UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 200 71 247
UBA-FB 000341

Texte
71/02
ISSN
0722-186X

# Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung

von

**Dr. Markus Erhard**[1)]
**Dipl.-Ing. Agr. Carsten Everink**[2)]
**Dipl.-Ing. Agr. Christian Julius**[2)]
**Dipl.-Ing. Agr. Peter Kreins**[2)]

und unter Mitarbeit von

**Dipl. Geoökol. Diana Sietz**[1)]
**Cand. rer. nat. Jeannette Meyer**[1)]

[1)]Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V:

[2)]Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie Bonn

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
**Vorauszahlung von 10,00 €**
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

*Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der*
*Postbank Berlin (BLZ 10010010)*
*Fa. Werbung und Vertrieb,*
*Ahornstraße 1-2,*
*10787 Berlin*

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: http://www.umweltbundesamt.de

Redaktion: Fachgebiet II 5.2
Michael Hüllenkrämer
Dr. Frank Glante

Berlin, Dezember 2002

Berichts-Kennblatt

| | | |
|---|---|---|
| 1. Berichtsnummer<br>UBA-FB | 2. | 3. |
| 4. Titel des Berichts<br>Bundesweite Betrachtung der Zusammenhänge zwischen Agrarstatistikdaten und aktuellen Daten zur Bodennutzung | | |
| 5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)<br>Erhard, Markus; Everink, Carsten; Julius, Christian; Kreins, Peter, Sietz, Diana; Meyer, Jeannette | | 8. Abschlussdatum<br>Oktober 2001 |
| | | 9. Veröffentlichungsdatum |
| 6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)<br>Potsdam Institut für Klimafolgenforschung e.V.<br>Telegrafenberg<br>D-14473 Potsdam | | 10. UFOPLAN-Nr.<br>200 71 247 |
| | | 11. Seitenzahl<br>125 |
| 7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)<br>Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin | | 12. Literaturangaben<br>72 |
| | | 13. Tabellen und Diagramme<br>15 |
| | | 14. Abbildungen<br>30 |
| 15. Zusätzliche Angaben | | |


16. Zusammenfassung

Die Kenntnis der aktuellen Landnutzung ist wichtig für die Abschätzung nutzungsbedingter Gefährdungspotentiale des Schutzgutes Boden. Für eine Abschätzung von Risiken wurden Agrarstatistikdaten mit Datensätzen der Landbedeckung und der Bodeneigenschaften verknüpft. Als Ergebnis liegen digitale Karten der Bodennutzung auf Bundesebene vor, die für Bewertungen der Erosionsgefährdung durch Wasser, der Nährstoffbilanzen, des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und der Verdichtungsgefährdung verwendet wurden. Das höchste Abtragsrisiko weisen die Gebiete der Mittelgebirge auf. Die Verdichtungsgefährdung ist für Böden auf Festgesteinen und Flächen mit einem hohen Anteil an Hackfrüchten am stärksten. Die Ergebnisse der Stickstoffbilanzierungen ergaben eine Verlagerung der Schwerpunkträume der Bilanzüberschüsse in den letzten 20 Jahren, bei einem insgesamt abnehmenden Trend der Belastung. Die höchsten Belastungen konzentrieren sich auf einige Landkreise, die hauptsächlich in Nord- und Südwestdeutschland zu finden sind. Die Überschüsse bei Kalium und Phosphor zeigen ein ähnliches räumliches Muster wie der Stickstoff. Eine Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmittel ist derzeit auf dieser Maßstabsebene noch nicht möglich. Der Indikator der monetären Aufwendungen erlaubt keine Einschätzung der eingesetzten Substanzen und damit keine Bewertung des Risikos. Trotz teilweise noch nicht optimaler Datengrundlagen ist es, mit Ausnahme der pflanzenschutzmittelbezogenen Indikatoren, in jedem der untersuchten Fälle möglich, relative Trends der Wirkung von Änderungen der Landnutzung und der Bewirtschaftung zu berechnen und in ihrer Wirkung zu bewerten.



17. Schlagwörter

Agrarstatistik Erosion Bodenzustand Bodenschutz Bodenschutzgesetz


| | | |
|---|---|---|
| 18. Preis | 19. | 20. |

Report Cover Sheet

| | | |
|---|---|---|
| 1. Report No.<br>UBA-FB | 2. | 3. |
| 4. Report Title<br>Coherence of Agricultural Statistics and Current Land-Use Data in Germany | | |
| 5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s)<br>Erhard, Markus; Everink, Carsten; Julius, Christian;<br>Kreins, Peter; Sietz, Diana; Meyer, Jeannette | 8. Report Date<br>October 2001 | |
| | 9. Publication Date | |
| 6. Performing Organisation (Name, Address)<br>Potsdam Institute for Climate Impact Research<br>Telegrafenberg<br>D-14473 Potsdam | 10. UFOPLAN-Ref. No.<br>200 71 247 | |
| | 11. No. of Pages<br>125 | |
| 7. Funding Agency (Name, Address)<br>Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency)<br>Postfach 33 00 22, 14191 Berlin | 12. No. of Reference<br>72 | |
| | 13. No. of Tables, Diagrams<br>15 | |
| | 14. No. of Figures<br>30 | |
| 15. Supplementary Notes | | |

16. Abstract

Detailed information about current land use are very important for estimating soil related hazards due to land management. For estimating potential risks statistical land-cover and soil data were combined. As result digital maps of current land-use in high spatial resolutions are available for the area of Germany. These maps were used to evaluate potential damages due to water erosion, soil compaction, nutrient surplus and application of pesticides on arable land. Results show areas with high rates of erosion, soil compaction and nutrient surplus which are different for each risk potential. Highest erosion rates can be found in the low mountain ranges. Risk of soil compaction is highest for soils on solid rock and areas where large parts of arable land are used to grow tuber crops. Calculations of nitrogen budgets on cultivated land show a major change in areas affected by high nitrogen surplus within the last twenty years in combination with a general decrease in the absolute amounts as well. Highest rates can be found in counties in northwestern and southwestern Germany. Spatial patterns of potassium and phosphorus surplus are quite the same compared to nitrogen. Risks due to the application of pesticides can not be evaluated at this spatial scale yet. The amount of money spent for pesticides per county and area of arable land is not a feasible indicator for estimating and evaluating the risks which might rise from the chemical substances which are applied. Except for pesticides and despite deficiencies in data, relative trends in the impact of land-use changes and land management can be evaluated for all indicators. Quality of the calculations is feasible for monitoring and reporting.

17. Keywords

Agricultural statistics, Erosion, Soil condition, Soil conservation, Soil conservation act

| | | |
|---|---|---|
| 18. Price | 19. | 20. |

Report Cover Sheet 06/2000

# Inhaltsverzeichnis


1. Einleitung 15

1.1 Veranlassung 15

1.2 Ziele 17

1.3 Vorgehensweise 17

2. Aufbau der Datengrundlagen 19

2.1 Konsistenzprüfung der Agrarfachstatistiken 20

2.1.1 Bodennutzungshaupterhebung: Kulturartenumfänge landwirtschaftlicher Betriebe 20

2.1.1.1 Gesetzliche Grundlage 20

2.1.1.2 Erhebungsprogramm 21

2.1.1.3 Erhebungseinheiten 21

2.1.1.4 Erhebungsprinzip 22

2.1.2 Flächenerhebung: Tatsächliche Flächennutzung in der Region 22

2.1.2.1 Gesetzliche Grundlage 23

2.1.2.2 Erhebungsgrundlage 23

2.1.2.3 Erhebungsprinzip 23

2.1.2.4 Aktualisierung der Erhebungsgrundlage und Differenzierungsgrad 23

2.1.3 Synoptische Gegenüberstellung der Flächenerhebung und der Bodennutzungshaupterhebung 24

2.2 Verschneidung der Basiskarten 26

2.3 Generierung der Landbedeckungskarte 28

2.3.1 Abgleich Flächenerhebung gegen CORINE Landbedeckung 28

2.3.2 Übertragung der Bodennutzungshaupterhebung auf die Landbedeckungsklasse „Acker“ 32

