4 Einbau des Moduls in den Indikator 'Pflanzenschutz'

Im letzten Schritt wird dieses Modul in den für jeden Wirkstoff berechneten Indikator I-Phy eingefügt, wohl wissend, dass dieser Indikator bislang 3 Module für Umweltrisiken für das Grundwasser, das Oberflächenwasser und die Luft umfasste. Diese werden kombiniert mit einem Modul 'Aufwandmenge' (Bockstaller & Girardin, 2000; van der Werf & Zimmer, 1999) zu einem 'Gesamtrisiko', dessen Entscheidungsregeln noch einmal in Abb. 12 dargestellt werden.



(\*) Eines der drei Module *Repro*, *Resu*, *Rair* hat einen ungünstigen Wert (=0)

(\*\*) Zwei von drei Modulen *Repro*, *Resu*, *Rair* weisen einen ungünstigen Wert (=0) auf

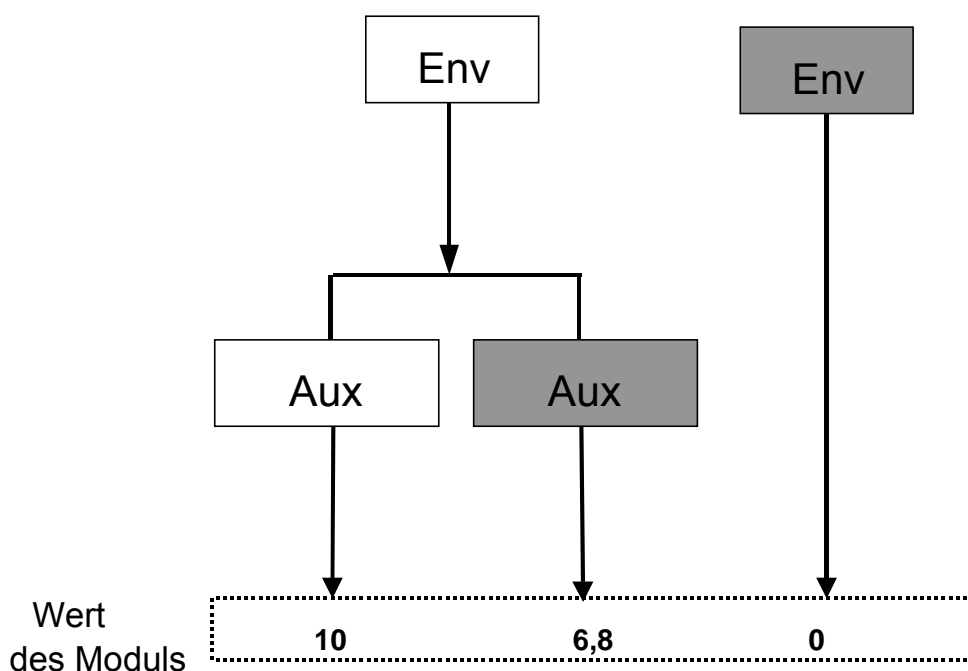
**Abb. 12:** Entscheidungsregeln für die Abschätzung des Gesamtrisikos für jeden Wirkstoff vor der Einfügung des Moduls 'Nützlinge' (helle Kästchen stellen günstige Situationen (Wert = 10) und graue Kästchen ungünstige Situationen (Wert = 0) dar)

Es boten sich uns zwei Möglichkeiten:

- Einbau des Moduls 'Nützlinge' in den Entscheidungsbaum von Abb. 12.
- Aggregation des Moduls 'Gesamtrisiko' bezüglich der in Abb. 12 gezeigten Kompartimente mit dem Modul 'Nützlinge'.

Die erste Lösung würde eine Berechnungsebene einsparen, stellte jedoch theoretische (wie soll man diese völlig verschiedenen Risikoarten miteinander kombinieren?) und praktische (Expertensysteme mit 5 Variablen werden schwerfällig und unübersichtlich) Probleme. Ausserdem enthält das Modul 'Nützlingle' die Variable 'Aufwandmenge' während die anderen Module mit einem unabhängigen Aufwandmengen-Modul aggregiert sind. Von daher erschien es wünschenswert, einen zusätzlichen Schritt vorzusehen.

Das Modul 'Gesamtrisiko', wie in Abbildung 12 dargestellt, wurde umbenannt in 'Umweltrisiko' und dann mit dem Modul 'Nützlingle', entsprechen den in Abb. 13 gezeigten Entscheidungsregeln aggregiert. Diese wurden erst nach zahlreichen Test und Diskussionen mit den Partnern des ITV und des CIVC in die endgültige Form gebracht.



**Abb. 13:** Entscheidungsregeln für die Berechnung von I-Phy für jeden Wirkstoff, ausgehend vom Modul Umwelt ('Env' in Abb.12) und vom Modul 'Nützlingle' ('Aux' in Abb. 10). (helle Kästchen stellen günstige Situationen (Wert = 10) und graue Kästchen ungünstige Situationen (Wert = 0) dar)

Diese Entscheidungsregeln verlangen einige Erklärungen.

- Wir haben die 'Umweltgefährdung' stärker gewichtet als das Risiko 'Nützlingle'. In der Tat kann die Erstgenannte den Indikator zwischen 10 und 0 schwanken lassen, das zweite hingegen nur um 3,2 Punkte. Die Nützlinglefrage erstreckt sich in der Tat nur auf einen kleinen Teil der Weinbauparzelle während sich die Erstgenannte mit der äußeren Umwelt der Parzelle befasst und damit letztendlich die Gesamtgesellschaft interessiert.
- Trotzdem steigt der Wert des Indikators nicht über 7 (bestenfalls auf 6,8), den Referenzwert für die integrierte Produktion, auch wenn das Modul 'Nützlingle' ein maximales Risiko ausweist. Die Schonung der Nützlingle zählt in der Tat zu den Grundsätzen der integrierten Produktion.
- Ist das 'Umweltrisiko' hoch, wird der Wert des Indikators durch einen guten Wert des Moduls 'Nützlingle' nicht verbessert. Wir weigern uns, ein hohes Risiko durch ein anderes, günstiges Risiko zu kompensieren.

### 3. Anpassung des Pflanzenschutz-Indikators an die Bedingungen des Weinbaus

#### 3.1 Erweiterung der Wirkstoff-Datenbank

Zuerst wurde die Wirkstoff-Datenbank des Indikators I-Phy um im Weinbau gebräuchliche Wirkstoffe ergänzt. Die physikalisch-chemischen sowie die Toxizitätsdaten wurden auf dieselbe Art und Weise wie für die Ackerkulturen erhoben:

- Französische Datenbank des Verbindungskomitees für die SIRIS-Methode (Version 1998)
- Diese Werte wurden verglichen, und in manchen Fällen ergänzt, um Informationen aus der amerikanischen (The ARS Pesticide Properties Database, 1995), der niederländischen (Linders et al., 1994) und der britischen Datenbank (Pesticide Manual; Tomlin, 1997). Für neuere Wirkstoffe wurden Firmendaten, entweder direkt oder über die Zeitschrift 'Phytoma', bezogen.

#### 3.2 Eichung des Indikators 'Programm'

Nach den Modifikationen der Berechnung von I-Phy für die einzelnen Aktivsubstanzen haben wir den Indikator für eine Reihe von Behandlungsprogrammen im Rahmen der Arbeit von Marie Thiollet für das Programm 'Netzwerk nördlicher Weinbau und Wein' berechnet. Dieses Programm begleitet rund 15 Winzer je Region. Ausgehend von einer bestimmten Anzahl realer Fälle von konventionellen, integrierten und biologischen Behandlungsprogrammen war es möglich, den Indikator neu zu kalibrieren. Für ein Programm berechnet man den Indikator folgendermaßen:

$$I\text{-Phy} = 10 - k * \Sigma (1 - I\text{Phy}_i) / 10$$

Dabei ist **I-Phy<sub>i</sub>** der Wert des Indikators für jede Anwendung eines Wirkstoffs. Er variiert zwischen 0 (höchstes Risiko) und 10 (minimales Risiko)

**k**: Kalibrierungsfaktor. Er soll dafür sorgen, dass ein auf der Integrierten Produktion basierendes Programm einen Wert um 7 erhält.

Behält man für k, wie im Ackerbau, den Wert 3 bei, so wäre I-Phy bei allen Programmen = 0, wegen der hohen Anzahl von Behandlungen im Weinbau, selbst bei Integrierter Produktion. Nach einer Reihe von Versuchen hat sich gezeigt, dass mit einem Wert von k = 1 die Behandlungsprogramme der Integrierten Produktion auf einen Wert von nahezu 7 kommen.

Weiterhin zeigte sich bei diesen Berechnungen, dass Behandlungsprogramme mit vielen Anwendungen von kupferhaltigen Mitteln einen niedrigen Indikatorwert aufwiesen. Dieses Element geht jedoch in den Naturkreislauf ein, weist einige Ähnlichkeiten zu Stickstoff auf und ist unter ökologischen Gesichtspunkten nicht sehr problematisch. Deshalb haben wir beschlossen, die Schwellenwerte für die Klassengrenzen abzuändern von [10 g, 10.000 g] auf [10.000 g, 30.000 g].

### 4. Einsatz des Pflanzenschutz-Indikators I-phy zur Unterstützung bei der Mittelauswahl

#### 4.1 Einrichtung einer systematischen Berechnung für alle Pflanzenschutzmittel

Der modifizierte Pflanzenschutz-Indikator I-Phy kann, wie im Ackerbau, für die Evaluierung der Praxis in Weinbaubetrieben eingesetzt werden. Begonnen wurde damit von Marie Thiollet im Rahmen der Arbeit des Netzwerks 'nördlicher Weinbau und Wein' (RVVS) in den Regionen Champagne (Ardennes), Alsace und Bourgogne. Auf Wunsch der Partner des CIVC haben wir eine neue Möglichkeit der Anwendung des Indikators getestet: die Unterstützung

der Weinbauern bei der Mittelwahl unter Berücksichtigung der Daten über die Umwelteigenschaften bereits vor der Anwendung und nicht erst im Nachhinein, wenn die Saison vorüber ist.

Dafür war es jedoch erforderlich, I-Phy für alle im Weinbau der Champagne eingesetzten Mittel zu berechnen. Die Liste der Mittel wurde erstellt auf Grundlage des Beratungshefts 'Betriebsmittelkosten in Weinbau und Kellereiwirtschaft 2001' sowie 'Vigneron Champenois' (Sonderheft 2000). Die Berechnungen wurden für vier unterschiedliche Standortverhältnisse (s. Tab. 18) und die mit den Beratungstechnikern von CICV und ITV besprochenen Aufwandmengen (Anzahl der Behandlungen) vorgenommen.

**Tab. 18:** Zur Berechnung von I-Phy ausgewählte Standortstypen

Typ	Auswaschungs- gefährdung	Abschwemungs- neigung	entsprechende Standortverhältnisse
1	mittel	mittel	Boden mit mittlerem Humusgehalt (3 - 3,5 %); schwach geneigt
2	hoch	mittel	Boden mit niedrigem Humusgehalt (< 2,5%) oder durchlässig; schwach geneigt
3	mittel	hoch	Boden mit mittlerem Humusgehalt (3 - 3,5 %), verschlammend; stark geneigt
4	hoch	hoch	Boden mit niedrigem Humusgehalt (< 2,5%) oder durchlässig, verschlammend; stark geneigt

Für Mittel mit mehreren Wirkstoffen haben wir, nach Prüfung verschiedener Berechnungsweisen, folgende Formel verwendet:

#### **I-Phy = minimum (IPhy<sub>i</sub>)**

Dabei ist **IPhy<sub>i</sub>**, der Wert des Indikators für jede Applikation einer Aktivsubstanz zwischen 0 (höchstes Risiko) und 10 (minimales Risiko). Der Indikator richtet sich also nach dem Wirkstoff mit dem höchsten Risiko.

## **4.2 Verarbeitung der Ergebnisse**

Nachdem die Berechnungen vorgenommen waren, haben wir die Ergebnisse aus Gründen der Übersichtlichkeit in drei Klassen zusammengefasst:

- eine 'gelbe' Klasse mit I-Phy-Werten zwischen 10 und 7 (geringes Risiko) und Mitteln, die ohne Einschränkungen angewandt werden können.
- eine 'orange' Klasse mit I-Phy-Werten zwischen 7 und 4 (mittleres Risiko) und Mitteln, die überlegt einzusetzen sind (wenn es keine 'gelben' Mittel gibt oder aus Gründen der Resistenzvorsorge ein Wirkstoffwechsel angezeigt ist).
- eine 'rote' Klasse mit I-Phy-Werten zwischen 4 und 0 (hohes Risiko für die Umwelt) und Mitteln, die nur in zwingenden Fällen eingesetzt werden dürfen (bei großer Gefahr der Resistenzbildung oder wenn es keine Alternativen gibt).

Für die Mittel der 'orangenen' und 'roten' Klassen sind Ausnahmegenehmigungen erforderlich, wenn im Rahmen von Pflichtenheften der Integrierten Produktion produziert wird.

### 4.3 Auszug aus den Ergebnissen

Tabelle 19 zeigt einen Auszug aus der Mittelklassifizierung aufgrund dieser Berechnung. Die jeweilige Klassenzugehörigkeit hängt ab von den verschiedenen Standortsituationen und den Aufwandmengen, die unterschiedlich sein können. Ergänzende Informationen wurden hinzugefügt.

Es ist interessant festzustellen, dass einige Mittel von einer in die andere Klasse wechseln, sobald sich die Standortbedingungen ändern, insbesondere wenn die Abschwemmungsgefahr steigt. In der Tat sind die meisten Experten, insbesondere diejenigen die die Methoden zur Abschwemmungsanfälligkeit von Schlägen (in der Bretagne: Arousseau et al., 1998; zur CORPEN-Methode: Réal et al., 1999) entwickelt haben, der Ansicht, dass die Eigenschaften des Standorts eine größere Rolle spielen als die Eigenschaften der Wirkstoffmoleküle. Dies wurde aufgegriffen bei den Entscheidungsregeln des Moduls 'Oberflächengewässer' (van der Werf & Zimmer, 1999). Der Fall Glyphosat ist entlarvend: Es handelt sich dabei um ein Molekül, dem günstige Umwelteigenschaften zugeschrieben werden, was Giftigkeit (William et al., 2000) und die Auswaschungsneigung (Grunewald et al., 2001) angeht (Grunewald et al., 2001). Die Analysen, mit denen erst kürzlich, nach Klärung analytischer Probleme, begonnen wurde, weisen diesen Wirkstoff jedoch in Oberflächengewässern nach. Bei den Insektiziden, zumeist zur Familie der Pyrethroide gehörend, lässt sich die Zuordnung in die orangene Klasse meist auf die Gefahr für Nützlinge zurückführen. Ihre begrenzte Persistenz und ihre Anwendung in geringer Aufwandmenge bewirken, dass die Gefahren ihrer Verbreitung in die Umwelt gering bleiben.

Nachdem die Ergebnisse klar waren, haben wir unter Hinzufügung der technischen Informationen (Wirksamkeit gegen Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter) ein Programm zur Mittelwahl entwickelt, das die einsetzbaren Produkte in Abhängigkeit von den Standortbedingungen der geplanten Anwendung in drei Klassen einteilt. Abbildung 14 zeigt uns die erste Version auf Access. Auf Wunsch der Anwender haben wir noch ein Warnsystem für Anwenderrisiken hinzugefügt, das auf der tödlichen Dosis bei oraler Aufnahme durch Ratten (LD 50) aufbaut. So kann der Anwender das Mittel gegen den zu bekämpfenden Schaderreger sowie die Anwendungsart (bei Herbiziden) für die vorliegenden Standortverhältnisse auswählen und das Programm gibt an, in welche Klasse die für die vorgegebene Problematik geeigneten Mittel einzustufen sind.

**Tab. 19:** Zuordnung einiger Produkte in verschiedene Klassen.  
Die Buchstaben in den Kästchen erklären den Grund für den Klassenwechsel. Die Gründe für die Zuordnung in die 'orange' oder 'rote' Klasse stehen in der Spalte 'Risiko' (Aux = Nützlinge, Esu = Oberflächengewässer, Eso = Grundwasser).

Mittel	Aktivsubstanz	I-Phy	Klassenzugehörigkeit			Risiko
			gelb	orange	rot	
<b>Fungizide</b>						
Mancozeb	mancozeb	6,3				Aux
Greman	tetraconazol	9,9		Dose+Esu		
Olympe 10 EW	flusilazol	8,9		Esu		
Polyram DF	zink-metiram	9,2				
Stroby DF	krésoxim-methyl	9,8				
Sumisclex	procymidon	4,8				Aux
<b>Herbizide</b>						
Basta F1	glufosinat	9,6				
Glyphosat	glyphosat	9,1		Esu		
Diuron	diuron	4,6			Eso	Eso
Devrinol	napropamid	8,5		Esu		
Gramoxone plus	paraquat+diquat	6,7			Esu	Esu
Kerb Flo	propyzamid	4,9				Air
Prowl 400	pendimethalin	2,0				Esu+Air
Réglone 2	diquat	6,1			Esu	Esu+Air
Télon 2000	triclopyr	3,3				Eso
Weedazol TL	aminotriazol + ammonium-thiocyanat	7,8		Esu		
<b>Insektizide</b>						
Cyperfor	cypermethrin	5,5				Aux
Decis	deltamethrin	9,9				Aux
Dursban 2	chlorpyrifos-ethyl	2,7				Air+Aux
Fastac	alphamethrin	6,8				Aux
Karate vert	lambda-cyhalothrin	6,6				Aux
Metover	methomyl	4,6				Esu+Aux
Sumi-Alpha	esfenvalerat	6,4				Aux
Tracker 108 EC	tralomethrin	6,7				Aux
Yphos 40	parathion-methyl	5,6				Aux

menu : Formulaire

Type de traitement : Insecticides % Matière org <= 2,5%

Maladie : Tordeuse de la grappe Ruissellement Fable

**Liste jaune**

produit	dose (kg ou l/ha)	nb. trait.	lessivage	ruissellement	Risque/manipulateur
Fuoro	1	1	0,5	0,5	Nocive
Luflox	1	1	0,5	0,5	Nocive
Pearl CE	0,5	1	0,5	0,5	Toxique
Sorba	2	2	0,5	0,5	Nocive

**Liste orange**

produit	dose (kg ou l/ha)	nb. trait.	lessivage	ruissellement	Risque/manipulateur
Astar	0,14	1	0,5	0,5	Toxique
Astar	0,42	3	0,5	0,5	Toxique
Collox	0,75	1	0,5	0,5	Très toxique
Cyperfer	0,4	1	0,5	0,5	Toxique

**Liste rouge**

produit	dose (kg ou l/ha)	nb. trait.	lessivage	ruissellement	Risque/manipulateur
Acaritas	0,5	1	0,5	0,5	Toxique
Acavers 2000	2	1	0,5	0,5	Très toxique
Aludor	1	1	0,5	0,5	Toxique
Broxer	1	1	0,5	0,5	Toxique

**Abb. 14:** Beispiel für eine Ergebnisausgabe des Mittel-Klassifizierungsprogramms nach I-Phy (Zwischenversion aus der Verbesserungsphase)

## D Umsetzung in die Praxis

- Der Indikator I-Phy wurde an die Bedingungen des Weinbaus angepasst und verbessert, so dass er mit anderen Indikatoren zusammen zur agrar-ökologischen Evaluierung von Weinbaubetrieben verwendet werden kann.
- Es wurde ein erstes Programm zur Entscheidungshilfe bei der Auswahl von Pflanzenschutzmitteln unter Umweltgesichtspunkten entwickelt, das als Grundlage für ein weiterentwickeltes Programm zum Einsatz in der Beratung (ITV, CIVC, Kammern, ...) dient.
- Einsatz dieses Instruments im Teilprojekt zur Ausarbeitung eines Pflichtenheftes mit Berücksichtigung von Umweltaspekten bzw. für die integrierte oder überlegte ('raisonné') Produktion (z.B. 'Guide de la Production Raisonnée' unter Leitung der Weinbauernvereinigung des Elsass (AVA)).



## E Diskussion und Schlussfolgerungen

Es war klar, dass der Indikator I-Phy vor einer Übertragung auf den Weinbau überarbeitet werden musste, sowohl was die Datenbank mit den Wirkstoffen als auch was die Berechnungsweise angeht. Wegen der für eine Dauerkultur typischen größeren Anzahl von Behandlungen (de la Roque, 1999) waren wir gezwungen, den Referenzwert für den Wert 7 zu revidieren, damit die Weinbaubetriebe nicht diskriminiert werden. Diese hätten sonst sehr schlechte Bewertungen erfahren. Ein Indikator muss jedoch ausreichend sensibel sein, um den Anwendern eine nützliche Aussage zu liefern (Girardin et al., 1999).

Über diese Anpassungsarbeit hinaus haben wir den Indikator durch Hinzufügung neuer Umweltaspekte, die insbesondere im Weinbau von Belang sind, wie die Abtrift und die Nützlingschonung, verbessert. Wie schon bei den vorherigen Modulen haben wir den Indikator-Ansatz beibehalten, der, um handhabbar zu bleiben, keine zu komplexe Modellisierung zur Grundlage haben und auch nicht zu viele Eingangsdaten benötigen darf.

In beiden Fällen beruhen die Module auf Vereinfachungen. Was die Abtrift angeht, haben wir nur die Gerätetechnik betrachtet: Die Art der Düsen (Denoirjean & Debroye, 2000), die Einstellung (Vernet, 1998), die Zusammensetzung der Spritzbrühe (Polvêche & Virigile, 2000) und die Witterungsverhältnisse zum Ausbringungszeitpunkt (Siegfried et al., 1999) können eine bedeutende Rolle spielen. In jedem Fall hat diese Arbeit auch eine Verbesserung des Moduls 'Luft' erlaubt, das zwei Verlagerungspfade in die Atmosphäre betrachtet: die Verflüchtigung und die Abtrift (van den Berg et al., 1999). Was noch fehlt ist der Pfad der Winderosion (Larney et al., 1999) bzw. die Aufwirbelung bei der Bodenbearbeitung. M. Millet (pers. Mittlg.) von der Universität Strasbourg hält diesen Pfad für unbedeutend (ca. 1% der Ausbringungsmenge). Beim Modul 'Nützlinge' haben wir uns auf eine Zeigerart, die Raubmilben, beschränkt. Es ist klar, dass es im Weinberg auch andere Arten gibt. Es gibt jedoch nirgends so umfangreiches Datenmaterial wie für diese Arten, die wegen ihrer Bedeutung im Weinbau seit Jahren Gegenstand von Untersuchungen sind (Sentenac et al., 1999).

Ausser diesen Modifikationen des Indikators haben wir eine neue Anwendungsmöglichkeit von I-Phy für die Klassifizierung von Mitteln als Entscheidungshilfe für die Anwender bei der Mittelauswahl unter Umweltaspekten vorgeschlagen. Die hier vorgestellte Nullversion wurde für eine Reihe von 'Schulbeispielen' entwickelt. Es ist klar, dass die Palette an Situationen noch verbreitert werden muss (z.B. Vorhandensein eines Gewässerrandstreifens, Begrünung der Parzelle, suboptimales Gerät, ...). Es laufen Gespräche mit technischen Partnern, um dieses Instrument fertigzustellen.