2.4 Abschätzung von Gefährdungspotentialen 34

2.4.1 Bodenerosion durch Wasser 34

2.4.2 Bodenverdichtung 42

2.4.3 Nährstoffbilanzierung auf landwirtschaftlichen Flächen 44

2.4.3.1 Ermittlung von Nährstoffüberschüssen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen anhand des im RAUMIS implementierten Umweltindikators „Nährstoffbilanzen“ 45

2.4.3.2 Vergleich von Aufbau und Ergebnissen der Nährstoffbilanzierung des Modellsystems RAUMIS mit anderen Studien 47

2.4.4 Analyse des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen 51

2.4.4.1 Berechnung des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes auf Kreisebene für die BRD im RAUMIS 51

2.4.4.2 Möglichkeiten der Zuweisung einzelner Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zu den landwirtschaftlichen Kulturarten 52

3. Ergebnisse 56

3.1 Konsistenzprüfung der Agrarfachstatistiken 56

3.1.1 Berücksichtigung von Gebietsstandsänderungen 56

3.1.2 Divergierende Vorgehensweise bei den Datenerhebungen und daraus resultierende Einschränkungen beim Datenvergleich 57

3.1.3 Vergleich der Landwirtschaftsfläche (FlEhe) und der landwirtschaftlich genutzten Fläche (BoHe) 59

3.1.4 Erklärungsbeiträge der untersuchten Erklärenden zu den regionalen Unterschieden zwischen den Flächenstatistiken 61

3.1.5 Vergleich der Acker- und Grünlandflächen der Bodenutzungshaupterhebung und der Flächenerhebung 63

3.2 Generierung der Landbedeckungskarte 64

3.3 Abschätzung der Gefährdungspotentiale 68

3.3.1 Erosion durch Wasser 69

3.3.2 Bodenverdichtung 79

3.3.3 Nährstoffbilanzen 81

3.3.3.1 Stickstoff 81

3.3.3.2 Phosphor 85

3.3.3.3 Kalium 87

3.3.4 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln 88

4. Diskussion 90

5. Zusammenfassung 96

6. Summary 97

7. Literatur 98

8. Danksagung 104

9. Anhang 105

Verzeichnis Anhang 105

# Verzeichnis der Abbildungen


Abb. 1: Arbeitsschema des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens 18

Abb. 2: Schema der Berechnung der C-Faktoren 41

Abb. 3: Fließschema der vollständigen nationalen Mineralbilanz für die Landwirtschaft nach PARCOM - Richtlinie (nach Bach et al. 1997, S.13) 44

Abb. 4: Positionen der Nährstoffbilanzierung im Modellsystem RAUMIS (nach Bach et al. 1997, S. 13 verändert) 46

Abb. 5: Relative Abweichung der landwirtschaftlich genutzten Fläche (1995) von der Landwirtschaftsfläche (1997) auf Kreisebene (sortiert) in der Bundesrepublik Deutschland 59

Abb. 6: Vergleich der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Bodennutzungshaupterhebung 1995 mit der Landwirtschaftsfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland 60

Abb. 7: Vergleich der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Bodennutzungshaupterhebung 1999 mit der Landwirtschaftsfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland 61

Abb. 8: Vergleich der Dauergrünlandfläche der Bodennutzungshaupterhebung 1999 mit der Grünlandfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland 63

Abb. 9: Vergleich der Landbedeckungsklassen in Abhängigkeit von der räumlichen Auflösung und der Umwidmung. 66

Abb. 10: Prozentuale Abweichung zwischen Flächenerhebung und CORINE für die Klassen Ackerland und Wald in Abhängigkeit von der Größe des Landkreises 67

Abb. 11: Mittleres jährliches Bodenabtragsrisiko pro Landkreis (in t/ha) 70

Abb. 12: Mittleres jährliches Bodenabtragsrisiko pro Landkreis aufsummiert entsprechend der Ackerfläche 70

Abb. 13: Mittlerer Regenerosivitätsfaktor der Ackerflächen pro Landkreis berechnet aus der Isoerodentenkarte nach Sauerborn (1994) 73

Abb. 14: Hanglängen- und Hangneigungsfaktor (LS-Faktor) abgeleitet aus dem 1 x 1 km Höhenmodell (siehe auch Anhang 11) 73

Abb. 15: Mittlerer Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) pro Landkreis (Daten BGR) 75

Abb. 16: Potentielles jährliches Abtragsrisiko pro Landkreis als Produkt der LS, R, und K-Faktoren. Der P- und C-Faktor wurde gleich 1 gesetzt (siehe auch Tab. 14). 75

Abb. 17: Mittlere Bodenbedeckung C-Faktor unter konventioneller Bewirtschaftung 76

Abb. 18: Anteile der verschiedenen Kulturartengruppen an der Anbaufläche pro Bundesland (ohne Stadtstaaten) als indirektes Maß für die Fruchtfolge (Daten: Bodennutzungshaupterhebung 1999), Aus Gründen der Darstellung wurden die Werte über die Bundesländer gemittelt. 77

Abb. 19: Bodenbedeckung (C-Faktor) unter bodenschonender Bewirtschaftung 78

Abb. 19: Vorbelastungsstufen nach DIN 19688 der Bodeneinheiten der BÜK1000 (Daten: BGR) 80

Abb. 20: Verdichtungsgefährdung der Ackerflächen pro Landkreis, abgeschätzt aus der Summe von Vorbelastungsstufe und Spurflächensumme der jeweiligen Kulturart. 80

Abb. 22: Veränderung der N-Bilanzsalden im Zeitraum von 1979 bis 1987 und 1987 bis 1999 82

Abb. 23: Darstellung des Stickstoffbilanzüberschüsses auf Kreisebene im Jahr 1999 83

Abb.24: Menge des auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten organischen Düngers im Jahr 1999 84

Abb. 25: Prozentualer Anteil der Ackerfläche an der gesamten Landwirtschaftsfläche im Jahr 1999 85

Abb.26: Darstellung des Phosphorbilanzüberschusses auf Kreisebene im Jahr 1999 86

Abb. 27: Darstellung der Großvieheinheiten pro Hektar LF auf Kreisebene 87

Abb. 28: Darstellung des Kaliumbilanzüberschusses sowie der Großvieheinheiten pro ha auf Kreisebene im Jahr 1999 88

Abb. 29: Durchschnittliche monetäre Aufwendung für Pflanzenschutzmittel / ha und Jahr auf Kreisebene in der BRD 89

Abb. 30: Prozentualer Flächenanteil pflanzenschutzintensiver Produktions-verfahren (Rebland, Obst, Gemüse) an der gesamten Landwirtschaftsfläche je Kreis 89

# Verzeichnis der Tabellen


Tab.1: Synoptische Gegenüberstellung der Flächenerhebung und der Bodennutzungshaupterhebung 25

Tab. 2: Übersicht über die verwendeten Datensätze und ihre wichtigsten Merkmale 27

Tab. 3: Mögliche und verwendete Kriterien für eine Flächenumwidmung (nach Zebisch & Kenneweg 2001) 29

Tab. 4: Arbeitsschritte der Flächenumwidmung (siehe auch Anhang 6) 31

Tab. 5: m-Werte aus Schwertmann et al. (1987) 37

Tab. 6: P –Faktoren für Kontur- und Streifennutzung aus Schwertmann et al. (1987) 38

Tab. 7: Beginn der Kulturperiode in % der Vegetationszeit. Die Werte in Klammern geben die mittleren Tage im Jahr für das Bundesland Bayern an (nach Schwertmann et al. 1987) ergänzt mit Phänologiedaten des DWD (DWD 2001). 40

Tab. 8: Relativer Bodenabtrag pro Kulturperiode und Kulturartengruppe für konventionelle (fett) und bodenschonende Bewirtschaftungsweise (aus Schwertmann et al. 1987) 42

Tab. 9: Spurflächensumme aller Radpassagen in % innerhalb einer Produktionsperiode für typische Produktionspraxis in Bayern (aus Zapf 1997) 43

Tab. 10: Positionen der Nährstoffbilanz im Modellsystem RAUMIS für N, P und K (nach Henrichsmeyer et al. 1996, S. 177 verändert) 46

Tab. 11: Vergleich der Berechnung einzelner Positionen einer Nährstoffbilanzierung anhand von drei verschiedenen Modellen 48

Tab. 12: Ergebnis der Flächenumwidmung der auf 250 x 250m gerasterten CORINE Karte und prozentuale Abweichungen der CORINE Karte im Verhältnis zu den Daten der Flächenerhebung 66

Tab. 13: Zusammenstellung der verwendeten Faktoren (siehe auch Kap. 2.4.2) 69

Tab. 14a: Mittelwerte (Mw.), Standardabweichung (Std.), Minimum (Min.) und Maximum (Max.) der Werte des Abtragsrisikos für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (siehe auch Tab. 13) 72

Tab. 14b: Mittelwerte (Mw.), Standardabweichung (Std.), Minimum (Min.) und Maximum (Max.) der Einzelfaktoren der ABAG sowie das potentielle Abtragsrisiko für die Ackerflächen und das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (siehe auch Tab. 13) 72

Tab. 15: Für die Abschätzung der Verdichtungsgefährdung verwendete Werte der Spurflächensummen. 79

# Verzeichnis der Einheiten und Abkürzungen

| | |
|---|---|
| a | Jahr |
| ABAG | Allgemeine Bodenabtragsgleichung |
| Abb. | Abbildung |
| aBL | alte Bundesländer |
| AdV | Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland |
| AgrStatG | Agrarstatistikgesetz |
| ALK | Automatisiertes Liegenschaftskataster |
| Ant_AfKf | Anteil der Ackerflächen an der gesamten Kreisfläche |
| Ant_LfKf | Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Kreisfläche |
| Ar | Ar = 0,01 Hektar = 100 Quadratmeter |
| ATKIS | Amtliches Topographisch Kartographisches Informationssystem |
| BAD | Bundesarbeitskreis Düngung |
| BBA | Biologische Bundesanstalt |
| BFN | Bundesamt für Naturschutz |
| BGBl | Bundesgesetzblatt |
| BGR | Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe |
| BKG | Bundesamt für Kartographie und Geodäsie |
| BML | Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten |
| BMU | Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit |
| BMVEL | Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft |
| BoHe | Bodennutzungshaupterhebung |
| BRD | Bundesrepublik Deutschland |
| Btr<2ha | Anteil der kleinen Betriebe bis 2 Hektar an der Gesamtzahl der Betriebe |
| BÜK1000 | Bodenübersichtskarte 1:1.000.000 |
| CORINE | Coordination of Information of the Environment |
| d.h. | das heißt |
| DIN | Deutsche Industrienorm |
| DLM1000 | Digitales Landschaftsmodell 1:1.000.000 |
| DRIP | Drainage- and Runoff- Input of Pesticides in Surface Waters from Agricultural land-use |
| DVO | Düngeverordnung |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |

| | |
|---|---|
| eh. | ehemalig |
| ESRI | Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung mbH |
| EU | Europäische Union |
| EUROSEM | European Soil Erosion Modell |
| FAA | Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie |
| FlEhe | Flächenerhebung |
| FlEhePlan | Flächenerhebung der geplanten Nutzung |
| fw. | forstwirtschaftliche |
| GIS | Geographisches Informationssystem |
| GLA | Geologisches Landesamt |
| GTOPO30 | Global 30 Arc Second Elevation Data |
| ha * a | Hektar und Jahr |
| ha | Hektar |
| IAP | Institut für Agrarpolitik, Bonn |
| IfLS | Institut für ländliche Strukturforschung, Frankfurt a. M. |
| ILL | Institut für Länderkunde Leipzig |
| K | Kalium |
| k.A. | keine Angabe |
| KA4 | Bodenkundliche Kartieranleitung 4. Auflage |
| Kap. | Kapitel |
| kg | Kilogramm |
| LAWA | Länderarbeitsgemeinschaft Wasser |
| LF | landwirtschaftlich genutzte Fläche |
| lw. | landwirtschaftliche |
| m | Meter |
| Mio. | Million |
| mm | Millimeter |
| MONERIS | Modelling Nutrient Emissions in River Systems |
| mündl. Mitt. | mündliche Mitteilung |
| N | Stickstoff |
| NEPTUN | Netzwerk zur Ermittlung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands |
| nFK | nutzbare Feldkapazität |
| NIBIS | Niedersächsischen Bodeninformationssystems |
| OECD | Organisation for Economic Cooperation and Development |
| P | Phosphor |
| PARCOM | (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung |

| | |
|---|---|
| PESERA | Pan Eurpean Soil Erosion Risk Assessment |
| PIK | Potsdam Institut für Klimafolgenforschung |
| RAUMIS | Regionalisiertes Agrar- und Umweltinformationssystem |
| RBA | relativer Bodenabtrag |
| Rel_BoheFlEhe | Prozentuale Relation zwischen Bodennutzungshauterhebung (Bohe) zu Flächenerhebung (FlEhe) |
| RRA | Relativer Regenerosivitätsanteil im Jahr |
| s.a. | siehe auch |
| SFB | Sonderforschungsbereich |
| SRU | Rat von Sachverständigen für Umweltfragen |
| StBA | Statistisches Bundesamt |
| SWIM | Soil and Water Integrated Model |
| t | Tonne |
| Tab. | Tabelle |
| u.a. | unter anderen |
| UBA | Umweltbundesamt |
| US | United States |
| WEPP | Water Erosion Prediciton Project |
| z.B. | zum Beispiel |

# 1. Einleitung

## 1.1 Veranlassung

Voraussetzung für eine Erfassung und Bewertung umweltrelevanter Auswirkungen landwirtschaftlicher Produktion ist eine möglichst detaillierte Kenntnis der aktuellen Bodennutzung und -bewirtschaftung. Dies betrifft speziell die Belange des Bodenschutzes, wie die Quantifizierung des Bodenabtrags, der Bodenbelastung und der diffusen Stoffeinträge in Grund- und Oberflächengewässer, sowie die Quantifizierung der Emissionen von Treibhausgasen. Des weiteren ist die Bodennutzung für die Bewertung der Wirkungen von Bewirtschaftungsmaßnahmen von Bedeutung. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch deren zeitliche Dynamik, verursacht durch Änderungen in den Rahmenrichtlinien der Förderpolitik (z.B. BML 2000) oder der Nachfrage auf dem Weltmarkt. Dies bildet die Grundlage für die Erarbeitung und Überprüfung von Richtlinien für eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen Boden und Wasser, die Überprüfung von Umweltstandards und Umweltqualitätszielen, die Ableitung von Umweltindikatoren und von Handlungsmaßnahmen, sowie für die Berichterstattung im Rahmen internationaler Richtlinien (z.B. Europäische Union (EU) und Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)). Gegenwärtig erlangt dieser Umstand durch die in der Abstimmung befindliche Novellierung des Bundesnaturschutzgesetzes, bei der über eine neue, umweltbetontere Definition der guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft nachgedacht wird, an zusätzlicher Bedeutung (BMU 2001).