Dieses Anwendungsgebiet wurde von den weinbautechnischen Organisationen an uns herangetragen, kann aber zu Diskussionen und Kritik durch die Pflanzenschutzmittelfirmen führen. Durch Kontaktaufnahme zu Firmenvertretern konnten deren Vorschläge zur Korrektur von physikalisch-chemischen und ökotoxikologischen Daten (nicht sehr zahlreich und manchmal auch in Richtung einer Erhöhung des Risikos) und für das eine oder andere Produkt besondere Bedingungen berücksichtigt werden (z.B.: SURFASSOL als Diclobenil-Spezialität). Als Antwort auf diese Befürchtungen kann man folgendes anführen:

- Die Methode erlaubt keine Gesamtübersicht, die bestimmte Mittel definitiv auf den Index setzen würde. Die Klassifizierung kann sich in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen ändern. Insbesondere beim Risiko für Oberflächengewässer (was etliche Produkte betrifft, s. Tab. 7) lässt sich durch die Ausgestaltung des Flurstücks (z.B. begrünter Randstreifen) oder Maßnahmen zur Reduzierung des Oberflächenabflusses (z.B. Begrünung) das Risiko stark reduzieren, so dass sich infolgedessen die Klassifizierung ändern kann.

Als Schlussfolgerung aus der Übertragung des Pflanzenschutz-Indikators auf den Weinbau lässt sich festhalten, dass der Indikator durch Ergänzung um weitere Module verbessert

werden konnte. Diese Arbeit ist mit anderen Indikatoren fortzusetzen, was tatsächlich der Fall ist im Rahmen der Arbeit von Maria Thiollet am INRA in Colmar, dank einer Finanzierung im Rahmen des RVVS. Es ist geplant, diese Arbeit in Zusammenarbeit mit dem CTIFL und dem INRA Avignon auch im Obstbau fortzusetzen. Andere Sektoren, wie der Feldgemüseanbau sind noch offen. Umgekehrt können die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Verbesserungen auch auf das ursprüngliche Anwendungsgebiet, den Ackerbau, übertragen werden. Dabei wird auch wieder eine ähnliche Anpassungsarbeit erforderlich werden, insbesondere beim Modul 'Luft', wegen der unterschiedlichen Pflanzenschutzgerätetechnik und beim Modul 'Nützlinge', da es im Ackerbau andere Arten von Nützlingen gibt.

## Literaturverzeichnis

Aurousseau, P., Gascuel-Oudou, C., Squidant, H., 1998. Elément pour une méthode d'évaluation d'un risque parcellaire de contamination des eaux superficielles par les pesticides : Application au cas de la contamination par les herbicides utilisés sur culture de maïs sur des bassins versants armoricains. *Etude et Gestion des Sols* 5, 143-156.

Baillod, M., Venturi, I., 1980. Lutte biologique contre l'acarien rouge en viticulture. Répartition, distribution et méthode de contrôle de prédateurs typhlodromes. *Revue suisse de Viticulture d'Arboriculture et d'Horticulture* 12, 231-238.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000. Mode de calcul des indicateurs agro-écologiques, Document INRA-ARAA, pp. 102.

Chegard, L., 2001. Adaptation de l'indicateur I-Phy vigne : Auxiliaires, dérive aérienne, risque sur le manipulateur, INRA, ARAA, ITV France, pp. 77.

de La Roque, B., 1999. Sécurité alimentaire et préservation de l'environnement au vignoble. Constats, réflexions, actions. *Phytoma La Défense des Végétaux* N°521, 46-52.

Denoirjean, J., Debroye, D., 2000. Buses anti-dérives. *Cultivar, Le Mensuel Supplément* au n°480, 1 février 2000, 11-20.

Ferron, P., 1999. Protection intégrée des cultures : évolution du concept et de son application. *Cahiers Agricultures* 8, 389-396.

Girardin, P., Bockstaller, C., van der Werf, H. M. G., 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13, 5-21.

Grunewald, K., Schmidt, W., Unger, C., Hanschmann, G., 2001. Behavior of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in soils and water of reservoir Radeburg II catchment (Saxony/Germany). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 164, 65-70.

Kreiter, S., 1991. Les caractéristiques biologiques des acariens prédateurs d'acariens et leur utilisation en lutte biologique. *Progrès Agricole et Viticole* 108, 247-262.

Larney, F. J., Cessna, A. J., Bullock, M. S., 1999. Herbicide transport on wind-eroded sediment. *Journal of Environmental Quality* 28, 1412-1421.

Linders, J. B. H. J., Jansma, J. W., Mensink, B. J. W. G., Otermann, K., 1994. Pesticides: benefaction or Pandora's box? A synopsis of the environmental aspects of 243 pesticides, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.

Polvêche, V., Virgile, D., 2000. Traitements : toucher la cible et pas l'environnement. Influence de la bouillie sur la qualité de la pulvérisation et les phénomènes de dérive. *Phytoma La Défense des Végétaux* n°531, 32-36.

Réal, B., Fagot, M., Gril, J. J., Guyot, C., Ambolet, B., 1999. Pollution diffuse par les produits phytosanitaires. La démarche de diagnostic des risques proposée par le Corpen. *Perspectives Agricoles*, 72-77.

---

Sentenac, G., Kreiter, S., Weber, M., Ruelle, B., Rinville, C., Auger, P., 1999. Effets non intentionnels de quelques produits phytopharmaceutiques sur *Typodromus pyri*, *Kampimodromus aberrans*, et *Phytoseius plumifer*. *Phytoma La Défense des Végétaux* n° 521, 34-41.

Siegfried, W., Viret, O., Holliger, E., Mittaz, C., Crettenand, Y., Antonin, P., 1999. Qualité de l'application des produits phytosanitaires en viticulture et efficacité de la lutte contre les maladies fongiques. *Revue suisse de viticulture arboriculture horticulture* 31, I-VIII.

The ARS Pesticide Properties Database, 1995. Site internet <http://wizard.arsusda.gov/acsl/ppdb.html>.

Tomlin, C. D. S., (Ed.) 1997. "The Pesticide Manual", British Crop Protection Council, Farnham, United Kingdom, pp. 1606.

van den Berg, F., Kubiak, R., Benjey, W. G., Majewski, M. S., Yates, S. R., Reeves, G. L., Smelt, J. H., van der Linden, A. M. A., 1999. Emission of pesticides into the air. *Water Air and Soil Pollution* 115, 195-218.

van der Werf, H. M. G., Zimmer, C., 1999. Un indicateur d'impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°34, 47-66.

Vernet, C., 1998. Les appareils de traitement respectueux de l'environnement. *Progrès Agricole et Viticole* 115, 114-117.

William, G. M., Kroes, R., Munro, I. C., 2000. Safety evaluation and risk assessment of the herbicide Roudup and its active ingredient, glyphosate, for humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 31, 117-165.

## TEILTHEMA 3

### Anwendung der agrar-ökologischen Kenngrößen (INDIGO) im sensiblen Gebiet

#### Beteiligte

Projektverantwortlicher:	Christian Bockstaller (ARAA)	F
Projektpartner:	Martina Reinsch (IfUL Müllheim)	D
Mitbeteiligt:	INRA Colmar (Philippe Girardin)	F

#### A Ausgangssituation und Problemstellung

In den beiden vorangegangenen Teilen haben wir uns für Fragen und Probleme interessiert, die sich vor der Anwendung des INDIGO-Verfahrens stellen, welches in früheren Programmen des ITADA entwickelt wurde (Bockstaller & Girardin, 2000b; Girardin et al., 1997). In diesem Teil wollen wir nun die eigentliche Anwendung in sensiblen Gebieten behandeln, in denen Umweltprobleme mit der Wasserqualität auftreten, die ein spezifisches Eingreifen der verschiedenen Beteiligten (Wasserwirtschaft, Beratung, ...) erfordern. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwenden wir den Begriff 'sensibles Gebiet' für das Gebiet einer Wasserfassung, wie ein kleines Wassereinzugsgebiet oder ein Gebiet mit besonderen Schutzvorschriften oder mit Verträgen, die ein bestimmtes Ergebnis zum Ziel haben und mit finanziellen Konsequenzen für Landwirte verbunden sind (vertragliche Leistungen oder Ausgleichszahlungen im Rahmen von Agrar-Umwelt-Maßnahmen). Diese Arbeit befasst sich also nicht mit dem sensiblen Gebiet im Sinne der Nitratrichtlinie, welches im Elsass einen großen Teil der Ebene umfasst, während der ersten Phase jedoch keinen derartigen Auflagen unterlag.

Seit Ende der 80er, Anfang der 90er Jahre gab es eine Vervielfachung von Programmen mit Agrar-Umwelt-Maßnahmen, die meist Pilotgebiete oder besonders empfindliche Gebiete betrafen. Dabei wurde eine Reihe von Fehlschlägen verzeichnet (Gafsi, 1999). Eine der wichtigsten Gründe liegt in der Anwendung des 'Bottom-down-Prinzips', bei dem technische Lösungen gegen Ausgleichszahlungen von den Verantwortlichen für ein betroffenes Gebiet, die sich auf Forschungsergebnisse oder Beratungskräfte abstützen, mehr oder weniger oktroyiert werden. Die Landwirte bleiben gegenüber derartigen Zwangs-Lösungen sehr zurückhaltend. Es ist also essentiell, Ansätze zu entwickeln, die auf Beteiligung, Austausch und gegenseitiger Zusammenarbeit beruhen (Gafsi, 1999). Ausgehend von solchen Grundsätzen wurden in manchen Gebieten, so z.B. in Vittel, schwergewichtige Aktionen mit viel wissenschaftlichem und technischem Personal sowie erheblichem Mittelaufwand durchgeführt, die auf Verhaltensänderungen abzielten. Da hier die wirtschaftlichen Interessen einer Privatfirma auf dem Spiel standen hat diese Finanzmittel bereitgestellt, was in der Mehrzahl der Fälle jedoch nicht der Fall ist.

Bei 'leichtgewichtigeren' Aktionen könnte der Einsatz von Kenngrößen bzw. bestimmten Kenngrößen, wie den INDIGO-Indikatoren, Bestandteil der vielfältigen Ansätze sein, um in Problemfällen die Bewirtschaftungsmaßnahmen auf freiwilliger Basis weiterzuentwickeln. Diese Instrumente dienen dazu, die Dinge mit den Landwirten 'auf den Punkt' zu bringen und sind gleichzeitig eine Grundlage für die Erörterung von Lösungen in einer zweiten Beratungsphase (Bockstaller & Girardin, 2000a). Diese Überlegungen sowie teilweise auch eine Anfrage der Beratungsdienste der technischen Partner der beiden Landwirtschaftskammern im Elsass haben zu diesem Teilprojekt geführt.

Ein derartiger Ansatz erfordert natürlich eine Erhebung der Ausgangslage, um die Probleme der Wasserqualität, deren Umfang und Ursachen zu ermitteln. Hier kam es jedoch in den

Gebieten, für die die Beratungsdienste angefragt waren, zu Verzögerungen. Die verschiedenen an diesem Vorhaben Beteiligten haben mehr Zeit gebraucht, um die jeweilige Verantwortung landwirtschaftlicher und ausserlandwirtschaftlicher Aktivitäten klar zu erkennen. Deshalb haben uns diese Partner nicht mehr um die Durchführung solch einer Arbeit in einem dieser Gebiete gebeten. Hinzu kam auf unserer Seite, dass wir wegen eines höheren Zeitaufwandes für Teilthema 4 auch nicht so viel Kapazitäten frei hatten. Deshalb wurde der Inhalt dieses Teilthemas überarbeitet und wir haben uns darauf beschränkt, nur mit den baden-württembergischen Betrieben des Vergleichs von INDIGO mit KUL aus Teilthema 1 zu arbeiten. Mehrere dieser Betriebe haben Teile ihrer Fläche in Wasserschutzgebieten, die den besonderen Bestimmungen der SchALVO (Gesetzblatt, 2001; Koller et al., 2000) (s. Tab. 20) unterliegen.

## B Zielsetzung

Vergleich der Risiken der Stickstoffdüngung und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf Flächen innerhalb und ausserhalb des Wasserschutzgebiets mit Hilfe der INDIGO-Indikatoren.

## C Angewandte Methoden

Von den für den Vergleich von INDIGO und KUL untersuchten Betrieben hatten mehrere einen Teil ihrer Flächen in den Zonen II und III von Wasserschutzgebieten. Die Zone II umfasst den engeren, die Zone III den weiteren Schutzbereich. Zone I ist der unmittelbar um die Fassung gelegene Bereich. Die Auflagen nehmen von Zone III nach Zone I selbstverständlich zu (Koller et al., 2000). In Tab. 20 haben wir, aufbauend auf den Arbeiten von Koller et al. (2000) im Rahmen des ITADA-Arbeitsprogramms II sowie der neuen, überarbeiteten SchALVO (Gesetzblatt, 2001), die wichtigsten Auflagen zusammengestellt.

In die Neufassung dieser Verordnung wurde der Begriff 'Sanierungsgebiet' für Wasserschutzgebiete mit besonders zugespitzten Problemen der Wasserqualität eingeführt, in denen aussergewöhnliche Maßnahmen ergriffen werden wie:

- baldmöglichste Begrünung vor Sommerkulturen (bis 01.09. über 500m bzw. 15.09. unter)
- Einarbeitung der Begrünung frühestens am 01.02. bzw. am 01.03.; Mulchen 2 Wo. vorher.
- Pflügen nur zur Einsaat bzw. Einarbeitung der Zwischenfrucht.

**Tab. 20:** Wichtigste Punkte der Schutzgebiets- und Ausgleichleistungsverordnung für Wasserschutzgebiete in Baden-Württemberg

Rubrik	WSG I	WSG II	WSG III
landwirtschaftliche Flächennutzung	Mähwiese mit begrenzter Düngung	keine Einschränkungen mit Ausnahme von Beweidung auf durchlässigen Böden; Grünlandumbruch verboten	keine Einschränkungen; Grünlandumbruch verboten
organische Düngung	verboten	keine flüssigen Düngemittel (Gülle, Klärschlamm)	keine Einschränkungen;
Ausbringungszeitraum	-	abhängig vom Bodentyp und Stroheinarbeitung; maximal von der Ernte bis 15.02.;	abhängig vom Bodentyp und Stroheinarbeitung; maximal von der Ernte bis 15.02.;
Gesamtdüngung Aufteilung	-	ordnungsgemäße Düngung – 20% N höchstens 50 kg/ha je Gabe auf durchlässigem Boden; sonst höchstens 80 kg/ha	dto.
geduldeter Nmin-Wert vor Winterbeginn.	-	20 - 45 kg N03-N/ha auf durchlässigen Böden in Abhängigkeit von der Mächtigkeit 45 - 90 kg N03-N/ha auf anderen	dto.

Zwischenfrucht		Böden, je nach Mächtigkeit	
Pflanzenschutz	verboten	90 kg N03-N/ha auf Moorboden	dto.
		Begrünung obligatorisch	dto.
		Verbot von Terbutylazin-haltigen Mitteln	

Tabelle 21 zeigt den Flächenanteil im Wasserschutzgebiet (Zone II bzw. III) für jeden Betrieb

**Tab. 21:** Flächenanteil im Wasserschutzgebiet (Zonen II und III) der deutschen Betriebe. Für die Untersuchung ausgewählte Betriebe sind fett gedruckt.

Betrieb N°	Fläche in WSG II		Fläche in WSG III	
	(ha)	(% LN)	(ha)	(% LN)
14	14,3	8	0	0
<b>15</b>	<b>24,7</b>	<b>31</b>	0	0
16	0,5	0	0	0
17	0	0	0	0
<b>18</b>	0	0	42,07	<b>55</b>
20	0,65	1	0	0
21	1,5	3	5,5	13
23	0	0	0	0
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
<b>27<sup>a</sup></b>	2,6	<b>3</b>	0	0

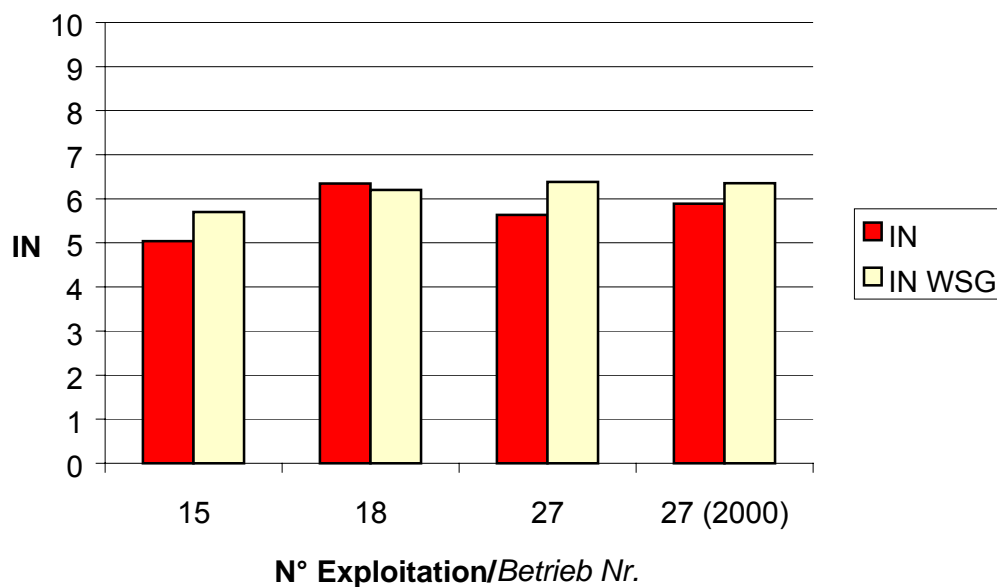
<sup>a</sup> nur Ackerbau-Anteil

Wir haben drei repräsentative Betriebe mit einem signifikanten Anteil im Wasserschutzgebiet, deren Schlagdaten verfügbar waren ausgewählt. Bei Betrieb 14 hatten wir nicht alle Schlagdaten. Bei Betrieb 21 handelte es sich um einen Bio-Betrieb, den wir bei diesem Vergleich ausgeschlossen haben.

Wir haben uns auf die beiden Indikatoren für Probleme der Wasserqualität in Bezug auf die Auswaschung von Stickstoff und Pflanzenschutzmitteln konzentriert, die Indikatoren Stickstoff (IN) und Pflanzenschutz (I-Phy). Die jeweiligen Werte für die einzelnen Parzellen wurden in Abhängigkeit von der Parzellengröße innerhalb und ausserhalb des WSG gewichtet (für die Erntejahre 1999 und 2000 (für Betrieb 27)). Bei Betrieb 15 mit einem hohen Maisanteil in der Fruchtfolge (s. Anhang 3 zu Teilthema 1) haben wir uns auf diese Kultur beschränkt. Auf Betrieb 18 war die Anzahl Kulturen zu groß, um sich auf Mais zu konzentrieren.

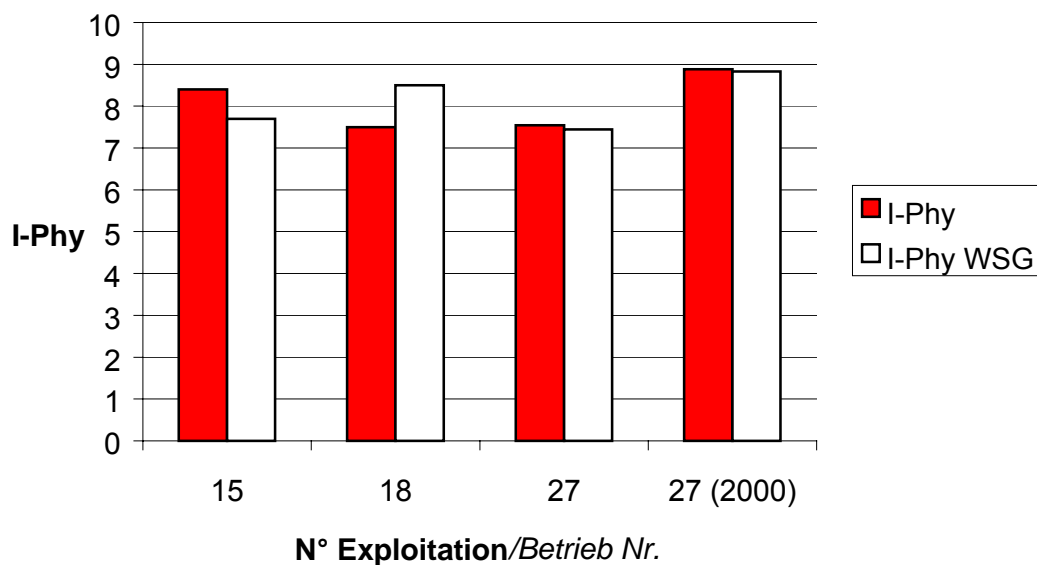
## D Ergebnisse

Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse des Vergleichs für den Stickstoff-Indikator. Der Wert des Indikators liegt in allen Fällen unter 7. Mit Ausnahme von Betrieb 15 liegt er etwas über 6 für die Flächen im Wasserschutzgebiet. Die Werte für die Flächen im Wasserschutzgebiet liegen etwas über denen für die Flächen ausserhalb (mit Ausnahme von Betrieb 18), was eine Reduzierung des Auswaschungsrisikos anzeigt. Die Differenz beträgt 0,45 bis 0,75 Indikatorpunkte, das bedeutet zwischen 14 und 23 kg N/ha (1 Punkt = 30 kg N/ha).



**Abb. 15:** Vergleich der Werte des Stickstoff-Indikators (IN) für Betriebsteile innerhalb und ausserhalb des Wasserschutzgebiets. Die Werte sind gewichtet nach dem jeweiligen Flächenanteil. Der empfohlene Wert ist 7.

Die Werte für den Pflanzenschutz-Indikator I-Phy liegen alle über 7 mit Unterschieden bei zwei Betrieben, die in verschiedene Richtungen weisen. Diese Werte zeigen in jedem Fall ein begrenztes Umweltrisiko an (Abb. 16).



**Abb. 16:** Vergleich der Werte des Pflanzenschutz-Indikators (I-Phy) für Betriebsteile innerhalb und ausserhalb des Wasserschutzgebiets. Die Werte sind gewichtet nach dem jeweiligen Flächenanteil. Der empfohlene Wert ist 7.

In drei von 4 Fällen ergibt sich also auf den Wasserschutzgebietsflächen ein vermindertes Risiko für die Stickstoffauswaschung. Für die ausserhalb gelegenen Flächen liegt das Verlustrisiko um 20 (Betrieb 27) bis 43 kg N/ha (Betrieb 15) höher, wobei die Verluste durch Abgasung bereits enthalten sind (Bockstaller & Girardin, 2000c). Diese machen etwa die Hälfte der Gesamtverluste aus. Die Risikoverminderung ist vor allem auf die um 50 (Betrieb 15) bis 70 kg N/ha reduzierte Stickstoffdüngung zurückzuführen. Die Risikoverminderung (14 – 23 kg N/ha) ist jedoch geringer, und zwar aus zwei Gründen:

- Zum Erntezeitpunkt findet man nicht den gesamten Düngeüberschuss (Machet et al., 1997). Ein Teil kann gebunden werden. Deswegen wurden die Düngungsüberschüsse mit dem Faktor 0,5 multipliziert (Bockstaller & Girardin, 2000c).
- Bei Unterdüngung ist der N<sub>min</sub>-Wert nach der Ernte nicht niedriger und es gibt keinen großen Vorteil für die Verminderung der Auswaschungsgefahr.