Bei einer Betrachtung landwirtschaftlich bedingter Umweltwirkungen spielt die Definition der guten fachlichen Praxis eine bedeutende Rolle. So wird der Begriff sowohl im Düngemittelgesetz als auch in der Düngeverordnung genutzt, um Art und Menge von Nährstoffen, sowie den Zeitpunkt der Ausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen vorzugeben. Gleiches gilt für die Rahmenbedingungen, die das Pflanzenschutzgesetz für die Aufwendung von Pflanzenschutzmitteln festschreibt.

In seinem Umweltgutachten 2000 kritisiert der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU), „dass das geltende Bundes-Bodenschutzgesetz den Behörden keine Vollzugsmöglichkeit an die Hand gibt, um die Grundsätze der guten fachlichen Praxis und damit Vorsorgemaßnahmen bei der landwirtschaftlichen Bodennutzung zwangsweise durchsetzen zu können, sofern sich ein Landwirt im Einzelfall über die gute fachliche Praxis hinwegsetzt“ (SRU 2000, S. 238). Seine Kritik macht der SRU an verschiedenen Beispielen deutlich. So wird der Grund für eine zunehmende Tiefenverlagerung erhöhter Nitratgehalte nicht alleine in Versauerungspro-

zessen, sondern gleichfalls in einer nicht standortangepassten Bearbeitung und Nutzung der Böden gesehen. Des Weiteren wird darauf hingewiesen, dass laut Wasserwirtschaftsbericht 1999 die Nitratkonzentrationen der Fließgewässer nach wie vor unverändert hoch ausfallen und dass der Haupteintrag aus diffusen Quellen erfolgt. Anhand der Karte der Güteklassifikation von Nitrat lässt sich feststellen, dass nur an wenigen Messstellen die Zielvorgabe der Güteklasse II erreicht wird. Die Belastung durch Nitrat wird zu 50% landwirtschaftlichen Quellen zugeschrieben (SRU 2000, S. 266).

Auch im Bereich des Grundwassers ist die Situation nach wie vor unbefriedigend. Hier ist die Nitrat-Belastung nach Angaben des UBA (1997) zu 90% durch landwirtschaftliche Einträge verursacht.

Bei einer Betrachtung landwirtschaftlich bedingter Umweltwirkungen durch Pflanzenschutzmittelaufwendungen wurden nach einer Studie des Umweltbundesamtes und der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für etwa 10% aller Messstellen Überschreitungen des Trinkwassergrenzwertes von 0,1 µg/l für einzelne Wirkstoffe festgestellt (UBA 1998). Der Hauptgrund für Einträge in Fließgewässer wird hierbei nicht in einer unsachgemäßen Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln auf landwirtschaftlichen Flächen gesehen, sondern vielmehr in der Einleitung aus Hofabläufen (Reinigung der Feldspritze auf dem Hofgelände) vermutet (SRU 2000; siehe hierzu auch Bach et al. 2000 und Fischer 1996).

Vor diesem Hintergrund soll die hier vorliegende Studie dazu dienen, weitere Informationen über Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelaufwendungen in der Landwirtschaft darzustellen und bewerten zu helfen. Die in einem ersten Schritt dieses Projektes durchgeführte Konsistenzrechnung der Daten der Agrarfachstatistik mit denen der Flächenerhebung sowie den CORINE (Coordination of Information on the Environment) - Landbedeckungsdaten wird helfen, die Abbildungsgüte der in diesem Teilprojekt angewandten Indikatoren zu optimieren.

Die Erfassung und modellgestützte Erzeugung von Karten der aktuellen Bodennutzung kann auch für die Abschätzung weiterer Bodengefährdungspotentiale genutzt werden. Als Beispiel sei hier der Zusammenhang zwischen potentieller und tatsächlicher Erosionsgefährdung genannt. Die potentielle Erosionsgefährdung bezeichnet die natürliche Disposition einer Fläche zur Erosion bedingt durch Bodenart, Hangneigung und -länge, Regenerosivität, Erosionsschutzmaßnahmen etc.. Die tatsächliche Erosionsgefährdung hängt dagegen von der Bodenbedeckung ab. Hiermit kann die anthropogene Komponente der Gefährdung dargestellt werden, so dass ein eindeutigerer Hinweis auf die notwendigen Maßnahmen sichtbar wird. Die Entwicklung geeigneter Module zur Erfassung der aktuellen Bodenbedeckung und die Parametrisierung von Algorithmen zur Erfassung von Gefährdungspotentialen für die Böden der Bundesrepublik Deutschland sind daher ebenfalls Gegenstand dieses Vorhabens.

Großräumige, satellitengestützte Karten der Bodenbewirtschaftung sind nach wie vor nicht verfügbar, da weder automatisierte Klassifikationsverfahren der Landbedeckung noch ausreichend zeitlich und räumlich hochauflösende, wolkenfreie Satellitendaten für das Gebiet Mitteleuropas existieren. Daher wurde versucht durch die Verbindung statistischer Informationen mit vorhandenen digitalen Karten der Landbedeckung eine bestmögliche Annäherung an die aktuelle Landnutzung zu erreichen.

## 1.2 Ziele

Ziel des Vorhabens war es, durch eine Verknüpfung von Agrarstatistikdaten mit Datensätzen der aktuellen Landbedeckung und der Bodeneigenschaften räumlich möglichst hochauflösende Karten der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf Bundesebene zu erstellen und Bewertungen hinsichtlich der Erosionsgefährdung durch Wasser, der Nährstoffbilanzen, des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und der Verdichtungsgefährdung vorzunehmen. Gleichzeitig soll das zu entwickelnde Verfahren eine Fortschreibung der landwirtschaftlichen Bodennutzung unter Verwendung aktualisierter Statistikdaten erlauben. Ferner sollten die Möglichkeiten und Grenzen der bundesweiten Erfassung der aktuellen Landnutzung aufgezeigt werden. Die Methode sollte außerdem eine Bewertung der gesamten Fläche der Bundesrepublik Deutschland auf der Basis einheitlicher Datengrundlagen ermöglichen.