Dies erklärt diese geringen Differenzen. Bei Betrieb 18, wo es keinen Unterschied gab, bewegen wir uns auf einem mäßigen Düngungsniveau (< 140 kg N/ha), das in beiden Betriebsteilen unterhalb des Optimums liegt. Der kleine Nachteil für die Wasserschutzgebietsfläche ist nicht signifikant.

Bezüglich der Pflanzenschutzmittel wurden keine Unterschiede zwischen den Behandlungsprogrammen festgestellt, wobei die angewandten Produkte nicht unter die in Tabelle 20 aufgeführten Verbote fallen und ein geringes Gefährdungspotential aufweisen.

## **E Umsetzung in die Praxis**

In Anbetracht des kleinen Untersuchungsumfangs sind allgemeine Schlussfolgerungen mit praktischer Bedeutung nicht möglich. Die Ergebnisse können den Untersuchungsbetrieben dazu dienen, den Sinn der für das Wasserschutzgebiet ergriffenen Maßnahmen zu erläutern.

## **F Schlussfolgerungen**

Die ursprünglichen Ziele dieser Arbeit konnten nicht erreicht werden, zum einen wegen der äußeren Umstände und zum anderen aus Gründen der Arbeitszeitverteilung zwischen den verschiedenen Projekt-Teilthemen. Wir haben trotzdem versucht, Bewirtschaftungsmaßnahmen auf Betrieben in Baden-Württemberg, die Flächen sowohl im Wasserschutzgebiet mit seinen spezifischen Regelungen (SchALVO) als auch außerhalb davon bewirtschaften, zu bewerten.

Der Umfang der Ergebnisse ist zu gering, um daraus allgemeine Schlussfolgerungen abzuleiten. Was den Pflanzenschutz angeht, wurden keine Unterschiede festgestellt. Hierzu ist festzustellen, dass die Wirkstoffe in allen Fällen geringe Risiken aufwiesen und die Parzellen kaum zum Oberflächenabfluss neigen (Lage in der Ebene).

Für Stickstoff wurde hingegen infolge einer reduzierten Düngung eine Herabsetzung des Auswaschungsrisikos um 14 – 23 kg N/ha festgestellt. Diese Unterschiede sind nicht zu vernachlässigen. Bei einer Sickerwassermenge von 180 mm (mittlere Wasserbilanz des Elsass über Winter; Koller & Party, 1994) führen 20 kg N/ha zu einer Konzentration in Höhe des Grenzwerts von 50 mg/l. Hier zeigt diese Arbeit in der Tat eine Schwäche des Stickstoff-Indikators auf, der die potentiellen Verluste in kg N/ha für mehrere Posten berechnet. Aber diese werden nicht auf die Konzentration für die Wasserqualität umgerechnet, was die Wasserwirtschaftler interessieren würde. Wir überlegen eine Abänderung des Stickstoff-Indikators, um uns in diese Richtung zu bewegen und eine bessere Lesbarkeit zu erreichen.



## Literaturverzeichnis

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000a. Agro-ecological indicators - Instruments to assess sustainability in agriculture, In: Härdtlein, M., Kaltschmitt, M., Lewandowski, I., Wurl, H., (Eds.), Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft. Landwirtschaft im Spannungsfeld zwischen Ökologie, Ökonomie und Sozialwissenschaft, Initiativen zum Umweltschutz, Vol. 15, Erich Schmidt Verlag, Stuttgart, pp. 69-83.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000b. Faisabilité de la Production Intégrée en grande culture, ITADA, Colmar.

Bockstaller, C., Girardin, P., 2000c. Mode de calcul des indicateurs agro-écologiques, Document INRA-ARAA, pp. 102.

Deffontaines, J. P., Brossier, J., (Eds.), 1997. "Agriculture et qualité de l'eau : l'exemple de Vittel," Vol. 14, Paris, pp. 78.

Gafsi, M., 1999. A management approach to change on farms. *Agricultural Systems* 61, 179-189.

Gesetzblatt, 2001. Verordnung des Ministeriums für Umwelt und Verkehr über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichleitungen in Wasser und Quellenschutzgebieten (Schutzgebieten- und Ausgleichs-Verordnung-SchALVO). Gesetzblatt Nr. 4, Stuttgart, pp. 145-182.

Girardin, P., Hanson, M., Bockstaller, C., 1997. Mise au point et validation d'indices agro-écologiques pour le diagnostic des exploitations de grande culture s'orientant vers la Production Intégrée. ITADA, Colmar, pp. 16.

Koller, R., Party, J. P., 1994. Guide des sols d'Alsace, petite région Plaine Centre-Alsace : un guide pour l'identification des sols, Chambre Régionale d'Agriculture "Alsace", Association pour la Relance Agronomique en Alsace, Strasbourg.

Koller, R., Vetter, R., Maier, J., 2000. Elaboration d'outils communs de vulgarisation pour les opérations de conseil aux agriculteurs. Partie 1 : Comparaison des décrets et arrêtés établis en Alsace et en Bade Wurtemberg en application de la directive européenne 91/676/CEE du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole, ITADA, Colmar, pp. 78.

Machet, J. M., Laurent, F., Chapot, J. Y., Dore, T., Dulout, A., 1997. Maîtrise de l'azote dans les intercultures et les jachères, In: Lemaire, G., Nicolardot, B., (Eds.), Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, Les colloques de l'INRA, INRA, Versailles, pp. 271-288.

**TEILTHEMA 4:****Entwicklung einer Software zur Berechnung der Indikatorwerte**

<b>Projektverantwortlicher:</b>	Christian Bockstaller (ARAA)	F
<b>Projektpartner:</b>	INRA Colmar (Philippe Girardin)	F

**A Ausgangssituation und Problemstellung**

Die Anwendung von Evaluierungsverfahren, die entweder auf Modellen oder auf Indikatoren mit einer gewissen Komplexität beruhen und auf Datenmaterial von nicht unerheblichem Umfang zurückgreifen, erfordert natürlich den Einsatz der Informatik. Werden die Berechnungen nur am Sitz des Entwicklers vorgenommen, wie beim KUL-Verfahren (s. Teilthema 1), können Excel<sup>®</sup>-Tabellen ausreichen (Eckert et al., 2000). Soll das Programm jedoch vertrieben und breit eingesetzt werden, so ist eine gewisse Anwenderfreundlichkeit erforderlich, die beispielsweise durch Nutzung einer Windows<sup>®</sup>-Umgebung (Formulare etc.) erreicht werden kann. Dies ist beispielsweise der Fall bei Modellen wie STICS für die Begleitung der Versorgung mit Wasser und Stickstoff im System Boden-Pflanze (Brisson et al. 1998), bei 'Dr. Güll' zur Ammoniakverflüchtigung bei Gülle (Mannheim et al., 1997) oder auch bei EMA, einem Umweltmanagementsystem, das unter anderem auch einen Pflanzenschutzmittelindikator einsetzt (Lewis & Bardon, 1998). Ein derartiges Bedürfnis zeigte sich auch von Anfang an bei der Entwicklung der Indikatoren des INDIGO-Verfahrens im Rahmen früherer ITADA-Programme (Bockstaller & Girardin, 2000a; Girardin et al., 1997).

Ursprünglich war nach Kontakten mit der westfranzösischen Softwarefirma I-Cône vorgesehen, sich vor allem auf den Pflanzenschutz-Indikator zu konzentrieren, insbesondere für die Anwendung bei den Teilthemen 2 und 3 dieses Projekts. Es zeichnete sich jedoch ab, dass auch ein starkes Bedürfnis nach Berechnung der anderen Indikatoren existierte, nachdem das von der INRA entwickelte Programm zahlreiche Unzulänglichkeiten erkennen ließ. Deshalb wurde beschlossen, beides zu bearbeiten, was den Zeitaufwand für diesen Projektteil markant erhöhte, auf Kosten des vorangegangenen Teilthemas. In diesem Teilthema geben wir deshalb einen Überblick über die beiden entwickelten Programme:

- ein Programm zur Berechnung des Pflanzenschutz-Indikators I-Phy, entwickelt von der Firma I-Cône, die von uns wissenschaftliche und technische Unterstützung erhielt;
- ein Programm zur Berechnung aller Indikatoren des INDIGO-Verfahrens, das von uns selbst entwickelt wurde.

**B Zielsetzung**

Entwicklung eines anwenderfreundlichen Programms zur Berechnung des Pflanzenschutz-Indikators und in einem weiteren Schritt dann aller agrar-ökologischen Kenngrößen, im Hinblick auf eine Anwendung durch landwirtschaftliche Berater und daran interessierte Landwirte.

**C Durchgeführte Arbeiten****1. Entwicklung der i-Phy-Software**

Dieses Programm wurde von der Firma I-Cône aus Le Mans entwickelt. Die Firma entstand aus Buchführungszentren der Region 'Pays de la Loire' und hat sich auf landwirtschaftliche Programme, die mit Umwelt zu tun haben spezialisiert (DEXEL-Diagnose, Düngungsberechnungsprogramm 'Clé de Sol', Stickstoffdüngung auf flachgründigen Böden im Centre-West

'PC Azote'). Die Entwicklung von I-Phy erfolgte auf Anfrage des Geschäftsführers dieser Firma.

Im Rahmen dieser Arbeit haben wir die wissenschaftliche und technische Unterstützung geleistet, während sich die Firma um die Programmierung kümmerte. Zwischen I-Cône, der INRA und der ARAA wurde ein Vertrag geschlossen.

So wurden geschaffen:

- eine Datenbank mit 360 Wirkstoffen;
- eine Datenbank mit den gängigsten Handelsprodukten im Ackerbau.
- Dokumente zur Erklärung des Verfahrens und für die Parametrierung. Diese Dokumente sind im Hilfsmenü sowie im ausführlichen Präsentationsdokument zur Berechnung der Indikatoren enthalten (Bockstaller & Girardin, 2000b).

Für die Entwicklung der Datenbank hatten wir die ursprüngliche Datenbank mit den physikalisch-chemischen Eigenschaften, dem Absorptionskoeffizienten KOC, der letalen Dosis LD 50, der Henry-Konstante für die Verflüchtigung (die Version ohne Einheit (Dabène & Marié, 1993)) sowie den Daten zur chronischen Humantoxizität und der Toxizität für Wasserlebewesen von etwa 100 Wirkstoffen von van der Werf & Zimmer (1999) zur Verfügung, die sich auf die Daten von Dabène & Marié (1993) gestützt hatte, welche wiederum zu einem großen Teil der Agritox-Datenbank der INRA entstammten. Wir haben alle Angaben überprüft und uns dabei hauptsächlich auf folgende Quellen gestützt:

- die neuere und vollständigere französische Datenbank des Verbindungskomitees für die SIRIS-Methode (Version 1998).
- Diese Daten wurden verglichen und in manchen Fällen ergänzt mit den Angaben der amerikanischen Datenbank (The ARS Pesticide Properties Database, 1995) der niederländischen (Linders et al., 1994) und der britischen Datenbank (Pesticide Manual; Tomlin, 1997). Diese Datenbanken wurden auch im Falle von fehlenden Daten verwendet. Für neuere Wirkstoffe wurden Firmendaten, entweder direkt oder über die Zeitschrift 'Phytoma' bezogen. Für die ADI-Werte haben wir auch das Pflanzenschutzmittelverzeichnis der ACTA hinzugezogen.

Einen Eindruck von der Software vermitteln die Abbildungen 17 – 20 von einigen Bildschirmfenstern. Die gesamte Dateneingabe erfolgt über das Hauptformular (Abb. 17). Zur Erleichterung der Eingabe werden pull-down-Menüs verwandt. Ausgehend von den Angaben zum Schlag und zur Kultur werden die wichtigsten Parameter wie Anfälligkeit des Schlags für Oberflächenabschwemmung, Auswaschung, Abtrieb und die Bodenbedeckung automatisch berechnet. Es handelt sich dabei um Faustzahlen wie sie im Handbuch stehen (Bockstaller & Girardin, 2000b), die abgeändert werden können.

Der Anwender muss die Handelsprodukte in den üblichen Einheiten (l, kg oder g/ha), die vom Programm automatisch vorgeschlagen werden, eingeben. Neue Mittel kann er unter Verwendung des Verzeichnisses von 360 Wirkstoffen erfassen. Bei den Wirkstoffen kann dagegen nichts verändert werden. Das Behandlungsprogramm kann kopiert werden, um bei Simulationen einige Daten abzuändern, Produkte auszutauschen, Aufwandmengen zu verändern etc..

Die Berechnungen erfolgen selbsttätig. Das Programm wirft die Ergebnisse in Form von Tabellen und Graphiken, getrennt nach Ebenen (Wirkstoff, Behandlungsprogramm, Schlag, Betrieb) aus (Abb. 19 und 20). Wir haben einen Farbcode mit gelb, orange und rot gegenüber den Farben der Verkehrsampeln bevorzugt. Viele Experten, das hat sich auch bei einer Sitzung des technischen Komitees des ITADA gezeigt, halten die Farbe grün für nicht angezeigt. Dies aufgrund der Überlegung, dass mit der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln immer ein gewisses Risiko verbunden ist, zumindest für den Anwender.

Die Graphiken und Tabellen des Programms können nicht verändert werden. Es besteht die Möglichkeit, die Rohdaten mit allen Angaben in eine Excel-Tabelle zu exportieren, um sie darin weiter bearbeiten zu können.

Knopf: Darstellung der Ergebnisse

Knopf: Hilfe (Darstellung des Verfahrens, Parametrierung)

simuliertes Programm (der ursprüngliche Ansatz kann kopiert werden)

Dateneingabe mit pull-down-Menü: Einheiten und Parameter (Bedeckung, Auswaschg., Oberflächenabtrag, Abtrift) erhalten Werte in Abhängigkeit von den Schlag- und Kulturdaten zugewiesen

Berechnungsergebnis (automatisch). Details erhält man mit dem Ergebnis-Knopf

The screenshot shows the main window of the I-Phy software. At the top, there is a menu bar with 'Fichier', 'Edition', 'Selec', and 'Indicateur'. Below the menu bar is a toolbar with several icons. The main area is divided into several sections:

- Exploitation:** A dropdown menu showing 'DEMO - Gaec LEDEMPLE Jean' and a 'Modier...' button. To the right, a dropdown menu shows '1999' and another 'Modier...' button. Further right, 'Indicateur année : 5.3' is displayed.
- Parcelle:** A dropdown menu shows 'Brau Sola' and a 'Modier...' button. To the right, a text field contains 'Blé d'hiver (tende)' and a text field contains '21.5 ha'. Further right, 'Indicateur parcelle : 6.0' is displayed.
- Programmes de traitement:** A table with columns: 'Nivraire', 'Date semis', and 'Commentaire'. It contains three rows of data. To the right of the table is a 'Dupliquer' button. Below the table, 'Indicateur du programme de traitement : 6.0' is displayed.
- Applications:** A table with columns: 'Date', 'Spécialité', 'Dose', 'Unité', 'Lieu d'application', 'Couvert', 'Lessis', 'Ruissel', 'Dérive', and '% Surf. traitée'. It contains five rows of data.

**Abb. 17:** Darstellung des Hauptformulars von I-Phy

**Parcelles de l'exploitation "DEMO" pour l'année 1999**

Parcelle
▶ Beau Soleil
La Noué
P2
P3
P4
P5
*

Culture : Blé d'hiver (tendre)

Surface, MO (%), pH : 21,50 4 7

Distance à la rivière (m) : 20

Texture, Pente : Limoneux Faible (< 5%)

Battance :  Hydromorphe :

Travail du sol : Résidus en surface

Largeur bande enherbée (m) : 0

Commentaire :

Fermer

**Abb. 18:** Darstellung des Dateneingabeformulars der Software I-Phy

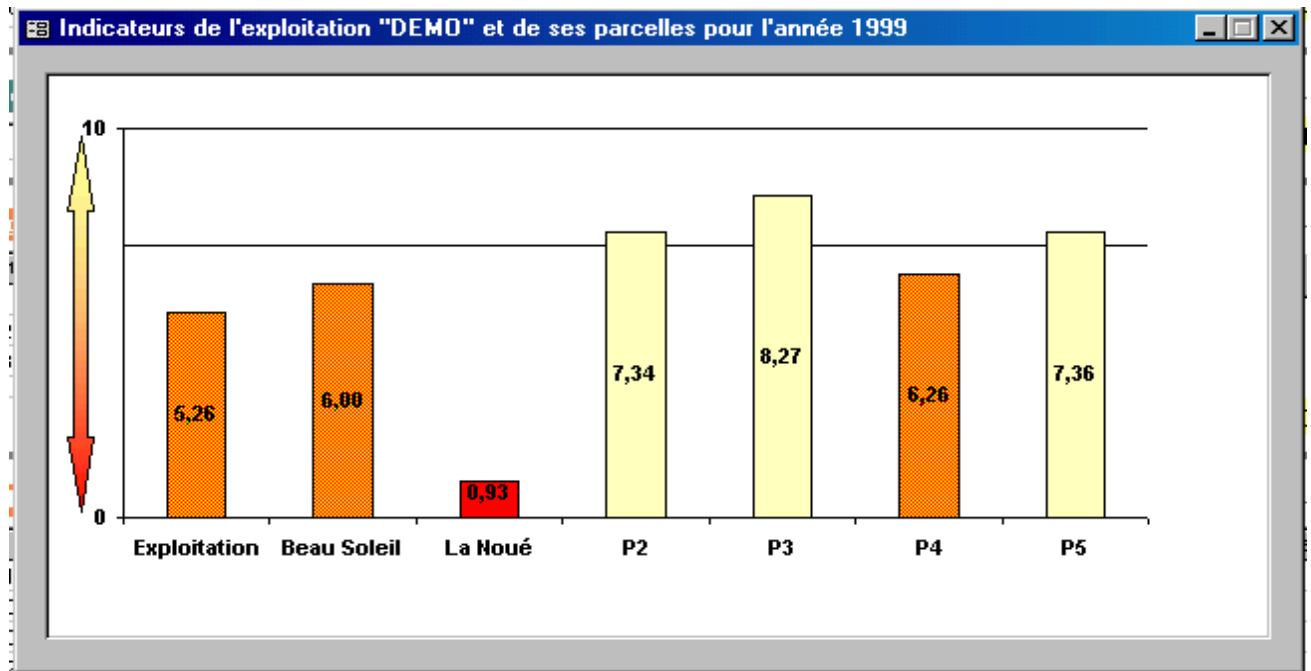
**Indicateurs des matières actives du programme "1"**

Détail d'un programme

Résultats M.A. | Caractéristiques M.A.

Matière active	Dose g/ha	Eaux		Risques		
		Profondes	De surface	Air	Dose	Global
isoproturon	1000	6,1	7,1	10,0	2,5	5,9
tébuconazole	200	8,4	8,3	10,0	6,0	8,2
2,4-MCPA	500	6,3	7,8	10,0	4,0	6,7
clopyralid	50	7,6	8,6	10,0	8,7	8,6
fluroxypyr	100	8,2	8,8	10,0	7,5	8,5
krésoxim-méthyl	62,5	10,0	8,8	10,0	8,4	9,6
époxyconazole	62,5	9,7	7,9	10,0	8,4	9,2

**Abb. 19:** Darstellung des detaillierten Ergebnisformulars für den Indikator hinsichtlich der Aktivsubstanzen.



**Abb. 20:** Darstellung der Einzelschlagergebnisse des Indikators für einen Betrieb

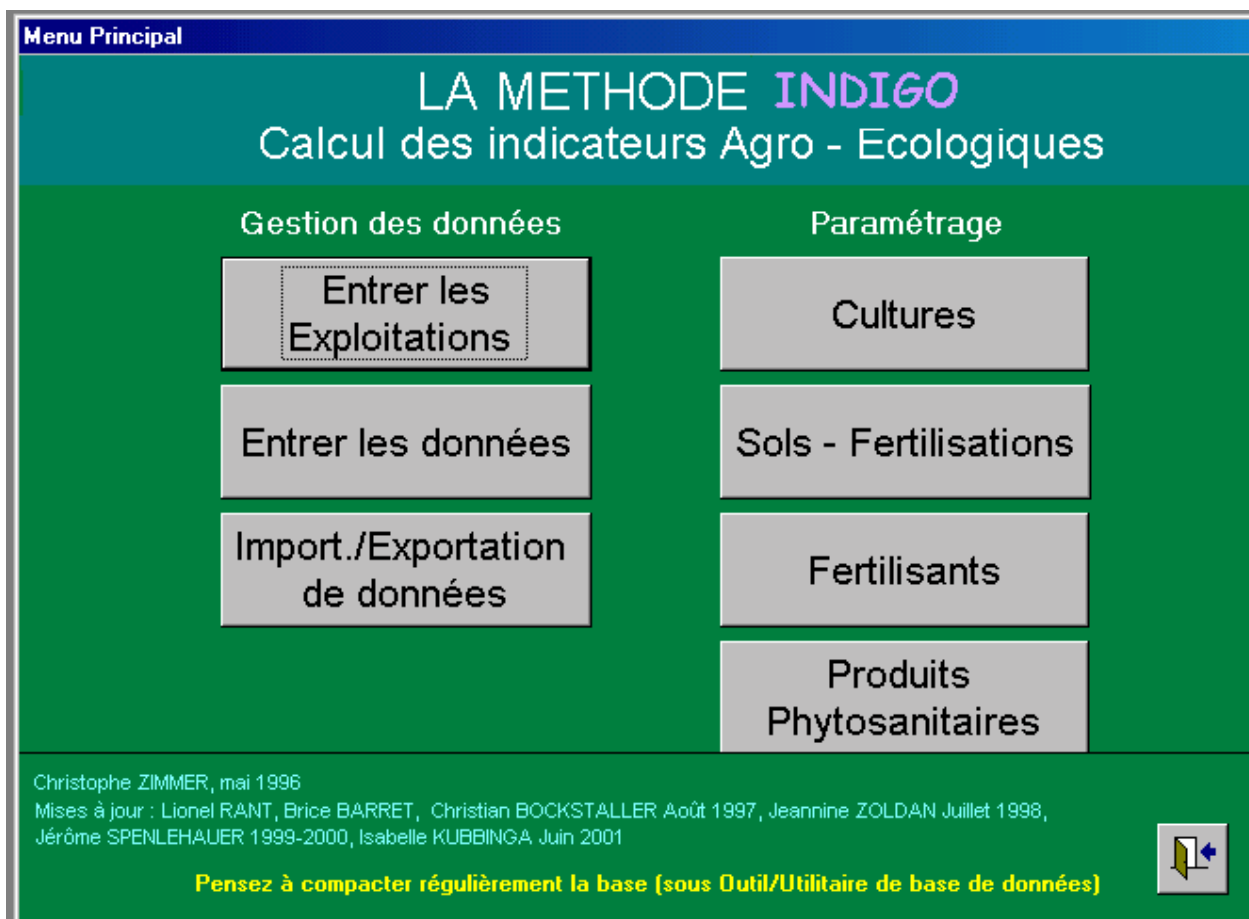
Das Programm lässt sich einfach mit einer CD und einem Schutzstecker auf dem Druckerausgang (vor dem Anschalten des Computers) installieren. Der Preis liegt gegenwärtig bei 380 €, nimmt jedoch mit zunehmender Kaufmenge ab. Dieses Programm wurde bisher noch nicht übersetzt.