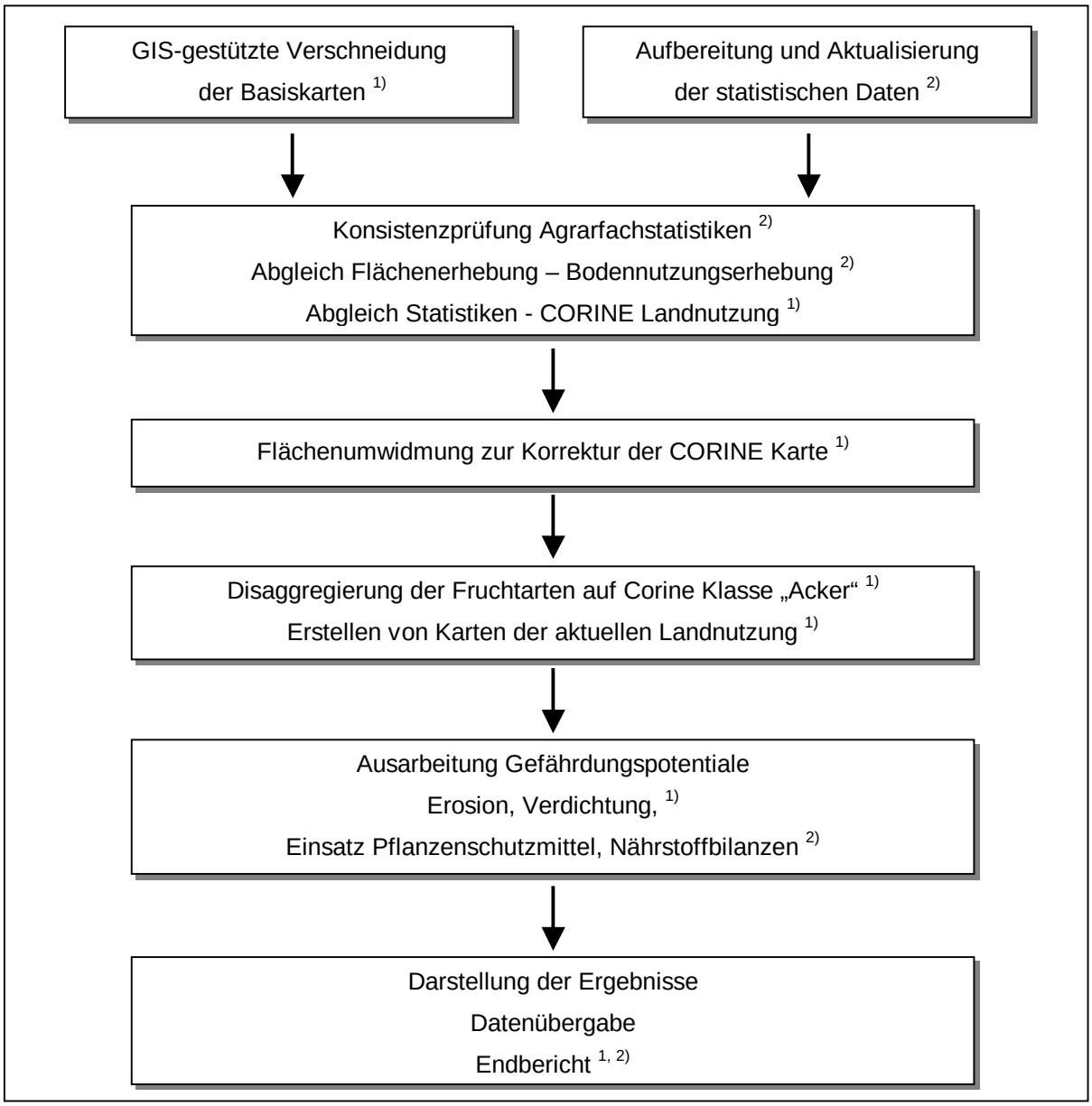
Das Vorhaben wurde am Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK) in Zusammenarbeit mit der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie Bonn (FAA) und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe Hannover (BGR) durchgeführt.

## 1.3 Vorgehensweise

Die im folgenden Kapitel detailliert beschriebenen Arbeitsschritte beinhalten die Datenerfassung, eine umfassende Analyse und Korrektur der Datensätze (Konsistenzprüfung), die Disaggregierung der statistischen Daten mit Hilfe einer Karte der Landbedeckung und darauf aufbauend die Ausarbeitung von Gefährdungspotentialen für die Böden (Abb. 1).

Die Analyse der Fachstatistiken, das Erstellen von Nährstoffbilanzen und die Abschätzung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln wurde von Mitarbeitern der FAA durchgeführt. Von der BGR, wurden die Bodenübersichtskarte 1:1 Mio. (BÜK1000), Datensätze zur Berechnung der potentiellen Erosionsgefährdung, der Vorbelastung und Informationen zur Eignungsbewertung

von Standorten zur Verfügung gestellt sowie Unterstützung durch fachliche Beratung ihrer Mitarbeiter geleistet.




1) Potsdam Institut für Klimafolgenforschung (PIK)

2) Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie Bonn (FAA)

Abb. 1: Arbeitsschema des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens

Die Umwidmung der Landbedeckungsklassen erfolgte in Anlehnung an Verfahren wie sie in Zebisch & Kenneweg. (2001) und in UBA (2001) beschrieben sind.

Die Abschätzung der Gefährdungspotentiale erfolgte unter Berücksichtigung von Ergebnissen und Verfahren, wie sie für einzelne Bundesländer bereits vorliegen. Dazu zählen die Methoden

des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS) (Hennings 2000, Müller et al. 1992, Müller 1997) oder die Berechung der Bodenerosion durch Wasser für das Bundesland Bayern (Schwertmann et al. 1987; Auerswald & Schmidt 1989)

Aufgrund von Literatur- und Internetrecherchen, Anfragen bei Fachbehörden und mit Hilfe von Expertenbefragungen wurde versucht, eine möglichst hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Bewertungen zu erzielen und das Potential sowie die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten des hier vorgestellten Verfahrens zu evaluieren.

Entsprechend der Aufgabenstellung und den zur Verfügung stehenden Informationen liegt der Schwerpunkt bei den Arbeiten zur Flächenumwidmung (Kap. 3.2), Abschätzung der Erosionsgefährdung (Kap. 3.3.1), der Bodenverdichtung (Kap. 3.3.2) und der Abschätzung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln (Kap. 3.3.4) mehr auf der Entwicklung geeigneter Anwendungsverfahren. Die dargestellten Ergebnisse sind daher als vorläufig anzusehen, während für die Abschätzung der Nährstoffbilanzen (Kap. 3.3.3) bereits abgesicherte Ergebnisse vorliegen.

# 2. Aufbau der Datengrundlagen

Aufgrund der bundesweit verfügbaren Datensätze und der räumlichen Auflösung der zur Verfügung stehenden digitalen Karten wurde für die Zuordnung der statistischen Daten die Maßstabsebene der Landkreise verwendet. Höherauflösende statistische Daten auf Gemeindeebene stehen nur bei den Landesbehörden zur Verfügung, was umfangreiche Beschaffungsmaßnahmen erfordert hätte. Bezüglich der Kartengrundlagen sind höherauflösende Karten meist nur für bestimmte Regionen vorhanden, noch nicht in digitaler Form erfasst, oder konnten aus finanziellen und/oder datenrechtlichen Gründen nicht für Forschungsvorhaben verwendet werden. Die digitalen Kartengrundlagen wurden mit Hilfe des Geographischen Informationssystems (GIS) ARC/Info Vers. 7.11 auf einer UNIX Risc6000 Plattform unter AIX Windows erstellt und verwaltet.

Für die Aufgabe, Beeinträchtigungen der Umwelt durch landwirtschaftliche Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelaufwendungen aufzuzeigen, wurden zunächst derzeitige Möglichkeiten einer Abbildung solcher umweltrelevanten Bereiche ermittelt. Mit Hilfe eines Regionalisierten Agrar- und Umweltinformationssystems (RAUMIS, Henrichsmeyer et al. 1996) wurde anschließend die bisherige Entwicklung sowie der Ist-Zustand der Nährstoff- und Pflanzenschutzmitteleinträge anhand von Umweltindikatoren für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf Kreisebene untersucht.

## 2.1 Konsistenzprüfung der Agrarfachstatistiken

Im Rahmen Projektes wurde eine Abweichungsanalyse und Konsistenzrechnung auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden auf der Grundlage eines Vergleiches Daten der Bodennutzungshaupterhebungen von 1995 und 1999 mit der Flächenerhebung von 1996 auf Basis der Landkreise verglichen, Abweichungen bezogen auf die vorhandene Datenbasis ermittelt und analysiert sowie Erklärungsansätze - gestützt durch Konsistenzrechnungen der Betriebsdaten zur tatsächlichen Flächennutzung - für die analysierten Abweichungen formuliert.