## 2. Entwicklung einer Access-Datenbank zur Berechnung aller Kenngrößenwerte

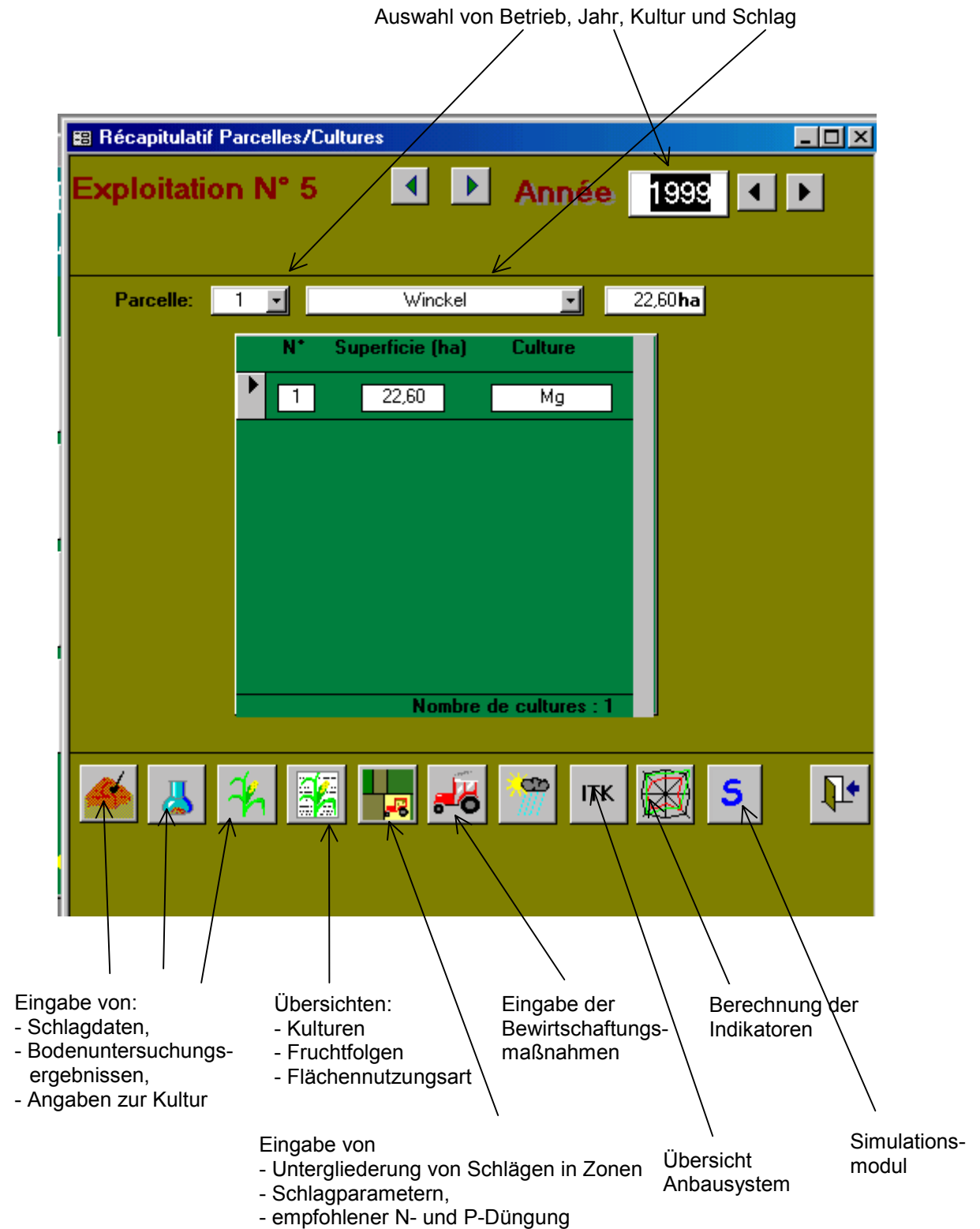
Zu Beginn dieses Projektes verfügten wir über eine Programmversion, die leidlich lief, aber noch viele Programmierfehler enthielt. Das Programm wurde ursprünglich auf Access 2 unter Windows 3.11 begonnen und dann mit viel Arbeit von zwei Praktikanten auf Access 7 und 97 (Windows 95 und 98) übertragen. Mit Hilfe eines Informatikers wollten wir diese Arbeit nun zu Ende bringen, durch Beseitigung der verbliebenen Fehler und unter Hinzufügung zahlreicher neuer Funktionalitäten sowie des neuen Indikators Energie. Das Programm umfasst nun rund 10 MB und benötigt Access 97 sowie einen PC mit Pentium 200 oder höher sowie mindestens einen 15" Bildschirm.

Das Programm öffnet zuerst das Hauptmenü, das den Zugriff auf die verschiedenen Funktionen erlaubt (Abb. 21):

- Anlage eines neuen Betriebs: Es wird nur eine Nummer benötigt, so dass der Landwirt anonym bleiben kann.
- Dateneingabe: (Abb. 22).
- Datenbankänderung: Import neuer Daten; Export in Excel um die Windrosen-Darstellung zu ermöglichen (s. Abb. 4 in Teilthema 1).
- Parametrieren: Eingabe einer neuen Kultur mit ihren Parametern, einer neuen Bodenklasse, neuer Düngemittel, neuer Pflanzenschutzmittel.



**Abb. 21:** Darstellung des Hauptmenüs des Programms zur Berechnung der INDIGO-Indikatoren



**Abb. 22:** Darstellung des Haupt-Dateneingabeformulars des Programms zur Berechnung der INDIGO-Indikatoren



Das zentrale Dateneingabeformular erlaubt, nach Auswahl von Betrieb, Jahr und Schlag, den Zugriff auf die verschiedenen Module. Mit Hilfe eines Knopfes öffnet man die korrespondierenden Formulare, die neben dem Hauptformular angezeigt werden. In den meisten Fällen gibt es eine Koordinierung zwischen den beiden Formularen. Wechselt man beispielsweise den Schlag im Hauptformular (Abb. 22), so ändert sich der Schlag auch im anderen Formular (s.o. z.B. Eingabe der Kulturartdaten).

**Création/Modification**

**Parcelle N° 1** **Winckel**

**Culture N° 1** **Année 1999**

Superficie: 22,6 ha

Culture: Mg Usage: Grande Culture

**Culture / Interculture précédentes**

Engrais Vert/Culture dérobée:

Date Semis EV:

Culture précédente: 1 Mg 22,6ha

Rendement escompté: 115 q/ha **entier ! obligatoire pour calcul XRN XRP**

Travail du Sol: Labour 25 cm

Date Semis Culture: 05/05/99 **Date récolte facultative sauf si sous-semis !**

Date Récolte:

Rendement effectif: 132 q/ha **entier !**

Devenir Résidus: enfouis broyé

Date: sans incidence

Rotation en années: 4 Irrigué:

Duplizierung einer Anbaufläche

Anlage eines neuen Anbaufläche

Löschen eines Schlages

**Abb. 23:** Darstellung des Formulars zur Eingabe der Kulturdaten in das Programm zur Berechnung der INDIGO-Indikatoren

In dem Programm kann ein Schlag für ein Jahr in verschiedene 'Anbauflächen' unterteilt werden. Ebenso kann eine 'Anbaufläche' in mehrere Zonen (Zur Düngung, für Pflanzenschutz oder Beregnung) unterteilt werden. Bei diesen Anbaumaßnahmen erfolgt die Dateneingabe nicht Schlag für Schlag sondern nach Maßnahme (Abb. 24) und ein Formular nennt alle Schläge mit derselben Kultur, welche dann auszuwählen sind (Abb. 25).

**Fertilisations**

Exploitation : 5      Année 1999

Culture : Mg

N° Parcelle: 5      N° Surface Cultivée: 1

Date: 20/05/99

Nom Engrais: Urée

Qté épandue: 152 kg/ha **entier !**  
ou m3, t/ha si organique

Enfoui:       Localisé:

---

**N**      teneur N Minéral: 46,00 % (minéral)  
kg/t (organique)

N comptabilisé: 70 kg N/ha

---

**P**      teneur P205: 0,00 % (minéral)  
kg/t (organique)

P205 comptabilisé: 0 kg P205/ha

---

**K**      K20 comptabilisé: 0 kg K20/ha

teneur K20: 0,00 % (minéral)  
kg/t (organique)

Appliquer sur...      Modifier      ↶      ☀      🗑      ↷

Öffnen des Formulars zur Auswahl der Schläge      Anlage einer neuen Düngemaßnahme      Löschung einer Düngemaßnahme

**Abb. 24:** Darstellung des Formulars zur Eingabe von Düngemaßnahmen in das Programm zur Berechnung der INDIGO-Indikatoren.

Appliquer sur quelle(s) zone(s) de Fertilisation ?

N°	Parcelles Nom	Précedent	Surfaces Cultivées		Zones Fertilisation		Oui/Non
			N° /Culture/	Superficie	N°	Superficie	
1	Winckel	Mg	1	Mg 22,6 ha	1	22,6 ha	<input type="checkbox"/>
2	Blodelsheimerweg	Mg	1	Mg 14,7 ha	1	14,7 ha	<input type="checkbox"/>
3	Colmarerweg	Mg	1	Mg 21 ha	1	21 ha	<input type="checkbox"/>
5	Ratfeld	Mg	1	Mg 2,5 ha	1	2,5 ha	<input type="checkbox"/>

**Abb. 25:** Darstellung des Formulars zur Auswahl von bei einer Düngungsmaßnahme gedüngten Schlägen.

Wir haben versucht, dieses Programm so anwenderfreundlich wie möglich zu gestalten und dabei trotzdem der Komplexität eines landwirtschaftlichen Betriebs Rechnung zu tragen (Veränderungen der Flächen von Jahr zu Jahr, Aufteilung der Schläge etc.). Es wurde auch eine kurze Gebrauchsanleitung dazu verfasst. Alle Eingaben und Berechnungen erfolgen mit Hilfe von Formularen und Befehlsknöpfen. Anschliessend werden die Ergebnisse auf verschiedenen Ebenen mit Hilfe von Formularen dargestellt. Die Ergebnisse auf Betriebsebene in Form einer Windrose sowie die Ergebnisse auf Schlagebene in Form von Diagrammen erhält man mit Hilfe von Excel und einem Befehlsknopf. Die einzige Schwierigkeit besteht darin, alle Teile im selben Unterverzeichnis des Rechners zu haben und sich bei der Anwendung auch darin zu befinden (und nicht in einem anderen wie z.B. dem Standardverzeichnis 'meine Dokumente'). Der Umstieg auf Excel war erforderlich, weil die Darstellungsmöglichkeiten in Access beschränkt sind und der Anwender dort keinen Zugang zur Gestaltung hat, um diese an seine persönlichen Vorstellungen anzupassen.

Was die Übersetzung angeht, so wurde dieses Programm übersetzt. Gleichwohl wurden zwischenzeitlich in der französischen Version bereits wieder Veränderungen vorgenommen (z.B. Simulationsmodul), die noch nicht in die deutsche Version eingearbeitet sind. Jene wurde auf einem deutsch konfigurierten PC getestet, wobei sich mehrere Anpassung als erforderlich erwiesen. Einige Anweisungen in Französisch (die von Access automatisch eingerichtet wurden) haben große Probleme bereitet und mussten durch englische Anweisungen ersetzt werden. Im übrigen müssen auf einem PC mit Windows in deutscher Version die französischen Parameter bei der Konfiguration der nationalen Parameter ausgewählt werden. Die Übersetzung des Handbuchs ins Deutsche befindet sich in Arbeit.

## D Umsetzung in die Praxis

- Auf-den-Markt-bringen eines Programms zur Berechnung des Pflanzenschutzindikators (I-Phy).
- Entwicklung einer Access-Datenbank zur Berechnung aller Indikatoren des INDIGO-Verfahrens (bisher: Flächennutzung, Fruchtfolge, organische Substanz, Phosphor, Stickstoff, Pflanzenschutz, Beregnung, Energie). Diese Software liegt in einer Testversion vor (CD mit Handbuch). Sie wird noch nicht im großen Stil vertrieben (Schutzprobleme).
- Von der Access-Datenbank gibt es auch eine deutsche Version. Sie beinhaltet jedoch noch nicht die letzten Neuerungen (z.B. Simulationsmodul). Das Handbuch wird gerade übersetzt. Die Installationsprobleme auf einem PC mit deutscher Konfiguration sind gelöst.

## E Schlussfolgerungen

Die Umsetzung des INDIGO-Verfahrens und seine Verbreitung erforderten eine Informatiklösung für die Berechnung. In diesem Teilprojekt haben wir zwei Ansätze verfolgt:

- Entwicklung und Vermarktung eines Programms zur Berechnung des Pflanzenschutzindikators (I-Phy) in Zusammenarbeit mit einer Softwarefirma. Dadurch konnte auch die Erstellung eines Handbuchs sowie die Erstellung einer zuverlässigen Datenbank der Pflanzenschutzmittel-Wirkstoffe beschleunigt werden, wofür 'bienenfleißig' Molekül für Molekül die verschiedenen Angaben verglichen werden mussten, um die gültigen herauszufinden.
- Entwicklung einer Access-Datenbank für alle Indikatoren im eigenen Hause. Herausgekommen ist eine anwenderfreundliche Version, die funktioniert, auch wenn sie wahrscheinlich im Vergleich zu kommerziellen Standards noch eine Reihe von Mängeln aufweisen dürfte.

Diese letztgenannte Version wurde ins Deutsche übersetzt und an die deutsche Computerkonfiguration angepasst. Bei dieser Version sind noch einige Modifikationen nötig. Sie funktioniert jedoch auf deutschen Computern nach Umstellung der nationalen Parameter.

Diese Software-Arbeit muss noch fortgesetzt werden, um Module zur Berechnung neuer Indikatoren einzufügen (ökologische Strukturen, Oberflächenabfluss-Erosion). Ausserdem möchten wir die Übertragung der Windrosen-Darstellung und der Diagramme in die Ergebnisberichte mit schriftlichen Kommentaren automatisieren. So steht auch noch die Automatisierung der Darstellung 'Nachhaltigkeitsbilanz' (Abb. 5 von Teilthema 1) noch aus. Eine weitere zukünftige Anwendung wird die Verknüpfung mit einem geographischen Informationssystem sein, für eine räumliche Darstellung der Daten wie es bereits Poiani et al. (1996) gemacht haben.

## Literaturverzeichnis

- Bockstaller, C., Girardin, P., 2000a. Faisabilité de la Production Intégrée en grande culture, ITADA, Colmar.
- Bockstaller, C., Girardin, P., 2000b. Mode de calcul des indicateurs agro-écologiques, Document INRA-ARAA, pp. 102.
- Brisson, N., Mary, B., Ripoche, D., Jeuffroy, M. H., Ruget, F., Nicoullaud, B., Gate, P., Devienne-Barret, F., Antonioletti, R., Durr, C., Richard, G., Beaudoin, N., Recous, S., Tayot, X., Plenet, D., Cellier, P., Machet, J. M., Meynard, J. M., Delecolle, R., 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. *Agronomie* 18, 311-346.
- Dabène, E., Marié, F., 1993. Produits phytosanitaires. Caractéristiques utiles pour l'évaluation du comportement de quelques matières actives dans l'environnement. Recueil de fiches synthétiques et guide de lecture, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Direction de l'Espace Rural et de la Forêt. Sous-Direction de l'Aménagement Foncier et de l'Hydraulique Agricole. Bureau BARNS, Paris, Document provisoire, pp. 228.
- Eckert, H., Breitschuh, G., Sauerbeck, D., 2000. Criteria and Standards for Sustainable Agriculture. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 163, 337-351.
- Girardin, P., Hanson, M., Bockstaller, C., 1997. Mise au point et validation d'indices agro-écologiques pour le diagnostic des exploitations de grande culture s'orientant vers la Production Intégrée. ITADA, Colmar, pp. 16.
- Lewis, K. A., Bardon, K. S., 1998. A computer-based informal environmental management system for agriculture. *Environmental Modelling and Software* 13, 123-137.
- Linders, J. B. H. J., Jansma, J. W., Mensink, B. J. W. G., Otermann, K., 1994. Pesticides: benefaction or Pandora's box ? A synopsis of the environmental aspects of 243 pesticides, RIVM, Bilthoven, The Netherlands.
- Mannheim, T., Braschkat, J., Dorr, J., Marschner, H., 1997. Computerized simulation framework for evaluation and reduction of ammonia emissions after liquid manure application. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 160, 133-140.
- Poiani, K. A., Beldford, B. L., Merrill, M. D., 1996. A GIS-based index for relating landscape characteristics to potential nitrogen leaching to wetlands. *Landscape Ecology* 11, 237-255.
- The ARS Pesticide Properties Database, 1995. Site internet <http://wizard.arsusda.gov/acsl/ppdb.html>.
- Tomlin, C. D. S., (Ed.) 1997. "The Pesticide Manual", British Crop Protection Council, Farnham, United Kingdom, pp. 1606.
- van der Werf, H. M. G., Zimmer, C., 1999. Un indicateur d'impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Courrier de l'environnement de l'INRA* n°34, 47-66.

## ALLGEMEINE SCHLUSSFOLGERUNG

Dieses Projekt hatte die Anwendung des INDIGO-Verfahrens zum Ziel, das auf der Berechnung von agrar-ökologischen Kenngrößen beruht, welche in den vorangegangenen ITADA-Programmen entwickelt wurden. Diese Indikatoren, für die die auf dem landwirtschaftlichen Betrieb verfügbaren Informationen ausreichen und die keine Messungen im Felde erfordern, sollen alle Aufzeichnungen des Landwirts auswerten. Es handelt sich dabei um Evaluierungs- und nicht um Kontrollinstrumente, die dem Landwirt helfen können, über die Bewirtschaftungsmaßnahmen seines Betriebs unter agrar-ökologischen Gesichtspunkten Bilanz zu ziehen, um, unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen, diese immer weiter zu verbessern.

All diese Arbeiten haben zu einer deutlichen Verbesserung der Anwendungsbedingungen für das INDIGO-Verfahren geführt, indem sie Lösungen aufgezeigt haben für:

- Fragen grundsätzlicher (theoretischer) Natur, die im ersten Teilthema behandelt werden: Möglichkeiten und Grenzen dieses Verfahrens im Vergleich mit anderen Ansätzen (In diesem Fall das deutsche Verfahren KUL); Zusammenfassung aller Indikatoren, um über einen deskriptiven Gebrauch, Indikator für Indikator, hinaus zu kommen; Kombination mit ökonomischen Kriterien. So haben wir einen 'Relativindikator der Nachhaltigkeit' entwickelt (IDU), der auf der Grundlage aller Indikatoren berechnet wird, um die Gesamtheit der Ergebnisse zusammenzufassen, und dabei die Fallstricke, die solcher Art von Ansätzen innewohnen, weitestgehend zu vermeiden (Subjektivität der Gewichtung, Kompensationseffekte zwischen Kriterien etc.). Für die Auswahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Basis von Umwelt- (auf unseren Indikatoren aufbauend) und anderen, technischen und ökonomischen Kriterien, hat sich ein Multikriterien-Ansatz der 'Europäischen Schule' (Electre III) als interessant erwiesen. Im Vergleich zu einem Einzelindikator erlaubt dieser, gewisse Fallen, so den Vergleich von nicht vergleichbaren Kriterien, zu umgehen. Auf der anderen Seite büßen sie dafür manchmal in den dabei gebildeten Schlussklassifizierungen etwas an Lesbarkeit ein.
- praktische Aspekte, die im zweiten und dritten Teilthema behandelt werden: Ausdehnung des Anwendungsbereichs des Verfahrens auf andere Produktionssysteme; Anwendung des Verfahrens in Gebieten mit besonderen Verhältnissen (sensible Gebiete, Wasserschutzgebiete). Einer der im gegenwärtigen Kontext wichtigsten Indikatoren, der Pflanzenschutzmittelindikator, wurde verbessert und an den Weinbau angepasst, ein völlig anderes als das ursprüngliche Anwendungsgebiet des Ackerbaus und von erst-rangiger wirtschaftlicher Bedeutung.
- materielle Probleme, die mit der Umsetzung verbunden sind und im vierten Teilthema behandelt werden: Übertragung des Verfahrens auf die EDV in Form von zwei Programmen, eines für den Pflanzenschutzindikator I-Phy, das bereits im Handel erhältlich ist, und ein zweites für alle Indikatoren, das auf der Grundlage von Access an der INRA entwickelt wurde und sich durch eine ordentliche Anwenderfreundlichkeit auszeichnet, gleichwohl es noch einige Schwächen aufweist.

Bestimmte Punkte wären es Wert, noch weiter bearbeitet zu werden. So sollte das INDIGO-Verfahren noch mit weiteren Evaluierungsverfahren verglichen werden, die in Komplexität und Ansätzen ähnlich gelagert sind. Das Multikriterien-Verfahren wurde in einem Schulbeispiel (Unkrautbekämpfung in Mais) getestet und sollte noch mit anderen Daten (aus Feldversuchen oder landwirtschaftlichen Betrieben) geprüft werden. Die Ausweitung des Verfahrens auf weitere Anbausysteme ist anvisiert (z.B. Obstbau). Die Arbeiten des dritten Teilthemas konnten das ursprünglich angestrebte Ziel nicht erreichen, haben aber bestätigt, dass der Stickstoff-Indikator noch verbessert werden muss. Schließlich können auch Software-Programme immer noch weiter verbessert werden, wie man es in diesem Sektor ja allgemein beobachten kann.

---

Das in diesem Projekt Erreichte erlaubt jedoch, einen Einsatz dieses Verfahrens ernsthaft in Erwägung zu ziehen, sowohl auf elsässischer als auch auf badischer Seite, sobald die Übersetzungsarbeiten vollständig abgeschlossen sind. Begleitend hierzu müssen die Anwender, Berater und Techniker von Beratungseinrichtungen geschult sowie die Instrumente zur Verfügung gestellt werden.