Auf Grundlage der Abweichungsanalyse sollte festgestellt werden, inwieweit die Statistiken im Rahmen der Bodennutzungshaupterhebungen (BoHe) und der Flächenerhebung (FlEhe) genutzt werden können, um die verfügbaren Landbedeckungsdaten von CORINE zu bestätigen, zu ergänzen bzw. zu korrigieren.

Der Datenvergleich wurde auf Basis der bei den Bodennutzungshaupterhebungen im Rahmen der Agrarberichterstattung durchgeführten Vollerhebungen von 1995 und 1999 und der Flächenerhebung von 1996 auf Kreisebene durchgeführt. Zum Zwecke einer tiefergehenden Disaggregierung der zugrundegelegten Datenbasis wurde der direkte Vergleich auch für Ackerland und Grünland vollzogen. In diesem Zusammenhang konnte der Vergleich für einige Bundesländer aufgrund der unzureichend verfügbaren Datengrundlage bei der FlEhe nicht durchgeführt werden.

### 2.1.1 Bodennutzungshaupterhebung: Kulturartenumfänge landwirtschaftlicher Betriebe

Bodennutzungshaupterhebungen (BoHe) werden in der Bundesrepublik Deutschland zum Zweck der Beobachtung und Beurteilung mittel- und längerfristiger Veränderungen von Produktionskapazitäten und Strukturen von land- und forstwirtschaftlichen Betrieben im Rahmen der Landwirtschaftszählungen durchgeführt.

#### 2.1.1.1 Gesetzliche Grundlage

Aktuelle gesetzliche Grundlage für diese Form der Erhebungen ist das Agrarstatistikgesetz (AgrStatG) in der Fassung vom 25. Juni 1998.

#### 2.1.1.2 Erhebungsprogramm

Bodennutzungshaupterhebungen werden in der Bundesrepublik Deutschland als Vollerhebungen alle vier Jahre im Rahmen der Agrarstrukturerhebungen als Bestandteil der Landwirtschaftszählung durchgeführt.

Erhoben werden Flächen, die bei der Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte genutzt werden (landwirtschaftlich genutzte Flächen = LF). Mittels eines Fragebogens wird die Nutzung der Gesamtfläche nach Hauptnutzungs- und Kulturarten erfasst und analysiert. Dabei werden alle für die Flächenbewirtschaftung wichtigen Flächenkategorien mit einbezogen. Dies sind im einzelnen Ackerland, Dauergrünland, Gartenland, Obstanlagen, Baumschulen, Rebland, Korbweiden- und Pappelanlagen sowie Weihnachtsbaumkulturen (außerhalb des Waldes). Zusätzlich werden seit 1999 noch die “Art der Bewirtschaftung“ zur Unterscheidung konventionell arbeitender Betriebe von ökologisch erzeugenden Betrieben abgefragt (siehe auch Anhang 1).

Nicht erhoben werden nicht mehr genutzte landwirtschaftliche Flächen, d.h. dauerhaft stillgelegte Flächen wie nicht mehr genutzte Äcker, Weiden, Wiesen, Reb- und Obstanlagen (Sozialbrachen). Diese Flächen werden insbesondere aus sozialen und wirtschaftlichen Gründen nicht bei der LF berücksichtigt. Vorübergehend stillgelegte Flächen sowie Flächenstilllegung, für die eine Flächenstilllegungsprämie gezahlt wird, werden erfasst.

#### 2.1.1.3 Erhebungseinheiten

Nach dem aktualisierten Agrarstatistikgesetz sind technisch wirtschaftliche Einheiten, welche einer einheitlichen Betriebsführung unterliegen, zur Auskunft verpflichtet, wenn land-, forst- oder fischwirtschaftliche Erzeugnisse hergestellt werden und wenn die landwirtschaftlich genutzte Fläche 2 Hektar (ha) überschreitet, Tiermindestbestände oder Flächen von Spezialkulturen überschritten werden oder die Waldfläche von Forstbetrieben zehn Hektar übersteigt. Flächen bis ein Hektar, welche keinem Betrieb zugeordnet sind, entfallen mit der BoHe 1999 (siehe auch Anhang 2).

Die Anhebung der Abschneidegrenzen des Erhebungsjahres 1999 wird begründet mit dem Anspruch der Durchführung einer “integrierten Erhebung“. Die Strukturstatistik und die bisher abweichende Erfassung angrenzender Fachstatistiken (BoHe und Viehzählung) erforderten eine Angleichung zumindest auf das Niveau der Strukturstatistiken, d.h. auf die Betriebseinheit.

Für die integrierte Erhebung wird nicht nur eine zeitgleiche Befragung, sondern auch eine Befragung mit einheitlichem Erhebungsbereich vorausgesetzt. Durch die gleichzeitige (deutliche) Anhebung der Erfassungsgrenzen (mit Ausnahme des Produktionsverfahrens „Schafe“, wo die Grenze von fünfzig auf zwanzig Tiere abgesenkt wurde; siehe auch Anhang 2) entfällt für viele Betriebe die Auskunftspflicht. Die so bedingten Informationsverluste sollen „... vertretbare

Grenzen nicht überschreiten“ (Nause 1999, S.184). Hierdurch soll sich ein akzeptabler Kompromiss zwischen Informationsverlust durch die sich ergebende Ungenauigkeit bei der Erhebung der Daten und der Entlastung kleiner Betriebe ergeben.

#### 2.1.1.4 Erhebungsprinzip

„Die landwirtschaftlich genutzte Fläche wird in der Agrarstatistik nach dem Betriebsprinzip erhoben und nachgewiesen, das heißt jeweils nach dem Ort des Betriebssitzes. Die Flächennachweisungen - vor allem für kleinere Gebietseinheiten (Gemeinde, Kreis) - lassen daher keinen unmittelbaren Rückschluss auf die tatsächliche Nutzung der Katasterfläche der jeweiligen Gebietseinheit zu. Aufgrund der Verwendung des Betriebsprinzips bei diesen Erhebungen werden auch die in den Nachbarstaaten der Bundesrepublik Deutschland belegenen Flächen einbezogen, die von Betrieben mit Betriebssitz im Inland bewirtschaftet werden, nicht aber im Inland belegene Flächen, die von Betrieben mit Betriebssitz im Ausland bewirtschaftet werden“ (http://www-zr.statistik-bund.de/def/def0758.htm; 05.09.2001).

### 2.1.2 Flächenerhebung: Tatsächliche Flächennutzung in der Region

Detaillierte Angaben bzgl. der Art und der Nutzung des Bodens sind notwendig für die Umwelt-, Raumordnungs- und Städtebaupolitik von Bund und Ländern. Die Landschafts- und Verkehrsplanung – auch auf der Ebene der regionalen und kommunalen Planung der Gemeinden – bedürfen zusätzlicher Informationen über die Art und Nutzung des Bodens in der Bundesrepublik Deutschland. Die besondere Eigenschaft der Unvermehrbarkeit des Bodens und das Problem des hohen Aufwandes bei der Regeneration belasteter Gebiete erklärt das besondere Interesse an den Daten zur Flächennutzung. Nach dem Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz v. 17.03.1998; BGBl 1998) obliegen diesem natürliche Funktionen als Lebensraum für Menschen und Tiere, Natur- und kulturgeschichtliche Archivfunktionen sowie, neben anderen, Funktionen als Standort für die forst- und landwirtschaftliche Nutzung. Insbesondere die zunehmende Intensität der Nutzung der Flächen und die Vielzahl der bodenbeeinflussenden Faktoren verpflichten zum schonenden Umgang mit der nur begrenzt verfügbaren Ressource Boden und begründen die Notwendigkeit der Verfügbarkeit aktueller Daten bzgl. der Flächennutzung in der Bundesrepublik Deutschland.

Bei der Flächenerhebung werden Daten nach Art der geplanten Nutzung (Flächennutzungsplan) und nach Art der tatsächlichen Nutzung erhoben. Letztere Erhebung wird nachfolgend näher erläutert.

#### 2.1.2.1 Gesetzliche Grundlage

Mit dem aktualisierten Agrarstatistikgesetz vom 03. Oktober 1992 (BGBl 1992, S. 1633 – 1649) wird dem oben genannten Bedarf entsprochen.

#### 2.1.2.2 Erhebungsgrundlage

Seit 1979 werden Flächenerhebungen nach Art der tatsächlichen Nutzung durchgeführt. Ab 1981 werden in vierjährigen Abständen Daten auf Basis der Liegenschaftskataster erhoben.

Grundlage hierfür ist die bundesweit verbindliche Bodennutzungsartenklassifikation mit dem „Verzeichnis der flächenbezogenen Nutzungsarten im Liegenschaftskataster und ihrer Begriffsbestimmungen“ (AdV-Nutzungsartenverzeichnis).

Nach diesem Verzeichnis wurde bei der Flächenerhebung von 1996 zwischen acht Nutzungsartengruppen unterschieden. Diesen übergeordneten Gruppen werden $100^{er}$-Positionen des AdV-Nutzungsartenschlüssels vergeben. Jeder Gruppe sind einzelne Nutzungsarten ($10^{er}$-Positionen) und in der letzten Differenzierung weitere Unterarten ($1^{er}$-Positionen) zugeteilt. Dem Nutzungsartenschlüssel 650 ist z.B. die Landwirtschaftsfläche Moor zugeordnet (siehe auch Anhang 3). Für jedes Flurstück werden Größe und die Art der Nutzung bei der Datenerhebung abgefragt.

#### 2.1.2.3 Erhebungsprinzip

Es wird eine Bestandsaufnahme der vorliegenden Verhältnisse der Bodennutzung zum Stichtag nach dem Belegenheitsprinzip durchgeführt. Erhebungsgrundlage bildet das Liegenschaftskataster und das ihm zugrunde liegende "Verzeichnis der flächenbezogenen Nutzungsarten im Liegenschaftskataster und ihrer Begriffsbestimmungen".

#### 2.1.2.4 Aktualisierung der Erhebungsgrundlage und Differenzierungsgrad

Die Änderung der Erhebungskriterien im Jahr 1992 schränkt den Datenvergleich zwischen der letzten aus dem Jahr 1999 stammenden und den älteren Datensätzen, die vor diesem Stichtag erhoben wurden, ein (siehe Anhang 3). Dies ist jedoch für die hier zugrundegelegte Fragestellung ohne Bedeutung, da Vergleiche mit älteren Flächenerhebungen nicht durchgeführt wurden. Problematisch kann der Datenabgleich dennoch innerhalb des Bundesgebietes zum betrachteten Zeitpunkt sein, weil die Aktualisierung nach dem AdV-Schlüssel nicht nur zwischen, sondern auch innerhalb der einzelnen Bundesländern unterschiedlich weit vorangeschritten ist. Wegen diesem unterschiedlichen Grad der Automatisierung der Liegenschaftskataster kann die Genauigkeit der Bodennutzungsdaten deshalb auch innerhalb von Bundesländern differieren.

Durch Fortschritte beim Aufbau des Automatisierten Liegenschaftskatasters (ALK) konnten 1997 bereits zehn Bundesländer Daten von über sechzig Nutzungsarten mit mittlerem Differenzierungsgrad, dass heißt mit $10^{er}$-Positionen darstellen (Petrauschke & Pesch 1998). Bundesweit ist der flächendeckende, einheitliche Nachweis nur für $10^{er}$-Nutzungsarten möglich.

Die Auswahl der Veröffentlichung der erhobenen Daten („Statistik Regional“) beruht auf einem Entscheid einer Ministerkonferenz für Raumordnung (mündl. Mitt. Frau Vogel, Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt), weshalb zusätzliche, in den Kreisen erhobene Daten bei den statistischen Landesämtern bzw. Landesvermessungsämtern erfragt werden müssen.

Im Rahmen der Analyse wurde versucht, bundesweit Daten der Nutzungsschlüssel 610 (Ackerland) und 620 (Grünland) der Flächenerhebung von 1996 für einen direkten Datenvergleich mit den Acker- und Grünlandflächen der Agrarstatistik zu ermitteln. Diese Daten werden gegenwärtig in Sachsen-Anhalt (mündl. Mitt. Frau Vogel) und in Schleswig-Holstein (mündl. Mitt. Herr Klaasen, Statistisches Landesamt Schleswig-Holstein) (noch) nicht erhoben. In Thüringen werden sie, da statisch nicht gesichert, (eMail-Auskunft Frau Thomas, Thüringer Landesamt für Statistik) nicht erfasst. In Brandenburg werden diese Daten zwar erhoben, sind aber nicht direkt abrufbar und somit kostenpflichtig, da sie „...speziell aufbereitet werden müssen.“ (eMail-Auskunft Frau Seltmann, Landesbetrieb für Datenverarbeitung und Statistik, Potsdam). Im Saarland waren die Daten beim zuständigen Landesvermessungsamt nicht mehr verfügbar (eMail-Auskunft Herr Zöbl, Landesamt für Kataster-, Vermessungs- und Kartenwesen, Saarbrücken).

Weiterhin ist festzustellen, dass Flächenumwidmungen oft mit erheblichem Zeitverzug erfasst werden und somit die Datenqualität erheblich beeinträchtigen können.

### 2.1.3 Synoptische Gegenüberstellung der Flächenerhebung und der Bodennutzungshaupterhebung

In Tabelle 1 sind die Ziele, Grundlagen und Inhalte der Flächenerhebung und der Bodennutzungshaupterhebung zusammenfassend gegenübergestellt.

Tab.1: Synoptische Gegenüberstellung der Flächenerhebung und der Bodennutzungshaupterhebung

| | **Bodennutzungshaupterhebung (BoHe) als Teil der Landwirtschaftszählung (LWZ)** | **Flächenerhebung (FlEhe)** |
|---|---|---|
| **Zweck** | Inhaltlich umfassendste Informationsquelle zur Beobachtung und Beurteilung mittel- und längerfristiger Veränderungen von Produktionskapazitäten / Strukturen land- und forstwirtschaftlicher Betriebe | Vielzahl bodenbeeinflussender Faktoren bedingen schonenden Umgang mit der Ressource Boden; aktuelle Daten über Bodennutzung und Planung werden benötigt und mit der Flächenerhebung verfügbar |
| **Inhalte** | Bodennutzungshaupterhebung, (BoHe) und Viehzählung, Arbeitskräfte und Strukturmerkmale (bis 1998) | Flächenerhebung der tatsächlichen Nutzung (FlEhe)<br>Flächenerhebung der geplanten Nutzung (FlEhePlan) |
| **Historie / Periodizität** | seit 1979 totale / repräsentative Erhebungen alle vier Jahre / jährlich erhoben;<br>letzte Erhebung (bezogen auf vorliegende Daten): 1999 | Bodennutzungsvorerhebungen:<br>1950-1979 (Vorläuferstatistik)<br>auf Basis aller Bundesländer: 1993<br>letzte Erhebung: 12.1996 (6. Erhebung)<br>nächste Erhebung: 2001<br>Erhebungen alle vier Jahre |
| **Grundlage** | Agrarberichterstattung (Betriebsstatistik) | Liegenschaftskataster |
| **Datenerhebung** | nach Ort des Betriebssitzes | nach Ort der Belegenheit |
| **Erhoben werden gegenwärtig** | Kulturarten als Totalerhebung oberhalb der Abschneidegrenze von 2 ha des laufenden Jahres:<br>Gesamtfläche nach Hauptnutzungs- und Kulturarten sowie Hauptnutzungsarten nach Nutzungszweck<br>Landwirtschaftlich genutzte Flächen:<br>Ackerland / Haus-, Nutzgärten u.a./ Dauergrünland / Getreide / Hülsenfrüchte / Hackfrüchte / Gemüse / Handelsgewächse / Futterpflanzen / Brachen und Stillegungen.<br>Übernahme der Tierbestände (Viehzählung) als totale Erhebung (im jährlichen Wechsel mit repräsentativen Erhebungen) vom Dezember des Vorjahres: Rinder / Schweine / Pferde / Schafe und Geflügel auf Kreisebene. | Gebäude- und Freiflächen<br>Betriebsflächen<br>Erholungsflächen<br>Verkehrsflächen<br>Landwirtschaftsflächen (dargestellt in tiefster Gliederung, s.a. Anlage 2)<br>Ackerland/Grünland/Gartenland/ Weingärten/ Moor / Heide / Obstanbauflächen (vormals lw. Mischnutzungen) / Betriebsflächen / Brachland / weitere lw. Flächen<br>Waldflächen<br>Wasserflächen<br>Flächen anderer Nutzung<br>Bodenflächen insgesamt |
| **Aktuelle Änderungen** | Seit 1999 werden lw. Betriebe < 2 ha, fw. Betriebe <10 ha und Betriebe mit „geringem“ Tierbestand nicht mehr berücksichtigt. | Seit 1997 Umwidmung der lw. Mischnutzung in Obstanbauflächen.<br>(ohne Relevanz für durchgeführte Analyse) |