## **ZUSAMMENFASSUNG**

### **Abschlussbericht - Projekt 1.1.2**

#### **Anwendung des Verfahrens 'Agrar-ökologische Kenngrößen': Vergleich mit dem Verfahren KUL, Übertragung auf andere Anbausysteme, Einsatz in sensiblen Gebieten, Übertragung auf EDV**

##### **Beteiligte**

Projektverantwortlicher:	Christian Bockstaller (ARAA)	F
Projektpartner:	Martina Reinsch (IfuL Müllheim)	D
Mitbeteiligte:	INRA Colmar (Philippe Girardin)	F
	IfuL Müllheim (Dr. Vetter)	D

**Dauer** 01.07.1999 - 31.12.2001

## **ALLGEMEINE EINFÜHRUNG**

### **A Ausgangssituation und Problemstellung**

Im letzten Jahrzehnt haben sich die Rahmenbedingungen für die intensive Landwirtschaft in den Ländern Europas weiterentwickelt und eine zunehmende Sensibilisierung der verschiedenen Akteure in der Landwirtschaft für Umweltprobleme bewirkt. Auf einer höheren Ebene ist das Konzept der Nachhaltigkeit, zumeist verengt auf seine ökologische Dimension, zu einem allgemeinen Ziel, ja zum Paradigma der landwirtschaftlichen Produktion der Zukunft geworden. Besteht hinsichtlich des Ziels eine gewisse Einigkeit, so gehen die Ansichten über die Wege auseinander. Um dieses manchmal vage Konzept konkretisieren und umsetzen zu können, sehen viele Forscher die Notwendigkeit, Instrumente zur Messung oder vielmehr Evaluierung der Nachhaltigkeit und, auf einer tieferen Ebene, der Auswirkungen landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Umwelt zu entwickeln. Angesichts zu teurer und zeitaufwendiger systematischer Messungen vor Ort sowie mangels praxistauglicher Instrumente für exakte Vorhersagen, wird oft auf Indikatoren zurückgegriffen, die einen Kompromiss zwischen wissenschaftlicher Genauigkeit und Machbarkeit darstellen.

Unsere Arbeiten, die zur Entwicklung der agrar-ökologischen Kenngrößen, inzwischen 'INDIGO-Verfahren' genannt, geführt haben, sind in diesen Kontext einzuordnen. Im Rahmen früherer ITADA-Programme haben wir eine erste Version zur Berechnung von Kenngrößen erstellt und diese in einem Netz von landwirtschaftlichen Betrieben auf beiden Seiten des Rheins getestet. Diese erste Version zur Berechnung der verfügbaren Kenngrößen verlangte einerseits Verbesserungen und neue Erkenntnisse, die Anwendung des Verfahrens offenbarte andererseits Probleme und warf Fragen auf. Diese sehr unterschiedlichen Fragen rückten in den Mittelpunkt des aktuellen Projekts und führten zu folgenden Unterthemen:

- Ein etwas theoretischerer Teil:
  - sind die erzielten Ergebnisse belastbar und weisen sie in dieselbe Richtung wie die anderer Evaluierungsverfahren? Um dies zu klären, haben wir beschlossen, das INDIGO-Verfahren mit dem KUL-Verfahren zu vergleichen.
  - Der Indikatorenset dient der Ermittlung und Bewertung der Stärken und Schwächen landwirtschaftlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen, um Verbesserungen im Hinblick auf die Agrar-Umwelt-Ziele in Richtung einer nachhaltigen Landwirtschaft zu erreichen.



Aber ist eine umfassende Diagnose der Nachhaltigkeit unter dem Aspekt 'Ökologie' oder 'ökologische Machbarkeit' möglich, indem man diese Kenngrößen kombiniert oder aggregiert? Dies führt uns dazu, die Vorgehensweise zu untersuchen, Kriteriensysteme zu einem einzigen Wert zu aggregieren.

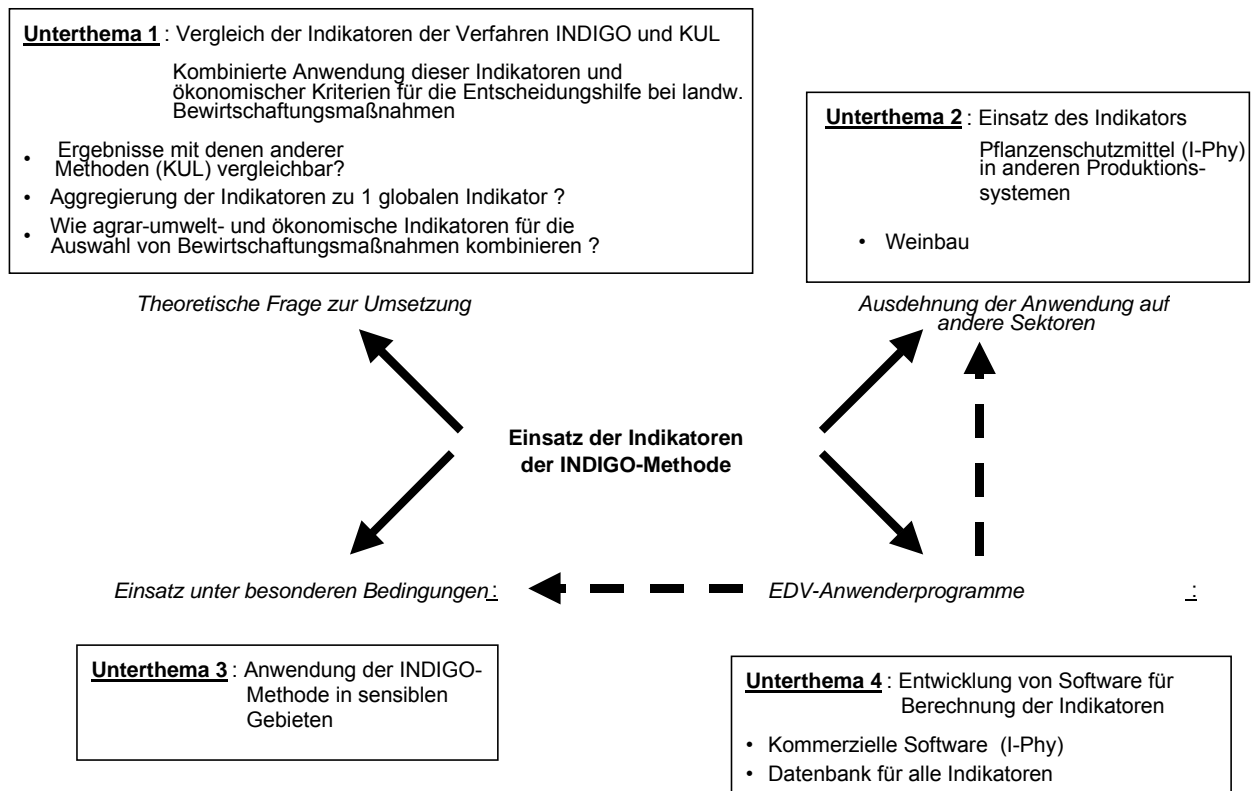
- Bei der Betrachtung einer nachhaltigen Landwirtschaft, die gleichermaßen auf einer ökologischen, ökonomischen und sozialen Dimension beruht, erscheint es uns ange-raten, unsere Indikatoren zumindest mit ökonomischen Kriterien zu verknüpfen, nach-dem wir uns für den sozialen Aspekt nicht kompetent fühlen. Die im vorangehenden Teil entwickelten und geprüften Verfahren könnten uns auch bezüglich dieser Pro-blemstellung dienlich sein. Wir werden uns auf eine Untersuchung der Unkrautbe-kämpfung in Mais beschränken, einer Maßnahme von strategischer Bedeutung bei dieser Kultur, die Produkte verwendet, die im Zentrum der Umweltproblematik stehen (in Frankreich insbesondere Atrazin).
- Die Übertragung der INDIGO-Methode auf andere Betriebszweige als den Ackerbau:
  - In diesem Fall beschränken wir uns auf den Pflanzenschutzindikator I-Phy und den Betriebszweig Weinbau, der im Elsass und in Baden von besonderer Bedeutung ist.
- Die Anwendung der Indikatoren der INDIGO-Methode in Gebieten mit einer anerkanntermaßen besonderen Agrar-Umwelt-Problematik, die Regelementierungen oder beson-dere Aktionen veranlasst.
- Schließlich war es seit Beginn der Konzipierung der INDIGO-Indikatoren klar, dass ihre Berechnung mit Hilfe der EDV erfolgen muss, wenn sie angewandt werden sollen. Zwei Ansätze wurden verfolgt:
  - Zusammenarbeit mit einem Informatik-Unternehmen für die Entwicklung einer kom-merziellen Software für den Indikator I-Phy und den Weinbau, einem Betriebszweig von herausragender Bedeutung für das Elsass und Baden.
  - Interne Entwicklung einer Berechnungssoftware für die Gesamtheit der Indikatoren an der INRA Colmar auf Grundlage der Access-Datenbank (Version 97, Microsoft®).

Diese Fragen haben also zu vier Unterthemen geführt, die miteinander verknüpft und in Ab-bildung 1 zusammengestellt sind. Die Teilthemen 1 und 3 wurden im Rahmen einer grenz-überschreitenden Zusammenarbeit zwischen der Association pour la Relance Agronomique en Alsace (ARAA) sowie der Arbeitsgruppe 'Nachhaltige Landwirtschaft' der gemischten For-schungseinheit (UMR) INRA Colmar – ENSAIA Nancy einerseits und dem Institut für um-weltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim (IfuL) andererseits bearbeitet. Im Anhang 1 sind die wichtigsten Ereignisse dieser grenzüberschreitenden Zusammenarbeit aufgeführt.

## **B Allgemeine Zielsetzung**

Die Projektziele sind:

- Antworten zu geben auf gewisse theoretische Aspekte der Anwendung der Indikatoren des Verfahrens INDIGO, um die Glaubwürdigkeit dieser Instrumente zu gewährleisten und deren Anwendungsmöglichkeiten zu vertiefen,
- den Anwendungsbereich der Kenngrößen der INDIGO-Methode über den Ackerbau hin-aus sowie auf sensible Gebiete zu erweitern,
- die Anwendungsbedingungen dieser Instrumente durch die Entwicklung von Anwender-programmen zu verbessern, deren Gebrauch zu erleichtern und ihre Verbreitung zu för-dern.

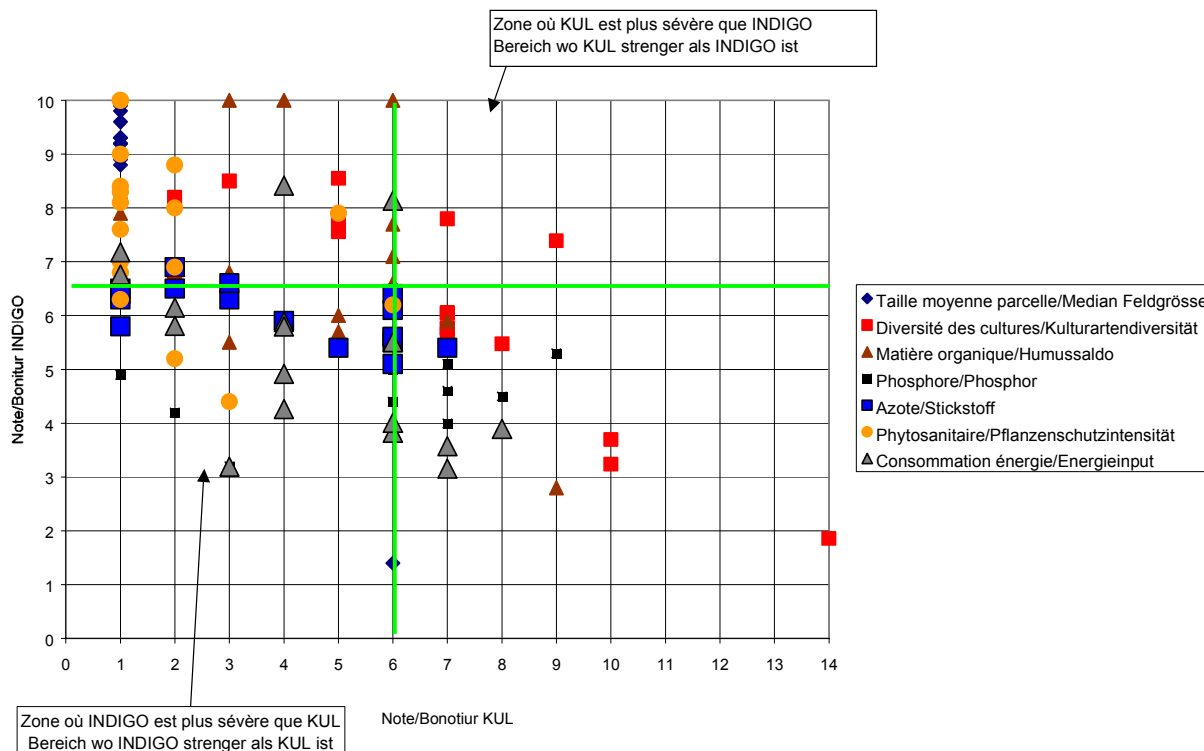


**Abb. 1:** Verknüpfung der verschiedenen Teilthemen im Projekt

## AUSGEFÜHRTE ARBEITEN

### Teilthema 1

Mit der Entwicklung verschiedener Methoden zur agrar-ökologischen Evaluierung landwirtschaftlicher Betriebe sowohl in Frankreich als auch in Deutschland stellt sich bereits heute und noch mehr in Zukunft die Frage nach der Wahl der Methode. Diese Frage ist vor einer Evaluierung zu klären. Wir haben deshalb unsere Methode mit der deutschen KUL-Methode verglichen, was erlaubte, die Möglichkeiten und die Grenzen aufzuzeigen. Es zeigte sich, dass die INDIGO-Methode eine tiefere Analyse erlaubt, dies jedoch um den Preis eines höheren Zeitaufwands. In Anbetracht der Ähnlichkeiten der beiden Methoden war es auch möglich, einen Vergleich der Ergebnisse vorzunehmen. Letztendlich kommt es auf die daraus abgeleiteten Empfehlungen an. Dabei gab es Unterschiede. Insgesamt betrachtet kommt INDIGO zu strengeren Bewertungen als KUL (Abb. 2). Dies ist darauf zurückzuführen, dass INDIGO die Risiken genauer bewertet und auch strengere Maßstäbe als KUL hat.



**Abb. 2:** Vergleich der mit den Verfahren KUL und INDIGO erzielten Ergebnisse, getrennt nach Indikatoren

Auf der anderen Seite stellt sich die Frage, wie man über eine beschreibende Anwendung, Indikator für Indikator, hinaus kommt. Zwei Ansätze wurden geprüft:

- Der erste führt zu einem 'Relativindikator der Nachhaltigkeit' (IDU), relativ deshalb, weil er nur bestimmte Umweltprobleme berücksichtigt und die ökonomische und soziale Dimension der Nachhaltigkeit nicht berücksichtigt, weil es nicht möglich ist, die Nachhaltigkeit ohne Langzeitversuche absolut abzuschätzen. Wir haben versucht, einige Fallen dieser Art von Methode (Aggregation heterogener Teile, Kompensationseffekte etc.) zu vermeiden. Die Kenngröße IDU wird folgendermaßen berechnet:

$$IDU = \frac{\sum p_i * f(l_i)}{\sum p_i}$$

wobei  $f(l_i)$  = Wert einer Funktion der Umweltleistung bei einem Kenngrößenwert  $i$  ( $l_i$ )  
 $p_i$  = Wichtung des Indikators  $l_i$ .

Die Festlegung der Gewichtungen erfolgt mit Hilfe einer Tabelle in Abhängigkeit von der betrieblichen Situation (z.B.: Im Wasserschutzgebiet mit Problemen ist  $P_i = 8000$  für die Indikatoren Stickstoff und Pflanzenschutzmittel, in Wasserschutzgebieten ohne Qualitäts- und Mengenproblemen liegt  $p_i$  bei 400, bei Grundwasser ohne Probleme bei 20 und sonst bei 1)

- Im anderen Fall haben wir, ausgehend von einem Schulbeispiel (Unkrautbekämpfung im Mais), für die Auswahl der Bewirtschaftungsmaßnahmen ein Umweltkriterium eines unserer Indikatoren (I-Phy) mit technisch-ökonomischen Kriterien (Kosten, Wirksamkeit, etc.) kombiniert. In dieser Auswahlproblematik hat sich ein Multi-Kriterien-Ansatz der 'europäischen Schule' (Electre III) als interessant erwiesen. Gegenüber einem Einzelindikator erlauben es diese Verfahren, gewisse Fallen, wie den Vergleich von nicht miteinander

vergleichbaren Kriterien, zu umgehen, verlieren dabei manchmal aber an Lesbarkeit der Endergebnisse. Deshalb haben wir zwei von 45 ausgewählten Unkrautbekämpfungsprogrammen, die unabhängig von der Strategie (Technik, Versicherung, IP, Ökologie) immer gut eingestuft waren, näher beleuchtet.

## **Teilthema 2**

Bei der Einführung einer neuen Methode stellt sich auch die Frage nach dem Anwendungsgebiet. Die INDIGO-Methode war bislang auf den Ackerbau beschränkt. Durch Weiterentwicklung des Pflanzenschutz-Indikators (I-Phy) mit Einführung neuer Module (Nützlinge, Abtritt) und Anpassung an den Weinbau konnte dieses Anwendungsgebiet um einen vom ursprünglichen Anwendungsgebiet des Ackerbaus sehr verschiedenen Bereich von größter wirtschaftlicher Bedeutung erweitert werden. Ausserdem wurde eine neue Anwendungsmöglichkeit von I-Phy getestet, nämlich die Einstufung aller für eine Indikation zugelassenen Pflanzenschutzmittel in drei Risiko-Klassen in Abhängigkeit von verschiedenen Umweltbedingungen (s. Tab. 1).

## **Teilthema 3**

In Fortführung des vorherigen Teilthemas behandelt das dritte Teilthema die Anwendung der Methode unter besonderen Bedingungen (Wasserschutzgebiete etc.). Bei diesem Teilthema konnten die gesteckten Ziele am wenigsten erreicht werden. Aus Zeitmangel und wegen fehlender Anforderung durch die Beratungspartner vor Ort wurde der Einsatz dieser Methode als Beratungsinstrument in derartigen Zonen nicht getestet. Wir haben uns darauf beschränkt, die Werte für die Indikatoren Stickstoff und Pflanzenschutzmittel bei mehreren badischen Betrieben mit Flächen in Wasserschutzgebieten (WSG) für deren Flächen innerhalb und ausserhalb des WSG zu berechnen. Diese Arbeit hat bestätigt, dass über eine Verbesserung des Stickstoffindikators nachgedacht werden muss.

**Tab. 1:** Zuordnung einiger Produkte in verschiedene Klassen.  
Die Buchstaben in den Kästchen erklären den Grund für den Klassenwechsel. Die Gründe für die Zuordnung in die 'orange' oder 'rote' Klasse stehen in der Spalte 'Risiko' (Aux = Nützlinge, Esu = Oberflächengewässer, Eso = Grundwasser).

Mittel	Aktivsubstanz	I-Phy	Klassenzugehörigkeit			Risiko
			gelb	orange	rot	
<b>Fungizide</b>						
Mancozeb	mancozeb	6,3				Aux
Greman	tetraconazol	9,9		Dosis+Esu		
Olympe 10 EW	flusilazol	8,9		Esu		
Polyram DF	zink-metiram	9,2				
Stroby DF	krésoxim-methyl	9,8				
Sumisclex	procymidon	4,8				Aux
<b>Herbizide</b>						
Basta F1	glufosinat	9,6				
Glyphosat	glyphosat	9,1		Esu		
Diuron	diuron	4,6			Eso	Eso
Devrinol	napropamid	8,5		Esu		
Gramoxone plus	paraquat+diquat	6,7			Esu	Esu
Kerb Flo	propryzamid	4,9				Air
Prowl 400	pendimethalin	2,0				Esu+Air
Réglone 2	diquat	6,1			Esu	Esu+Air
Télon 2000	triclopyr	3,3				Eso
Weedazol TL	aminotriazole+ ammonium -thiocyanate	7,8		Esu		
<b>Insektizide</b>						
Cyperfor	cypermethrin	5,5				Aux
Decis	deltamethrin	9,9				Aux
Dursban 2	chlorpyrifos-ethyl	2,7				Air+Aux
Fastac	alphamethrin	6,8				Aux
Karate vert	lambda-cyhalothrin	6,6				Aux
Metover	methomyl	4,6				Esu+Aux
Sumi-Alpha	esfenvalerat	6,4				Aux
Tracker 108 EC	tralomethrin	6,7				Aux
Yphos 40	parathion methyl	5,6				Aux

#### Teilthema 4:

In einem letzten Teilprojekt haben wir die Voraussetzungen für die Anwendung der Methode durch eine Berechnungs-Software wesentlich verbessert. Zwei Programme stehen zur Verfügung: I-Phy, welches handelsüblichen Standards entspricht (Abb. 3) und einen Vertrieb hat sowie eine von der INRA entwickelte Access-Datenbank für alle Indikatoren (Abb. 4), die eine befriedigende Anwenderfreundlichkeit aufweist, aber noch einige Schwachstellen hat.

The screenshot shows the I-Phy software interface. At the top, there's a title bar 'Indicateurs Phyto' and a menu bar. Below that, a toolbar contains various icons. The main window is titled 'C:\Program Files\I-Phy\I-Phy.exe'. It features several sections:

- Exploitation:** A dropdown menu showing 'DEMO - Gare LE-EMPLE Jean' and a 'Modifier' button. To the right, an 'Année' dropdown shows '1999' and another 'Modifier' button. An indicator 'Indicateur année : 5,3' is highlighted in yellow.
- Parcelle:** A dropdown menu showing 'Sans Code', a 'Modifier' button, a text field 'Eté d'herbe (tendre)', a text field '27,5 ha', and an indicator 'Indicateur parcelle : 6,0' highlighted in yellow.
- Programmes de traitement:** A table with columns 'Nbre', 'Date servie', and 'Commentaire'. It contains three rows of data. A 'Supprimer' button is on the right. Below the table, an indicator 'Indicateur du programme de traitement : 6,0' is highlighted in yellow.
- Applications:** A table with columns: 'Date', 'Spécificité', 'Dose', 'Unité', 'Lieu d'application', 'Couvert', 'Lieux', 'Rendement', 'Dérivé', and '% Surf. traitée'. It contains five rows of data.

Abb. 3: Darstellung des zentralen Formulars von I-Phy

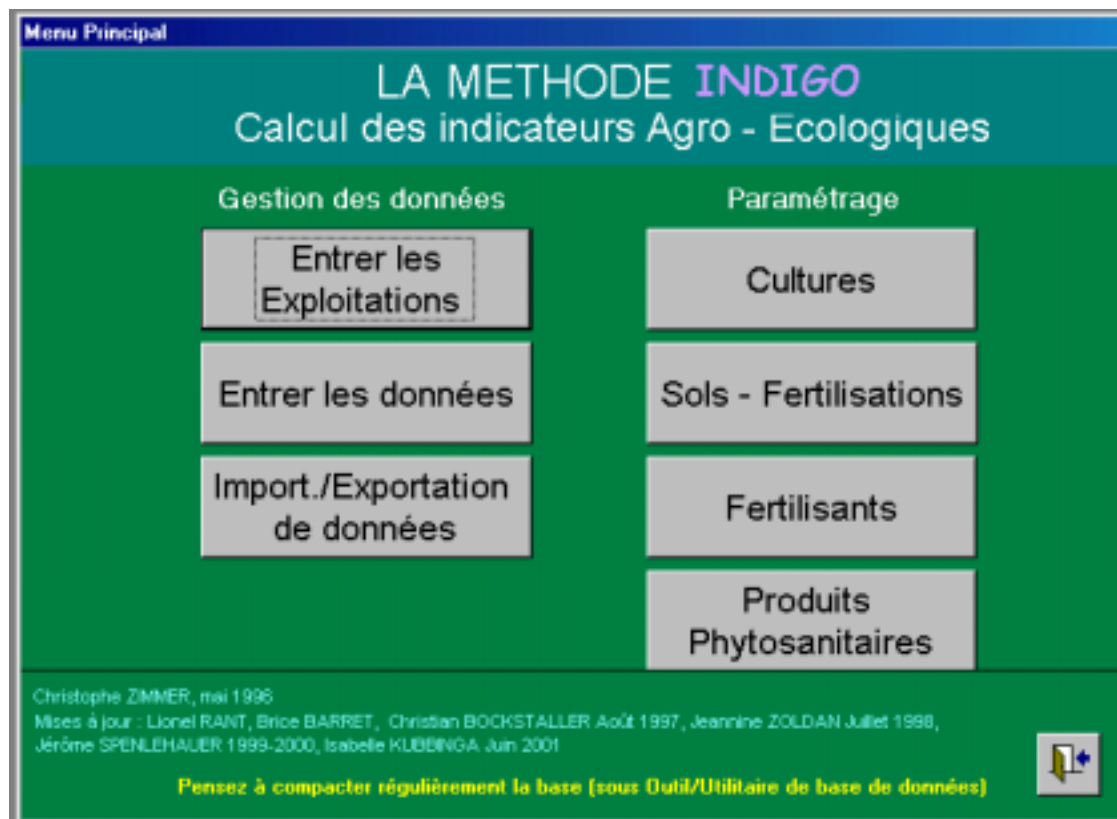


Abb. 4: Darstellung des Hauptmenus des Programms zur Berechnung der INDIGO-Indikatoren

## Allgemeine Schlussfolgerung

Dieses Projekt hatte die Anwendung des INDIGO-Verfahrens zum Ziel, das auf der Berechnung von agrar-ökologischen Kenngrößen beruht, welche in den vorangegangenen ITADA-Programmen entwickelt wurden. Diese Indikatoren, für die die auf dem landwirtschaftlichen Betrieb verfügbaren Informationen ausreichen und die keine Messungen im Felde erfordern, sollen alle Aufzeichnungen des Landwirts auswerten. Es handelt sich dabei um Evaluierungs- und nicht um Kontrollinstrumente, die dem Landwirt helfen können, über die Bewirtschaftungsmaßnahmen seines Betriebs unter agrar-ökologischen Gesichtspunkten Bilanz zu ziehen, um, unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen, diese immer weiter zu verbessern.

All diese Arbeiten haben zu einer deutlichen Verbesserung der Anwendungsbedingungen für das INDIGO-Verfahren geführt, indem sie Lösungen aufgezeigt haben für:

- Fragen grundsätzlicher (theoretischer) Natur, die im ersten Teilthema behandelt werden: Möglichkeiten und Grenzen dieses Verfahrens im Vergleich mit anderen Ansätzen (In diesem Fall das deutsche Verfahren KUL); Zusammenfassung aller Indikatoren, um über einen deskriptiven Gebrauch, Indikator für Indikator, hinaus zu kommen; Kombination mit ökonomischen Kriterien. So haben wir einen 'Relativindikator der Nachhaltigkeit' entwickelt (IDU), der auf der Grundlage aller Indikatoren berechnet wird, um die Gesamtheit der Ergebnisse zusammenzufassen, und dabei die Fallstricke, die solcher Art von Ansätzen innewohnen, weitestgehend zu vermeiden (Subjektivität der Gewichtung, Kompensationseffekte zwischen Kriterien etc.). Für die Auswahl von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf der Basis von Umwelt- (auf unseren Indikatoren aufbauend) und anderen, technischen und ökonomischen Kriterien, hat sich ein Multikriterien-Ansatz der 'Europäischen Schule' (Electre III) als interessant erwiesen. Im Vergleich zu einem Einzelindikator erlaubt dieser, gewisse Fallen, so den Vergleich von nicht vergleichbaren Kriterien, zu umgehen. Auf der anderen Seite büßen sie dafür manchmal in den dabei gebildeten Schlussklassifizierungen etwas an Lesbarkeit ein.
- praktische Aspekte, die im zweiten und dritten Teilthema behandelt werden: Ausdehnung des Anwendungsbereichs des Verfahrens auf andere Produktionssysteme; Anwendung des Verfahrens in Gebieten mit besonderen Verhältnissen (sensible Gebiete, Wasserschutzgebiete). Einer der im gegenwärtigen Kontext wichtigsten Indikatoren, der Pflanzenschutzmittelindikator, wurde verbessert und an den Weinbau angepasst, ein völlig anderes als das ursprüngliche Anwendungsgebiet des Ackerbaus und von erst-rangiger wirtschaftlicher Bedeutung.
- materielle Probleme, die mit der Umsetzung verbunden sind und im vierten Teilthema behandelt werden: Übertragung des Verfahrens auf die EDV in Form von zwei Programmen, eines für den Pflanzenschutzindikator I-Phy, das bereits im Handel erhältlich ist, und ein zweites für alle Indikatoren, das auf der Grundlage von Access an der INRA entwickelt wurde und sich durch eine ordentliche Anwenderfreundlichkeit auszeichnet, gleichwohl es noch einige Schwächen aufweist.

Bestimmte Punkte wären es Wert, noch weiter bearbeitet zu werden. So sollte das INDIGO-Verfahren noch mit weiteren Evaluierungsverfahren verglichen werden, die in Komplexität und Ansätzen ähnlich gelagert sind. Das Multikriterien-Verfahren wurde in einem Schulbeispiel (Unkrautbekämpfung in Mais) getestet und sollte noch mit anderen Daten (aus Feldversuchen oder landwirtschaftlichen Betrieben) geprüft werden. Die Ausweitung des Verfahrens auf weitere Anbausysteme ist anvisiert (z.B. Obstbau). Die Arbeiten des dritten Teilthemas konnten das ursprünglich angestrebte Ziel nicht erreichen, haben aber bestätigt, dass der Stickstoff-Indikator noch verbessert werden muss. Schließlich können auch Software-Programme immer noch weiter verbessert werden, wie man es in diesem Sektor ja allgemein beobachten kann.

Das in diesem Projekt Erreichte erlaubt jedoch, einen Einsatz dieses Verfahrens ernsthaft in Erwägung zu ziehen, sowohl auf elsässischer als auch auf badischer Seite, sobald die Übersetzungsarbeiten vollständig abgeschlossen sind. Begleitend hierzu müssen die Anwender, Berater und Techniker von Beratungseinrichtungen geschult sowie die Instrumente zur Verfügung gestellt werden.



**Anhang 1****Grenzüberschreitende Zusammenarbeit im Rahmen des Vergleichs KUL-INDIGO**

N°	Datum	Anlass	Teilnehmer/-innen	Inhalt; Ziel
1	15.10.99	erstes Projekttreffen	Bockstaller (INRA); Dr. Vetter, Recknagel, Reinsch (IfuL)	gegenseitiges Kennenlernen der Projektverantwortlichen bzw. -beteiligten
2	03.11.99	Kontaktaufnahme mit TLL Jena	Dr. Eckert (TLL Jena), Kuhhaupt (GF VAFB Jena); Reinsch (IfuL)	Kennenlernen, Präsentation des Verfahrens, Bereitstellung Fragebogen, Einweisung
3	08.11.99	Umweltausschußsitzung des BLHV Freiburg	Mitglieder und Vorsitzender (Räpple) des Umweltausschusses des BLHV; Dr. Vetter, Recknagel, Reinsch (IfuL)	Vorstellung des Projektes 1.1.2 und des Bewertungsverfahrens KUL; Aufruf zur Auswahl bzw. Nennung geeigneter Betriebe
4	17.11.99	Treffen zu agrarökologischen Indikatoren	Bockstaller (ARAA), Dr. Vetter, Recknagel, Reinsch (IfuL); Sprenger (GF Projektgruppe KulaHolo), Amann, Bäuerle (Uni Hohenheim)	Informationsaustausch mit Projektgruppe KulaHolo zu agrarökologischen Kenngrößen bzw. Umweltindikatoren
5	13.12.99	2. Projekttreffen (Projekt 1.1.2)	Bockstaller (ARAA); Reinsch (IfuL)	Abstimmung der Fragebögen und der Vorgehensweise
6	17.01.00	Auftaktveranstaltung zum Projekt 1.1.2	Bockstaller (ARAA), Blatz (INRA), Clinkspoor (ITADA); Vetter, Recknagel, Reinsch (IfuL); Landwirte des Betriebsnetzes	Einführung in die Zielsetzung des Projektes; Vorstellung des Betriebsnetzes und der Bewertungsverfahren KUL (TLL Jena) und INDIGO (INRA/ARAA)
7	26.01.00, 01.02.00	LEL Schwäbisch Gmünd, Fachl. Fortbildung „Aktuelles in der Pflanzenproduktion“	Reinsch (IfuL); Bockstaller (ARAA)	Vorträge: „Einführung i. d. Begriff `Nachhaltigkeit“ (Reinsch, 26.01 und 01.02.00) und „Ist nachhaltige Landwirtschaft meßbar?“ (Bockstaller, 01.02.00)
8	zw. 28.01.00 u. 30.03.00	Datenerhebungen	Bockstaller (ARAA) und/oder Blatz (INRA), und/oder Reinsch (IfuL)	Datenerhebung für Bewertungsverfahren INDIGO und KuL;
9	25.05.00	3. Projekttreffen	Bockstaller (ARAA), Reinsch (IfuL)	Austausch Fragebögen, Besprechung des weiteren Vorgehens
10	19.- 21.09.00	VDLUFA-Kongress in S-Hohenheim	Dr. Vetter, Reinsch (IfuL); Bockstaller (ARAA)	Teilnahme am VDLUFA-Kongress Nachhaltigkeit; Posterpräsentation (Poster Nr. 50 am 20.09.00)
11	26.09.00	Tagung Technisches Komitee des ITADA	Bockstaller (ARAA); Reinsch (IfuL)	Zwischenberichterstattung
12	14. und 30.11.00	Datenerhebungen	Reinsch (IfuL)	Datenerhebung für Bewertungsverfahren INDIGO und KuL;
13	18.12.00	Treffen im Regierungspräsidium FR	Hugger, Zahn (RP FR), Recknagel, Reinsch (IfuL), Bockstaller (ARAA)	Diskussion zur Frage der Kulturartendiversität unter bes. Berücksichtigung des Körnermaisbaus in Südbaden
14	15.01.01 17.01.01	Dateneingabe	Reinsch (IfuL); Bockstaller (ARAA)	Einführung in das Programm „aök“, Dateneingabe
15	25.01.01 13.02.01 28.03.01 10.05.01	Datenerhebung	Reinsch (IfuL)	Datenerhebung für Bewertungsverfahren INDIGO und KuL; (Daten Ernte 2000),
16	22.01.01 26.01.01 30.01.01	Dateneingabe	Reinsch (IfuL); Bockstaller (ARAA)	Dateneingabe zum Kennenlernen des Programms zu aök
17	16.02.01	Programminstallation	Bockstaller (ARAA), Reinsch (IfuL)	Installation des Programms aök am IfuL
18	09.03.01	Projekttreffen	Bockstaller (ARAA), Reinsch (IfuL)	Datenaustausch; Besprechen des weiteren Vorgehens
19	15.06.01	Projekttreffen	Bockstaller (ARAA), Reinsch (IfuL)	Auswertung der Ergebnisse, Abstimmen des weiteren Vorgehens
20	26.06.01	5. ITADA-Forum in Sissach (CH), Thema: „Nachhaltige Landwirtschaft – Kann man ökologische Leistungen messen?“	Bockstaller (ARAA), Reinsch (IfuL)	Vorträge: „Stand der Umweltbewertungsverfahren für die Landwirtschaft in Deutschland“ (Reinsch) und „Grenzüberschreitender Vergleich von zwei Indikatorenssystemen“ (Bockstaller)

## Anhang 2

### **Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft – KUL Beschreibung des Verfahrens**

KUL ist ein von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) Jena entwickeltes Umweltbewertungsverfahren zur standortspezifischen Beurteilung der wesentlich Gefährdungspotentiale in der landwirtschaftlichen Bodennutzung. Es stellt ein Umweltinformationssystem zur Schwachstellenanalyse auf einzelbetrieblicher Ebene für den Landwirt und die landwirtschaftliche Beratung dar. 1994 erstmals vorgestellt, wurde es 1998 vom VDLUFA<sup>3</sup> in einem Standpunkt-Papier „Kriterien umweltverträglicher Landwirtschaft“ vorgeschlagen. Damit wurde beabsichtigt, das Kriterienkonzept in die Betriebsberatung einzuführen.

Es werden 5 Wirkungskategorien (Gefährdungsbereiche der landwirtschaftlichen Bodennutzung) mit 22 quantifizierbaren Kriterien ausgewiesen: Zentrale Themen sind der Nährstoffhaushalt mit 9 und die Energie mit 6 Kriterien. Weitere Kategorien stellen der Bodenschutz mit 3, der Pflanzenschutz sowie die Landschafts- und Artenvielfalt mit jeweils 2 Kriterien dar.

Es werden Handlungsziele formuliert, die darin bestehen, bewirtschaftungsbedingte Belastungen in einem tolerablen Rahmen zu halten (Zielvorgabe) und es werden Toleranzbereiche (Spanne zwischen einem anzustrebenden Optimum und einer maximal tolerablen Belastung) festgelegt. Die Auswahl der Kriterien und die Lage des Toleranzbereiches tragen dem Leitbild „nachhaltige Landwirtschaft“ Rechnung, d.h. begrenzte Beeinträchtigung von Böden, Wasser, Luft und belebter Natur sowie langfristiger Erhalt der Produktivität des Standortes.

Die Auswertungsstelle (zur Zeit der VAFB<sup>4</sup>-Jena) übernimmt gebührenpflichtig die Auswertung: Ein computergestütztes Auswertungsprogramm errechnet für die einzelnen Kriterien aus den Angaben der Fragebögen die aktuellen Betriebswerte. Die Bewertung erfolgt auf Betriebsebene (Rechnung nach gesamtbetrieblicher Bilanz ohne Bilanzierung der einzelnen Parzellen; Hoftorbilanzen). Eine Aggregation der Einzelergebnisse aller Kriterien zu einem einzigen Betriebswert erfolgt nicht.

Zur Quantifizierung der Gefährdungspotentiale werden anhand der standortspezifisch vorgegebenen Toleranzbereiche Boniturnoten vergeben (1 entspricht anzustrebendem Optimum, 6 entspricht maximal tolerabler Belastung, >6 kennzeichnet für das betreffende Kriterium eine unerwünschte Situation und signalisiert Handlungsbedarf). Die Boniturnoten werden graphisch in Form einer Balkendarstellung veranschaulicht. Überschreitungen der Toleranzschwelle (Linie bei Boniturnote 6) kennzeichnen eine intolerable bzw. unerwünschte Situation.

Auf Grundlage der Ergebnisgraphik und einer Dokumentation zur Erläuterung der Kriterien und ihrer Bewertung wird ein umfassender Beratungsbericht erstellt, der die Ursachen für die vom Betrieb ausgehenden Umweltbelastungen benennt und Maßnahmen zu ihrer Abhilfe formuliert. Dadurch wird dem Landwirt ermöglicht, die mit seinem Betriebsmitteleinsatz verbundenen potentiellen Gefährdungen für Umwelt und Nachhaltigkeit zu erkennen, in tolerierbaren Grenzen zu halten und zugleich die Effizienz seiner Betriebsmittel einkommenspositiv zu verbessern. Für die landwirtschaftliche Beratung ist der Beratungsbericht die Grundlage für eine zielgerichtete, auf die speziellen Belange des Betriebes abgestimmte Beratung.

Das Verfahren KUL wurde bereits auf insgesamt ca. 175 Betrieben erprobt, wovon die Betriebe aus dem Betriebsnetz des ITADA-Projektes 1.1.2 immerhin ca. 10% ausmachen.

---

<sup>3</sup> VDLUFA:= Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten

<sup>4</sup> VAFB-Jena:= Verband für Agrarforschung und -bildung Thüringen e.V. Jena

**Anhang 3**

**Beschreibung der für den Vergleich INDIGO – KUL  
verwendten landwirtschaftlichen Betriebe  
(elsässische Betriebe)**

Betriebsnr.	4	5	7
Betriebstyp	Marktfruchtbetrieb	Marktfruchtbetrieb mit Beregnung (Monomais)	Marktfrucht-Spezialbetrieb mit Zusatzberegnung
Ort	F-Raedersheim	F-Munchhouse	F-Bischwihr
mittl. Ackerzahl	57	28	57
Niederschlag (mm)	765	577	527
LF (ha)	91,3	67,4	68,2
BF(ha)	88,0	60,9	68,2
Bodentypen	Pseudogley-Gley IU, brauner Auenboden sL	Pseudogley-Gley IU, brauner Auenboden sL	brauner Auenboden sL u L, Auenpelosol-Pseudogley IT
Tierbesatz	0	0	0
Anbauverh. 1999	Weizen (25%) Körnermais (64%)  Stillegung (W-Raps als NawaRo, 7%) Stillegung (4%)	Körnermais (Monokultur) Stillegung (Selbstbegrü- nung, 10%)	Weizen (23%) Körnermais (61%)  Raps (3%)  Sojabohnen (2 %) Stillegung (W-Raps als NawaRo, 11%)
Betriebsnummer	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>13</b>
Betriebstyp	Marktfrucht-Spezialbetrieb	Marktfruchtbetrieb	Marktfrucht-Spezialbetrieb
Ort	F-Ichtratzheim	F-Blaesheim	F-Pfettisheim
mittl. Ackerzahl	92	62	74
Niederschlag (mm)	568	619	657
LF (ha)	55,0	44,2	84,0
BF (ha)	52,4	39,9	68,1 (ohne 6,5 ha Spargel)
Bodentypen	Löss-Schwarzerde IU, brauner Auenboden tL	Tschernosem L, Parabr.erde tL, Br Auenbden sL, Gley IT	Parabraunerde-Tschernosem aus Löß in Bodenart L
Tierbesatz	0	0	0
Anbauverh. 1999	Weizen (5%) Körnermais (57%) Zuckerrüben (29%) Stillegung (W-Raps als NawaRo, 3%) Stillegung (5%)	Körnermais (66%) Weizen (14%) Weißkohl (10%)	Körnermais (Monokultur) Stillegung (12%)

**Beschreibung der für den Vergleich INDIGO – KUL  
verwendeten landwirtschaftlichen Betriebe  
(badische Betriebe)**

Betriebsnummer	14	15	16
Betriebstyp	Marktfrucht-Spezialbetrieb	Marktfrucht-Spezialbetrieb mit Bewässerung	Marktfrucht-Spezialbetrieb
Ort	D-Löffingen	D-Breisach-Hochstetten	D-March
mittl. Ackerzahl	30	45	70
Niederschlag (mm)	860	638	754
LF (ha)	186,6	87,0	161,8
BF(ha)	186,6	79,9	142,6
Bodentypen	Muschelkalkrendzinen IT; Braunerde-Pseudogley uL	Vega uL, Vega sL, Gley IT	Vega sL; Schwarzerde uL; Pseudogley sL
Tierbesatz	0	0	0
Anbauverh. 1999	Getreide (52%) W-Raps (17%) Öllein (13%) Erbsen (7%) Stillegung (Raps als Nawa-Ro; 10%)	Körnermais (69%) Weizen (12%) Raps (5%) Zuckerrüben (3%) Dauerbrache (8%)  Rotationsbrache W-Raps (2%)	Weizen (40%) Körnermais (48%) Stillegung (12%)
Betriebsnummer	17	18	20
Betriebstyp	Marktfrucht-Futterbaubetr. m. Grünlandanteil	Marktfrucht-Futterbaubetr. m. Grünlandanteil	Marktfruchtbetrieb mit Grünlandanteil
Ort	D-Müllheim-Feldberg	D-Neuenburg a. Rh.	D-Eschbach
mittl. Ackerzahl	58	55	60
Niederschlag (mm)	1006	650	687
LF (ha)	57,4	86,0	60,7
BF(ha)	57,1	77,1	52,2
Bodentypen	Parabraunerde aus Löss uL, Braunerde tL	Gley tL, braune Auenböden usL, Löss-Parabraunerde uL	Löss-Parabraunerde uL, Vega IS
Tierbesatz	0,83	0,23, davon 0,21 Rind	0
Anbauverh. 1999	Getreide (58%) Öllein (1,5%) Silomais (31%) Weinbau (9,5%) Grünland (64%)	Getreide (67%) Körnererbsen (5%) Ölfrüchte (6%) Grassamenbau (2%) Wein und Kernobst (2%) Ackerfutter (5%) Stillegung (14%)	Getreide (40%), v.a. KM Kartoffeln (30%) Zwiebeln (8%) Stillegung (15%) Grünland (6%)

**Beschreibung der für den Vergleich INDIGO – KUL  
verwendeten landwirtschaftlichen Betriebe  
(badische Betriebe)**

Betriebsnr.	21	23	25
Betriebstyp	bioland Marktfrucht-Betrieb/Legehennen	extensiver Grünlandbetrieb	extensiver Grünlandbetrieb
Ort	D-March-Buchheim	D-Vöhrenbach	D-Schonach
mittl. Ackerzahl	60	GLZ 17	GLZ 20
Niederschlag (mm)	956	1736	2110
LF (ha)	49,4	30,0	29,6
BF (ha)	43,7	30,0	29,6
Bodentypen	Löß-Parabr. sL, Auenb. L, Braunerden IS bis sL	k.A.	k.A.
Tierbesatz (GV/ha)	2500 Stück	1,24	1,52
Anbauverh. 1999	Getreide (64%) Körnerleguminosen (25%) Stilllegung (11%)	Dauergrünland (100%)	Dauergrünland (100%)
Betriebsnr.	26	27	
Betriebstyp	Veredlungsbetrieb (Schweinehaltung)	Futterbaubetr. m. Grünlandanteil, Mutterkuhhaltung	
Ort	D-Friesenheim	D-Kehl-Neumühl	
mittl. Ackerzahl	60	75	
Niederschlag (mm)	883	921	
LF (ha)	146,8	101,9	
BF (ha)	131,5	100,0	
Bodentypen	braune Auenböden sL und uL; Gley tL bis T	Gley tL bis T, braune Auenböden sL	
Tierbesatz (GV/ha)	0,92	1,43	
Anbauverh. 1999	Qualitätsweizen (7%) Körnermais (61%) CCM (21%) Stilllegung (10%)	Körnermais (48%) Silomais (38%) Weizen (3%) Stilllegung Miscanthus (7%) Stilllegung Ansaatbegrünung (4%) Grünland (50%)	<b>Abkürzungen:</b> <i>LF: Landwirtschaftl. genutzte Fläche</i> <i>BF: Bilanzfläche [=LF-Brache (Rotations- und Dauerbrache, außer wenn NawaRo auf Rotationsbrache)]</i> <i>GLZ: Grünlandzahl</i>

**Anhang 4****Ermittlung der Werte der Leistungsfähigkeitsfunktion**

Indikatorwert	Wert der gesuchten Funktion	Mit Regres- sionsglei- chung er- mittelter Wert	Bemerkungen
<b>Kulturarten- vielfalt (Ias)</b>	f(Ias)		<b><math>y = -0,2137x^3 + 3,2051x^2 - 0,8586x + 0,8741</math></b> R2 = 0,9991
0	0	1	
1	5	3	
2	10	10	
3	20	21	
4	35	35	
5	50	50	Zahlenangaben liegen nicht vor, deshalb eine lineare Abnahme um 7
6	65	65	
7	80	79	wegen fehlender Angaben 7 =75-80%
8	90	90	
9	95	97	
10	100	99	
<b>Fruchtfolge (ISC)</b>	f(ISC)		<b><math>y = -0,3240x^3 + 4,6695x^2 - 4,7511x + 1,6888</math></b> R2 = 0,9925
0	0	1	
1	5	2	
2	10	10	
3	20	22	unter 3 kommt man zu problematischen System von sehr geringer Vielfalt
4	35	37	
5	55	53	
6	70	69	6 ist noch gut
7	85	84	7 entspricht einer vielfältigen und optimierten Fruchtfolge
8	93,3	95	
9	100	100	
10	100	100	
<b>organische Substanz (IMO)</b>	f(IMO)		<b><math>y = -0,1428x^3 + 2,7127x^2 - 3,0594x + 2,7972</math></b> R2 = 0,9937
0	0	2	
1	5	3	
2	10	8	
3	15	17	
4	25	28	
5	40	40	
6	55	54	
7	70	68	In Anbetracht der für die Gehalte verwendeten Refe- renzwerte (ausreichende Werte < 3%) ist man noch weit von den besten Werten (> 3%) entfernt
8	80	80	
9	90	91	
10	100	100	

<b>Phosphor (IP)</b>	f(IP)		$y = -0,2857x^3 + 4,609x^2 - 7,9456x + 4,0839$ R2 = 0,9881
0	0	1	
1	2	0	
2	7	5	
3	13	16	
4	30	30	
5	45	46	Bei 60 kg P205 /ha Überschuss oder Unterversorgung spielt das eine Rolle
6	60	62	Bei 30 kg P205 /ha Überschuss oder Unterversorgung noch vertretbar, in Anbetracht der Streufehler etc..
7	80	77	wegen fehlender Angaben 7 =75-80%
8	90	90	
9	97	98	
10	100	100	
<b>Stickstoff (IN)</b>	f(IN)		$y = -0,2496x^3 + 4,2162x^2 - 7,4981x + 4,4755$ R2 = 0,9858
0	0	3	
1	5	2	
2	10	6	
3	15	15	
4	25	28	
5	40	42	
6	55	58	Mit 30 kg N /ha Verlustrisiko bereits grenzwertig
7	75	73	In Anbetracht der unsicheren Werte und Ertragserwartungsberechnungen gibt es noch Verbesserungsspielraum
8	90	86	
9	95	96	
10	100	101	
<b>Pflanzenschutzmittel (I-PHY)</b>	f(I-PHY)		$y = -0,2137x^3 + 3,2051x^2 - 0,8586x + 0,8741$ R2 = 0,9991
0	0	1	
1	5	3	
2	10	10	
3	20	21	
4	35	35	Zahlenangaben liegen nicht vor, deshalb eine lineare Abnahme um 7
5	50	50	
6	65	65	
7	80	79	wegen fehlender Angaben 7 =75-80%
8	90	90	
9	95	97	
10	100	99	

<b>Berechnung (Irrig)</b>	f(Irrig)		$y = -0,1428x^3 + 2,7127x^2 - 3,0594x + 2,7972$ R2 = 0,9937
0	0	2	
1	5	3	
2	10	8	
3	15	17	
4	25	28	
5	40	40	40 mm Überschuss sind viel
6	55	54	20 mm Überschuss sind grenzwertig
7	70	68	In Anbetracht der für 7 angenommenen Werte (Ersatz der ETM) kann man es noch besser machen (<ETM)
8	80	80	
9	90	91	
10	100	100	
<b>Energie (Ien)</b>	f(Ien)		$y = -0,324x^3 + 4,6695x^2 - 4,7511x + 1,6888$ R2 = 0,9925
0	0	1	
1	5	2	
2	10	10	
3	20	22	
4	35	37	
5	55	53	
6	70	69	
7	85	84	ziemlich geringer Energieaufwand (> 50 % im Vergleich zur Situation in Intensivbetrieben)
8	93,3	95	
9	100	100	
10	100	100	

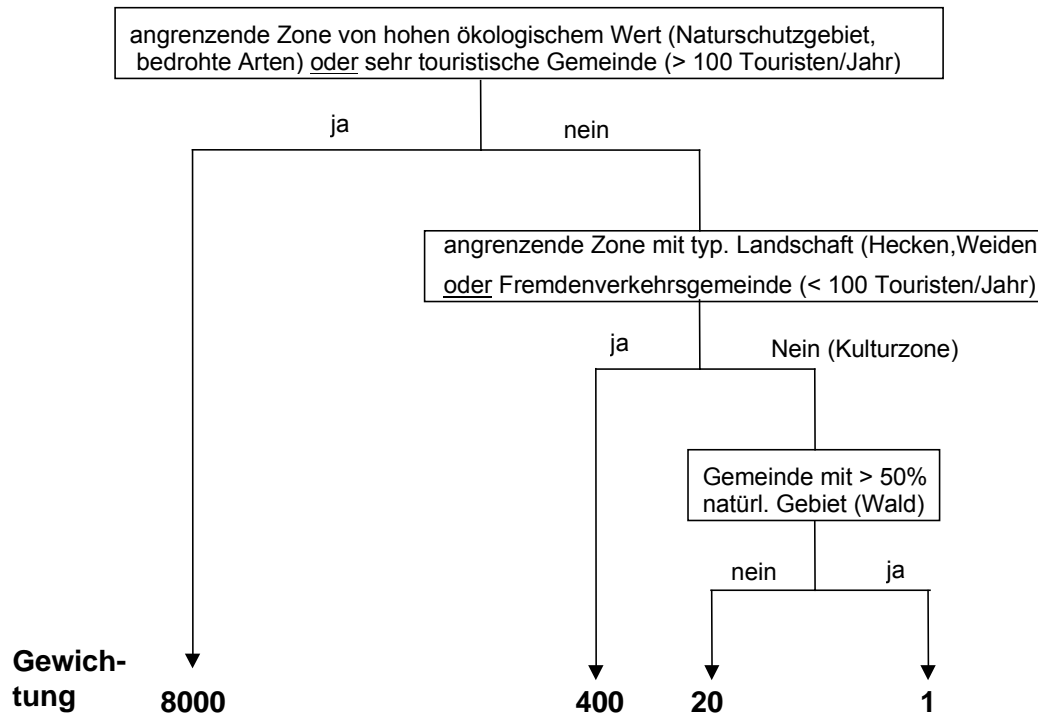


## Anhang 5

### Entscheidungsregeln für die Gewichtung der INDIGO-Indikatoren im Hinblick auf Berechnung des Relativ-Indikators der Nachhaltigkeit (IDU)

#### Indikator Kulturartenvielfalt (IAs)

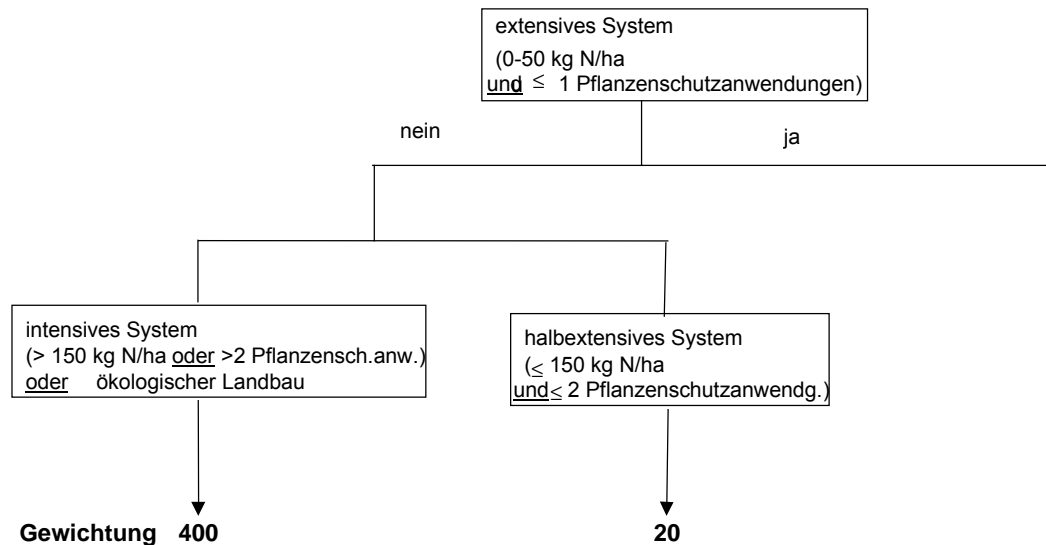
Umweltziele: Landschaftsbild  
Biodiversität



Die Gewichtung wird gewählt in Abhängigkeit von der Bedeutung der Landschaft im Umfeld des Betriebs oder dem ökologischen Wert der Umgebung (angrenzende Zone oder Gemeinde des Betriebs). In bestimmten Fällen werden beide vermengt, insbesondere bei typischen, meist traditionellen Landschaften, die eine hohe Biodiversität erhalten konnten (Baudry et al., 2000). In den Zonen des Anbaus (Acker, Gemüse) werden die Auswirkungen gedämpft, wenn es genügend nicht kultivierte Ausgleichsflächen wie z.B. Wald gibt, die von den oben genannten Kategorien nicht erfasst werden.

## Indikator Fruchtfolge (ISC)

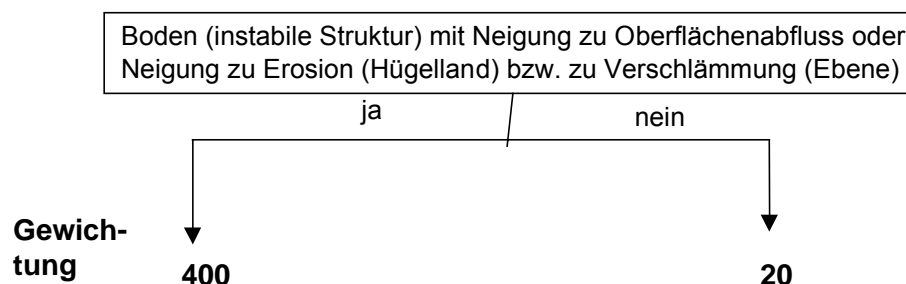
Ziel: Kohäsion des Systems



Gewichtet wird in Abhängigkeit von der Intensität des Anbausystems und der Produktionsweise. Eine gute Fruchtfolge für die Kultursysteme von zentraler Bedeutung (Debaeke et al., 1996). Ein guter innerer Zusammenhalt des Systems erlaubt die chemischen Eingriffe und die Mineraldüngung und damit die Risiken für die Umwelt bei intensiven Systemen zu begrenzen und diese Eingriffe bei biologischen Anbausystemen teilweise zu ersetzen und ein akzeptables Produktivitätsniveau sicherzustellen. Im Falle von extensiven Systemen (im dem Sinn, dass genügend Fläche zur Verfügung steht, so dass der Betriebsmitteleinsatz begrenzt bleiben kann) scheint dieser Zusammenhalt (Kohäsion) weniger wichtig zu sein.

## Indikator organische Substanz (IM0)

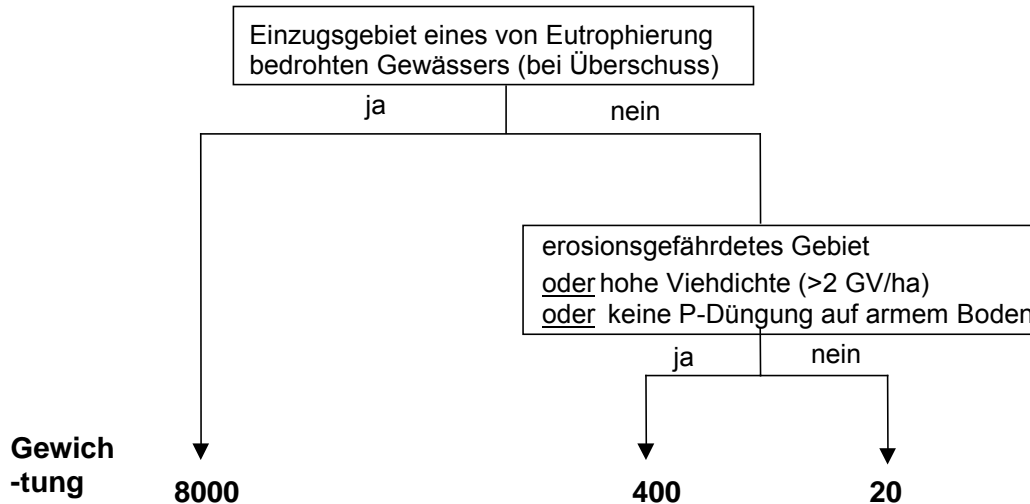
Ziele: Chemisch-physikalische Bodenqualität (s. a. «Bodenfruchtbarkeit»)



Die organische Substanz in Form von Humus wird von vielen Experten als einer der wichtigsten Faktoren für die Bodenfruchtbarkeit betrachtet (Romig et al., 1995). Dies ist aber ein schwierig zu definierender und anzuwendender Ansatz (Sebillote, 1989). Sie wird häufig als Kriterium für Nachhaltigkeit genannt (Senanayake, 1991) und konnte deshalb nicht zu gering gewichtet werden. Diese Effekte sind jedoch erst langfristig erkennbar und werden von den ausserlandwirtschaftlichen Akteuren nicht in Frage gestellt. Wir haben deshalb beschlossen, die beiden Zwischenstufen der Gewichtung, die wir unterschieden haben in Abhängigkeit von der Anfälligkeit des Bodens für physikalische Einflüsse, beizubehalten.

## Indikator Phosphor (IP)

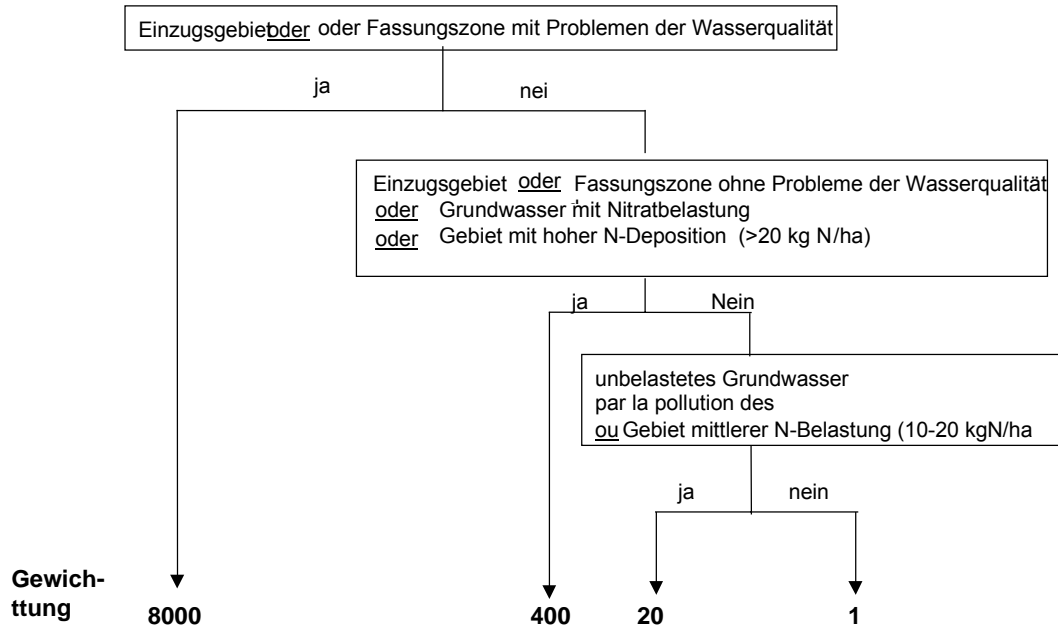
Ziele: Chemische Bodenqualität (s. a. «Bodenfruchtbarkeit»)  
Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen  
Wasserqualität (indirekt via Überschüsse)



Phosphor ist eine Komponente der Bodenfruchtbarkeit und kommt zum großen Teil aus nicht erneuerbaren Rohstoffen. Ausserdem kann er zu schwerwiegenden Problemen der Wasserqualität führen, wenn er durch Abschwemmung eingetragen wird. So kommt es zu Notfallsituationen, wenn ein See von Eutrophierung bedroht ist und gegen alle Überschüsse gekämpft werden muss (Vansteelant et al., 1997). Ein etwas niedrigeres Dringlichkeitsniveau liegt bei Gebieten mit hoher Viehdichte vor, wo es mittelfristig zu Auswaschung und Abschwemmung kommen kann, die zur Eutrophierung von Fließgewässern und Seen beitragen kann. Bei phosphatarmen Böden (auf über 50% der LN eines Betriebs) kann es mittelfristig zu Bodenfruchtbarkeitsproblemen kommen, wenn systematisch auf eine Phosphatdüngung verzichtet wird. In anderen Fällen führen Überschüsse oder Mangel (schlechte Kenngrößenwerte) zu Problemen bei nicht erneuerbaren Rohstoffen (Vorräte reichen für 50 bis 500 Jahre) (Mengel, 1997) oder bei der Bodenfruchtbarkeit. Diese Probleme sind recht schwerwiegend, so dass sie nicht geringer gewichtet werden können.

## Indikator Stickstoff (IN)

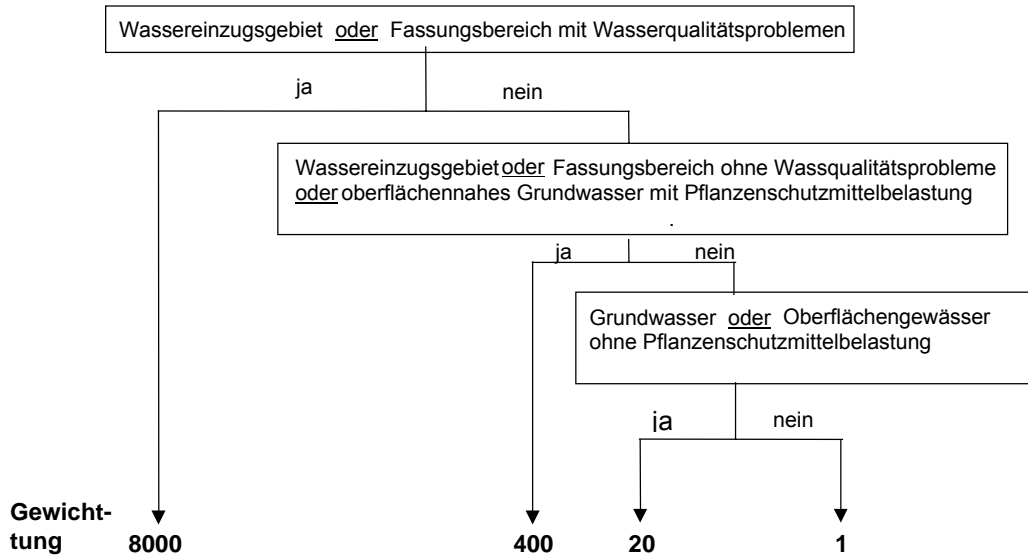
Ziele: Grundwasserqualität  
Luftqualität (NH<sub>3</sub>)



Die Gewichtung stützt sich in erster Linie auf den Zustand der Wasserqualität (Im Frankreich nördlich der Loire ist die Deposition mittelhoch, südlich davon gering (Umweltbundesamt, 1997 in Brentrup et al., 2000). Was die Qualität anlangt, so wird in Wasserfassungs- oder Einzugsgebieten mit Problemen am höchste gewichtet. In diesen klar abgegrenzten Gebieten ist die Landwirtschaft starkem Druck durch die Verantwortlichen für das Wasser ausgesetzt, das hier das wichtigere Gut ist und zu einem Hauptziel einer nachhaltigeren Landwirtschaft wird. Außerhalb dieser Gebiete behält das Nitratproblem in Gebieten mit Grundwasser seinen Stellenwert umso mehr, je mehr Probleme der Wasserqualität auftreten. Der Stellenwert ist jedoch nicht derselbe wie in den eigentlichen Fassungszonen. Für hydrologisch völlig isolierte Gebiete ohne Probleme der Deposition aus der Atmosphäre kann man die niedrigste Gewichtung vergeben.

## Indikator Pflanzenschutzmittel (I-Phy)

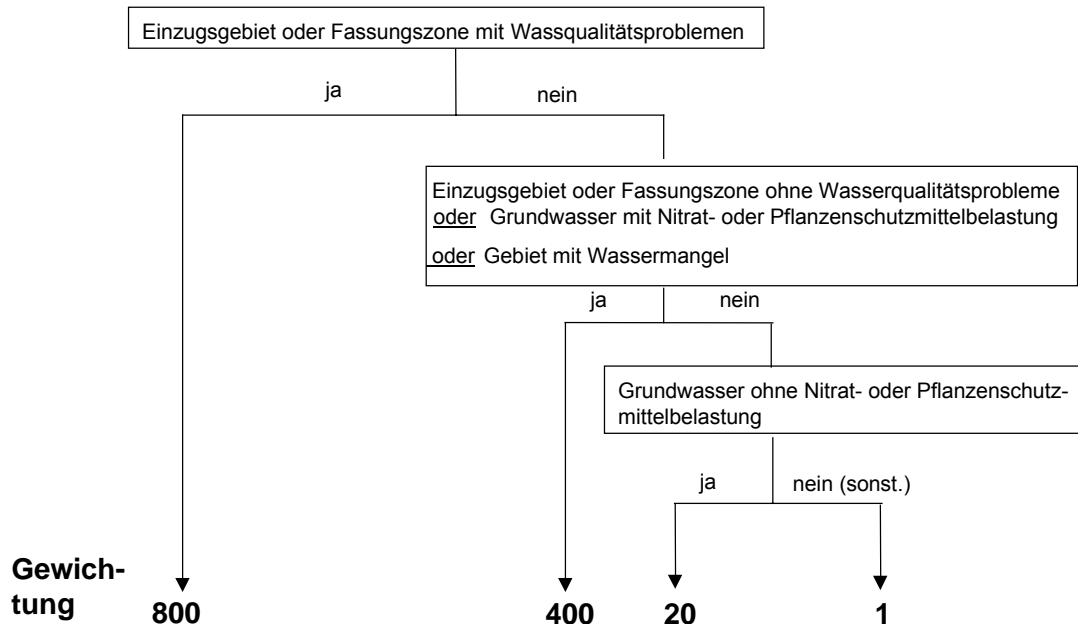
Ziele: Qualität des Grund- und Oberflächenwassers  
Luftqualität  
Wasserfauna und -flora



Die Überlegungen sind ähnlich wie beim Stickstoff. Bezüglich der Luftqualität fehlt es an Kenntnissen und systematischen Messungen. Wegen fehlendem Datenmaterial geht es nicht in die Gewichtung ein.

## Indikator Beregnung (Irrig)

Ziele: Qualität des Grundwassers  
Schonen der Wasservorräte (In der aktuellen Version des Indikators sekundär)



Nachdem Beregnung in bestimmten Fällen die Problematik der Auswaschung von Nitrat oder Pflanzenschutzmitteln ins Grundwasser verschärfen kann (Benjamin et al., 1997, Juncker-Schwing et al., 2000), erscheint es folgerichtig, die Gewichtung dieser Kenngröße an denen der beiden vorherigen (Pflanzenschutz und Nitrat) auszurichten. Hinzu kommt die Situation des Wassermangels, welche die Nachhaltigkeit dieser System in Frage stellen kann. Die Kenngröße berücksichtigt diese Situation jedoch nur unvollständig. Der Referenzwert 7 steht für eine Beregnung gemäß der Evapotranspiration (um den nutzbaren Wasservorrat wieder aufzufüllen). In einer Mangelsituation ist es jedoch oft nötig, die Beregnung auf weniger als den Ersatz der Evapotranspiration zu beschränken. Somit versehen wir diese Situation nicht mit der höchsten Gewichtung.

## Indikator Energie (Ien)

Ziele: Schonung nicht erneuerbarer Ressourcen  
Luftqualität (indirekt über die mit dem Energieverbrauch verbundenen Emissionen)

Hier berühren wir ein globales Umweltproblem. Auch wenn die Erdölreserven noch nicht zu Ende zu gehen scheinen, stellen die Emissionen infolge der Verbrennung fossiler Energieträger ein sehr aktuelles globales Problem dar. Trotzdem bleibt der Anteil der Landwirtschaft in Frankreich an der Gesamtbilanz gering im Vergleich zur Industrie und zum Verkehr (Pervanchon et al., 2001). Deshalb schlagen wir eine mittlere Gewichtung von **20** vor.

**Anhang 6****Einzelheiten der Berechnung des Indikators IDU für die untersuchten Betriebe**

Betriebsnr.	Indikator	Leistung	Gewicht	Kommentar zur Gewichtung	IDU	
4	<b>IAs</b>	4,9	49	20	Getreidesystem	
4	<b>ISC</b>	3,5	28	400	Intensivbetrieb	
4	<b>Imo</b>	5,9	50	20	Instabiler Boden in der Ebene	
4	<b>IP</b>	3,8	25	20	Sonstiges	
4	<b>IN</b>	5,6	51	400	Belastetes Grundwasser	
4	<b>IPhy</b>	6,3	69	400	Belastetes Grundwasser	
4	<b>IEn</b>	3,8	34	1		
	<b>IDU</b>					<b>49</b>
5	<b>IAs</b>	0,3	1	20	Getreidesystem	
5	<b>ISC</b>	2,6	15	400	Intensivbetrieb	
5	<b>Imo</b>	10,0	100	20	Instabiler Boden in der Ebene	
5	<b>IP</b>	4,5	36	20	Sonstiges	
5	<b>IN</b>	5,4	48	400	Belastetes Grundwasser	
5	<b>IPhy</b>	8,1	91	400	Belastetes Grundwasser	
5	<b>IEn</b>	3,2	23	1		
	<b>IDU</b>					<b>51***</b>
7	<b>IAs</b>	5,8	62	20	Getreidesystem	
7	<b>ISC</b>	3,6	30	400	Intensivbetrieb	
7	<b>Imo</b>	8,3	83	1	Stabiler Boden in der Ebene	
7	<b>IP</b>	5,1	46	20	Sonstiges	
7	<b>IN</b>	5,8	54	400	Belastetes Grundwasser	
7	<b>IPhy</b>	7,6	86	400	Belastetes Grundwasser	
7	<b>IEn</b>	3,6	29	1		
	<b>IDU</b>					<b>56</b>
10	<b>IAs</b>	5,8	62	20	Getreidesystem	
10	<b>ISC</b>	2,9	19	400	Intensivbetrieb	
10	<b>Imo</b>	5,8	48	1	Stabiler Boden in der Ebene	
10	<b>IP</b>	4,6	37	20	Sonstiges	
10	<b>IN</b>	6,4	64	20	Grundwasser ohne Probleme	
10	<b>IPhy</b>	5,2	53	400	Belastetes Grundwasser	
10	<b>IEn</b>	5,5	63	1		
	<b>IDU</b>					<b>37*</b>
11	<b>IAs</b>	5,6	60	20	Getreidesystem	
11	<b>ISC</b>	3,4	27	400	Intensivbetrieb	
11	<b>Imo</b>	6,3	55	20	Hügelland	
11	<b>IP</b>	4,9	42	20	Sonstiges	
11	<b>IN</b>	6,5	65	20	Belastetes Grundwasser	
11	<b>IPhy</b>	7,0	79	400	Belastetes Grundwasser	
11	<b>IEn</b>	4,3	41	1		
	<b>IDU</b>					<b>53</b>

Betriebsnr.	Indikator	Leistung	Gewicht	Kommentar zur Gewichtung	IDU
13	<b>IAs</b>	2,9	20	20	Getreidesystem
13	<b>ISC</b>	3,3	25	400	Intensivbetrieb
13	<b>Imo</b>	7,9	78	20	Erosionsgefährdetes Hügelland
13	<b>IP</b>	5,4	51	20	Erosionsgefährdetes Hügelland
13	<b>IN</b>	6,3	62	400	Belastetes Grundwasser
13	<b>IPhy</b>	4,4	41	400	Belastetes Grundwasser
13	<b>IEn</b>	5,9	69	1	
<b>IDU</b>					<b>43**</b>
14	<b>IAs</b>	6,9	78	400	Touristisches Gebiet
14	<b>ISC</b>	6,0	71	400	Intensivbetrieb
14	<b>Imo</b>	10,0	100	20	Erosionsgefährdetes Hügelland
14	<b>IP</b>	5,6	54	20	Erosionsgefährdetes Hügelland
14	<b>IN</b>	5,5	49	20	BV ohne Probleme
14	<b>IPhy</b>	6,9	77	20	BV ohne Probleme
14	<b>IEn</b>	3,2	24	1	
<b>IDU</b>					<b>74</b>
15	<b>IAs</b>	6,0	65	20	Getreidesystem
15	<b>ISC</b>	3,6	30	400	Intensivbetrieb
15	<b>Imo</b>	6,4	57	20	Instabiler Boden in der Ebene
15	<b>IP</b>	4,2	31	20	Sonstiges
15	<b>IN</b>	5,4	48	400	Belastetes Grundwasser
15	<b>IPhy</b>	7,9	89	400	Belastetes Grundwasser
15	<b>IEn</b>	4,0	37	1	
<b>IDU</b>					<b>55</b>
16	<b>IAs</b>	5,8	62	20	Getreidesystem
16	<b>ISC</b>	4,8	51	20	extensives bis intensives System
16	<b>Imo</b>	10,0	100	400	Erosionsgefährdetes Hügelland
16	<b>IP</b>	6,4	67	400	Erosionsgefährdetes Hügelland
16	<b>IN</b>	6,5	65	20	Grundwasser ohne Probleme
16	<b>IPhy</b>	8,4	93	20	Grundwasser ohne Probleme
16	<b>IEn</b>	6,1	74	1	
<b>IDU</b>					<b>82</b>
17	<b>IAs</b>	7,6	85	20	Getreidesystem
17	<b>ISC</b>	4,3	42	20	Système extensif à intensif
17	<b>Imo</b>	7,7	75	20	Instabiler Boden in der Ebene
17	<b>IP</b>	4,4	34	20	Sonstiges
17	<b>IN</b>	6,1	59	400	Belastetes Grundwasser
17	<b>IPhy</b>	8,3	92	400	Belastetes Grundwasser
17	<b>IEn</b>	5,8	68	1	
<b>IDU</b>					<b>74</b>
18	<b>IAs</b>	8,2	92	20	Getreidesystem
18	<b>ISC</b>	5,1	56	400	Intensivbetrieb
18	<b>Imo</b>	6,8	63	20	Instabiler Boden in der Ebene
18	<b>IP</b>	5,2	47	20	Sonstiges
18	<b>IN</b>	6,3	62	400	Belastetes Grundwasser
18	<b>IPhy</b>	8,0	90	400	Belastetes Grundwasser
18	<b>IEn</b>	5,8	68	1	
<b>IDU</b>					<b>69</b>



Betriebsnr.	Indikator	Leistung	Gewicht	Kommentar zur Gewichtung	IDU
20	<b>IAs</b>	8,0	89	20	Getreidesystem
20	<b>ISC</b>	4,8	51	400	Intensivbetrieb
20	<b>Imo</b>	2,8	12	20	Instabiler Boden in der Ebene
20	<b>IP</b>	5,3	49	20	Sonstiges
20	<b>IN</b>	6,4	64	400	Belastetes Grundwasser
20	<b>IPhy</b>	6,2	68	400	Belastetes Grundwasser
20	<b>IEn</b>	3,9	35	1	
<b>IDU</b>					<b>60*</b>
21	<b>IAs</b>	9,2	98	20	Getreidesystem
21	<b>ISC</b>	5,7	66	400	ökolog. Anbausystem
21	<b>Imo</b>	6,6	60	20	Instabiler Boden in der Ebene
21	<b>IP</b>	5,0	44	20	Sonstiges
21	<b>IN</b>	6,9	71	400	Grundwasser ohne Probleme
21	<b>IPhy</b>	10,0	99	400	Grundwasser ohne Probleme
21	<b>IEn</b>	6,8	83	1	
<b>IDU</b>					<b>68</b>
26	<b>IAs</b>	3,4	27	20	Getreidebausystem
26	<b>ISC</b>	3,0	21	400	Intensivbetrieb
26	<b>Imo</b>	5,5	44	20	Instabiler Boden in der Ebene
26	<b>IP</b>	4,0	28	20	Sonstiges
26	<b>IN</b>	5,1	43	400	Belastetes Grundwasser
26	<b>IPhy</b>	6,8	76	400	Grundwasser ohne Probleme
26	<b>IEn</b>	4,9	53	1	
<b>IDU</b>					<b>33*</b>
27	<b>IAs</b>	6,8	76	20	Getreidesystem
27	<b>ISC</b>	4,7	49	400	mittelextensives System
27	<b>Imo</b>	5,7	47	20	Instabiler Boden in der Ebene
27	<b>IP</b>	3,2	16	20	Sonstiges
27	<b>IN</b>	5,6	51	400	Grundwasser ohne Probleme
27	<b>IPhy</b>	8,8	96	400	Belastetes Grundwasser
27	<b>IEn</b>	8,1	98	1	
<b>IDU</b>					<b>70*</b>

**Anhang 7****Angaben zu den bei der Multikriterienklassifizierung verwendeten Unkrautbekämpfungsprogrammen**

Pro-gramm	Datum	Mittel	Dosis (kg, l/ha)	Kosten € / ha	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksam- keit ges.	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügell.)
P1	30/04/00	Alachlor	5						
P1	30/04/00	Atrazin	1						
P1	20/05/99	Lentagran 600	1,5						
P1	20/05/99	Atrazin	0,5						
<b>P1</b>				<b>57</b>	<b>7,0</b>	<b>6</b>	<b>8,8</b>	<b>4,2</b>	<b>3,6</b>
P2	30/04/00	Alachlor	5						
P2	30/04/00	Atrazin	1						
<b>P2</b>				<b>19</b>	<b>7,0</b>	<b>6</b>	<b>6,8</b>	<b>6,0</b>	<b>6,1</b>
P3	30/04/00	Alachlor	5						
P3	30/04/00	Atrazin	2						
<b>P3</b>				<b>22</b>	<b>7,0</b>	<b>6</b>	<b>6,8</b>	<b>5,7</b>	<b>5,9</b>
P4	30/04/99	Lagon (isoxaflutol + aclonifen)	0,24						
P4	30/04/00	Alachlor	5						
P4	30/04/00	Atrazin	1						
<b>P4</b>				<b>30</b>	<b>7,0</b>	<b>4</b>	<b>8,1</b>	<b>5,9</b>	<b>5,3</b>
P5	30/04/99	Lagon (isoxaflutol + aclonifen)	0,24						
P5	30/04/00	Alachlor	5						
P5	30/04/00	Atrazin	2						
<b>P5</b>				<b>34</b>	<b>7,0</b>	<b>4</b>	<b>8,1</b>	<b>5,7</b>	<b>5,0</b>
P6	30/04/00	Alachlor	5						
P6	30/04/00	Atrazin	0,5						
P6	20/05/99	Laddok Pro (bentazon+atrazin)	2,5						
<b>P6</b>				<b>55</b>	<b>7,0</b>	<b>6</b>	<b>9,5</b>	<b>2,9</b>	<b>3,0</b>
P7	30/04/99	Alachlor	4						
P7	30/04/99	Atrazin	1,5						
P7	30/04/99	Prowl 400 (Stomp)	2,2						
<b>P7</b>				<b>46</b>	<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>9,3</b>	<b>4,3</b>	<b>4,4</b>
P8	30/04/99	Alachlor	4						
P8	30/04/99	Atrazin	1,5						
P8	30/04/99	Prowl 400 (Stomp)	2,2						
P8	20/05/99	Atrazin	0,5						
P8	20/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	1,3						
<b>P8</b>				<b>84</b>	<b>4,0</b>	<b>6</b>	<b>9,6</b>	<b>1,8</b>	<b>1,0</b>
P9	30/04/99	Alachlor (Reihe)	4						
P9	30/04/99	Atrazin (Reihe)	1,5						
P9	25/05/99	Hacke							
<b>P9</b>				<b>36</b>	<b>2,0</b>	<b>6</b>	<b>7,5</b>	<b>8,3</b>	<b>8,4</b>
P10	30/04/99	Alachlor (Reihe)	4						
P10	29/04/99	Atrazin (Reihe)	1						
P10	10/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	0,5						
P10	25/05/99	Hacke							
<b>P10</b>				<b>39</b>	<b>2,0</b>	<b>6</b>	<b>6,2</b>	<b>7,6</b>	<b>6,9</b>

Pro- gramm	Datum	Mittel	Dosis (kg, l/ha)	Kosten € / ha	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksam- keit ges.	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügel.)
P11	30/04/99	Alachlor	4						
P11	30/04/99	Atrazin	1,5						
P11	15/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	1,25						
<b>P11</b>				<b>53</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>8,8</b>	<b>4,9</b>	<b>4,3</b>
P12	28/04/99	Indiana (pen- dimethalin + alachlor)	7						
P12	28/04/99	Atrazin	2						
<b>P12</b>				<b>60</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8,9</b>	<b>4,2</b>	<b>4,3</b>
P13	28/04/99	Arizona (pendimetha- lin+alachlor)	7						
P13	28/04/99	Atrazin	2						
<b>P13</b>				<b>55</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>8,9</b>	<b>4,3</b>	<b>4,3</b>
P14	28/04/99	Atrazin	2						
P14	28/04/99	Lasso	2,5						
P14	28/04/99	Lagon (isoxaflutol+aclonifen)	0,75						
<b>P14</b>				<b>57</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>9,6</b>	<b>5,7</b>	<b>4,9</b>
P15	28/04/99	Atrazin	2						
P15	28/04/99	Lasso	2,5						
P15	28/04/99	Merlin	0,08						
<b>P15</b>				<b>52</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>8,8</b>	<b>5,9</b>	<b>5,8</b>
P16	28/04/99	Atrazin	2						
P16	28/04/99	Akton (pendimethalin + alachlor)	5						
<b>P16</b>				<b>64</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8,9</b>	<b>4,4</b>	<b>4,3</b>
P17	28/04/99	Atrazin	2						
P17	28/04/99	Duelor S	2						
<b>P17</b>				<b>38</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>5,8</b>	<b>5,0</b>	<b>4,9</b>
P18	28/04/99	Atrazin	2						
P18	28/04/99	Duelor S (metolachlor + benoxacor)	2						
P18	20/05/99	Lentagran 600	1,5						
<b>P18</b>				<b>74</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8,8</b>	<b>4,8</b>	<b>4,0</b>
P19	10/05/99	Atrazin	1						
P19	10/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	0,7						
P19	25/05/99	Hacke							
<b>P19</b>				<b>42</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	<b>7,7</b>	<b>7,2</b>	<b>6,6</b>
P20	20/05/99	Atrazin	1,7						
P20	20/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	1,3						
P20	25/05/99	Hacke							
<b>P20</b>				<b>62</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>8,1</b>	<b>6,9</b>	<b>6,3</b>
P21	15/05/99	Atrazin	1,3						
P21	15/05/99	Lentagran 600	1						
P21	25/05/99	Hacke							
<b>P21</b>				<b>48</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>7,9</b>	<b>7,8</b>	<b>7,3</b>
P22	25/05/99	Atrazin	1						
P22	25/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	1,25						
P22	10/05/99	Atrazin	1						
P22	10/05/99	Pyron DE (pyridat+clopyralid)	1,25						
<b>P22</b>				<b>78</b>	<b>4</b>	<b>10</b>	<b>6,3</b>	<b>5,0</b>	<b>3,5</b>

Pro- gramm	Datum	Mittel	Dosis (kg, l/ha)	Kosten € / ha	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksam- keit ges.	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügel.)
P23	05/04/99	Atrazin	1						
P23	05/04/99	Capsolane	14						
P23	15/05/99	Atrazin	1						
P23	15/05/99	Lentagran 600	1						
<b>P23</b>				<b>134</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8,5</b>	<b>5,4</b>	<b>4,9</b>
P24	20/05/99	Laddok Pro (bentazon + atrazin)	3,3						
<b>P24</b>				<b>50</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>	<b>6,5</b>
P25	14/05/99	Atrazin	1						
P25	14/05/99	Mikado	0,5						
P25	14/05/99	Motivell (Milagro)	0,6						
P25	25/05/99	Hacke							
<b>P25</b>				<b>64</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>9,7</b>	<b>7,4</b>	<b>7,2</b>
P26	20/05/99	Atrazin	1,5						
P26	20/05/99	Mikado	0,75						
P26	20/05/99	Motivell (Milagro)	0,75						
P26	25/05/99	Hacke							
<b>P26</b>				<b>82</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>7,2</b>	<b>7,1</b>
P27	20/05/99	Banvel 4S	0,2						
P27	20/05/99	Mikado	0,75						
P27	20/05/99	Motivell (Milagro)	0,75						
P27	25/05/99	Hacke							
<b>P27</b>				<b>85</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>8,4</b>	<b>7,9</b>
P28	20/05/99	Banvel 4S	0,2						
P28	20/05/99	Motivell (Milagro)	1						
P28	20/05/99	Mikado	1						
P28	25/05/99	Hacke							
<b>P28</b>				<b>104</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>8,3</b>	<b>7,8</b>
P29	20/05/99	Motivell (Milagro)	1						
P29	20/05/99	Mikado	1						
P29	25/05/99	Hacke							
<b>P29</b>				<b>95</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>9,2</b>	<b>8,9</b>
P30	20/05/99	Motivell (Milagro) (Reihe)	1						
P30	20/05/99	Mikado (Reihe)	1						
P30	20/05/99	Hacke							
<b>P30</b>				<b>50</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6,0</b>	<b>9,7</b>	<b>9,6</b>
P31	20/05/99	Mikado	1						
P31	20/05/99	Lentagran 600	1						
<b>P31</b>				<b>64</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7,5</b>	<b>9,6</b>	<b>8,8</b>
P32	20/05/99	Motivell (Milagro)	1						
P32	20/05/99	Mikado	1						
<b>P32</b>				<b>76</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9,5</b>	<b>9,2</b>	<b>9,6</b>
P33	30/04/99	Spectrum (Frontière)	1,6						
P33	30/04/00	Atrazin	1,5						
P33	20/05/99	Instant (pyridat + bromoxynil)	1,5						
<b>P33</b>				<b>75</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>9,6</b>	<b>6,7</b>	<b>5,2</b>
P34	10/05/99	Spectrum (Frontière)	1						
P34	10/05/99	Mikado	1						
P34	25/05/99	Hacke							
<b>P34</b>				<b>85</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>10,0</b>	<b>9,6</b>	<b>8,9</b>

Pro- gramm	Datum	Mittel	Dosis (kg, l/ha)	Kosten € / ha	Witterungs- risiko	Phyto- toxizität	Wirksam- keit ges.	I-Phy (Ebene)	I-Phy (Hügel.)
P35	20/05/99	Instant (pyridat+bromoxynil)	1,5						
P35	20/05/99	Cato (Titus)	0,04						
P35	25/05/99	Binage							
<b>P35</b>				<b>78</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>8,9</b>	<b>7,7</b>
P36	27/04/99	Trophée (acetochlor)	4						
P36	27/04/99	Atrazin	1,5						
P36	22/05/99	Lentagran 600	1,5						
<b>P36</b>				<b>75</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>9,4</b>	<b>6,6</b>	<b>5,3</b>
P37	27/04/99	Trophée (acetochlor)	3						
P37	27/04/99	Atrazin	1,5						
P37	27/04/99	Lagon (isoxaflutol +aclonifen)	0,6						
<b>P37</b>				<b>60</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9,8</b>	<b>6,7</b>	<b>5,1</b>
P38	27/04/99	Gao (metolachlor+ benoxacor + meto- sulam)	4						
P38	27/04/99	Atrazin	1,5						
P38	22/05/99	Lentagran 600	1,5						
<b>P38</b>				<b>93</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8,1</b>	<b>4,2</b>	<b>3,3</b>
P39	27/04/99	Gao (metolachlor + benoxacor + meto- sulam)	3						
P39	27/04/99	Merlin	0,06						
P39	27/04/99	Atrazin	1,5						
<b>P39</b>				<b>67</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>8,2</b>	<b>4,6</b>	<b>4,1</b>
P40	27/04/99	Duelor S (metola- chlor+benoxacor)	2						
P40	27/04/99	Atrazin	1,5						
P40	20/05/99	Eclat	0,4						
<b>P40</b>				<b>64</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>10,0</b>	<b>4,2</b>	<b>3,6</b>
P41	27/04/99	Duelor S (metolachlor + benoxacor)	2						
P41	27/04/99	Atrazin	1,5						
P41	20/05/99	Cambio (bentazon+dicamba)	2,5						
<b>P41</b>				<b>70</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9,4</b>	<b>2,5</b>	<b>2,3</b>
P42	27/04/99	Terrano (Diplôme)	1						
P42	27/04/99	Atrazin	1,5						
<b>P42</b>				<b>54</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>6,3</b>	<b>6,6</b>	<b>6,1</b>
P43	27/04/99	Spectrum (Frontière)	1,3						
P43	27/04/99	Atrazin	1,5						
P43	27/04/99	Merlin	0,075						
<b>P43</b>				<b>69</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>9,2</b>	<b>7,7</b>	<b>6,9</b>
P44	27/04/99	Atrazin (Reihe)	1,5						
P44	27/04/99	Spectrum (Frontière) (Reihe)	1,3						
P44	27/04/99	Merlin (Reihe)	0,075						
P44	25/05/99	Binage							
<b>P44</b>				<b>56</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>8,2</b>	<b>9,1</b>	<b>8,8</b>
P45	27/04/99	Atrazin (Reihe)	1,5						
P45	27/04/99	Alachlor (Reihe)	4						
P45	27/04/99	Merlin (Reihe)	0,075						
P45	25/05/99	Hacke							
<b>P45</b>				<b>51</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>9,1</b>	<b>8,3</b>	<b>8,3</b>