## 2.2 Verschneidung der Basiskarten

Für das Hoheitsgebiet der Bundesrepublik Deutschland stand für eine flächendifferenzierte Darstellung der Bodenbedeckung die Landbedeckungskarte CORINE (Statistisches Bundesamt Wiesbaden, Stand März 1998; CORINE 1997) zur Verfügung. Die vektorbasierte Karte wurde im wesentlichen durch Auswertung von Satellitenbildern aus den Jahren 1989 bis 1992 gewonnen. Für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland werden 36 Kategorien von insgesamt 44 des EU-weiten Datenerhebungskonzeptes ausgewiesen (siehe Anhang 4). Entsprechend des Konzeptes sind in der Karte Flächen ab einer Größe von 25 ha (entspricht 500 x 500 m räumliche Auflösung) oder im Hinblick auf Flächen linearer Ausprägung (z.B. Gewässerläufe) ab einer Breite von 100 m erfasst. Dabei wird die konkrete geographische Lage jeder homogen bedeckten Bodenfläche nachgewiesen. Dem Datenbestand liegt ein Erhebungsmaßstab von 1:100.000 zugrunde.

Für die Bodeneigenschaften lag die ebenfalls vektorbasierte „Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK1000)“ vor. Sie beinhaltet die Verbreitung der Böden in 72 Klassen auf dem Niveau von Leitbodenassoziationen, der Aggregierungsstufe 4, gemäß der bodenkundlichen Kartieranleitung (KA4 1994). Die topographische Grundlage bildet das digitale Landschaftsmodell 1:1.000.000 (DLM1000) des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (siehe Anhang 5).

Auf der Grundlage dieser Karte wurden von der BGR weitere aus den Profildaten der Leitbodenassoziationen abgeleitete Informationen zur Vorbelastung, dem mittleren Grundwassertiefstand, dem mittleren kapillaren Aufstieg sowie dem K-Wert der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) zur Verfügung gestellt. Des weiteren wurde eine digitale Karte der Isoerodenten nach Sauerborn (1994) als R-Faktor der ABAG für die Berechnungen der aktuellen Erosion bereitgestellt. Als zusätzliche Bodeninformation konnte die Karte der Bodenzahlen aus dem Nitratstromatlas (Wendland et al. 1993) in digitaler Form genutzt werden.

Für die Zuordnung der Fachstatistiken wurden die digitalen Karten der Verwaltungsgrenzen des Jahres 1999 und der Kreisgrenzen des Jahres 2000 auf der Basis der Informationen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG, mündl.. Mitt. Herr Treffler, Umweltbundesamt) vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Neben den genannten Basisinformationen wurden für die Flächenumwidmungen eine Reihe von Zusatzinformationen verwendet. Dies umfassten das Verkehrsnetz aus ARC/Deutschland (ESRI, 1993), das im wesentlichen aus den Übersichtskarten 1:500.000 des Bundesamt für Kartographie und Geodäsie entnommen wurde (http://www.ifag.de/) und die globalen Höhendaten GTOPO30 (Global 30 Arc Second Elevation Data) des US Geological Surveys (Hastings &

Dunbar 1999). Letztere weisen eine räumliche Auflösung von etwa 1 x 1 km, mit einer horizontalen Genauigkeit von ±650 m und einer vertikalen Genauigkeit von im Mittel ±30 m auf.

Des weiteren wurden für die Abschätzung der Wachstumsentwicklung verschiedener Kulturpflanzen phänologische Daten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) (DWD 2001) herangezogen. Für die Zuordnung der phänologischen Daten wurde die Karte der naturräumlichen Gliederung der BRD (Bundesamt für Naturschutz; Maynen et al. 1962; siehe Anhang 8) verwendet. Eine Übersicht über die verwendeten Kartengrundlagen gibt Tabelle 2.

Tab. 2: Übersicht über die verwendeten Datensätze und ihre wichtigsten Merkmale

| Thema | Quelle | Charakteristika |
|---|---|---|
| CORINE Landbedeckung (Stand 1998) | Statistisches Bundesamt | Polygone, Erfassungsgrenze bei Flächen > 25 ha bzw. bei Linienelementen > 100m Breite |
| Leitbodenassoziationen, BÜK1000 | BGR | Polygone Maßstab 1:1 Mio. 72 Klassen |
| Bodengüte | Wendland et al. 1993 | Bodenzahlen der vorherrschenden Leitbodenarten im 3 x 3km Raster |
| K-Faktor | BGR | Attribut zur Leitbodenassoziation<br>K-Faktor des obersten (Ap-) Horizonts des nutzungsspezifischen Referenzprofils |
| Vorbelastung | BGR | Attribut zur Leitbodenassoziation<br>Vorbelastung bei pF 1.8 nach V DIN 19688 in 35 cm Bezugstiefe des nutzungsspezifischen Referenzprofils (ordinal skaliert in Stufen 1 bis 5) |
| mittlerer Grundwassertiefstand | BGR | Attribut zur Leitbodenassoziation<br>mittlerer Grundwassertiefstand (MNGW) in dm unter Geländeoberfläche, unterhalb von 20 dm unter Geländeoberfläche als Pauschalangabe |
| mittlerer kapillarer Aufstieg | BGR | Attribut zur Leitbodenassoziation<br>Betrag des mittleren kapillaren Aufstiegs (KA) des nutzungsspezifischen Referenzprofils in mm, mit einem Maximalwert von pauschal 150 mm. |
| Isoerodentenkarte | BGR | Isolinien bzw. Polygone nach Sauerborn (1994) |
| Verwaltungseinheiten | UBA/BKG | Polygone Kreisgrenzen Stand 2000 |
| Verkehrswegenetz | Arc-Deutschland 500 ESRI | Bahnlinien und Strassen Stand 1992 |
| Gewässernetz | UBA | Linien |
| Digitales Höhenmodell | US Geological Survey | 30” Raster = ca. 1 x 1km Auflösung,<br>Genauigkeit ±650m horizontal, ±30m vertikal |
| Phänologische Daten | DWD | Zeitreihen der Wachstumsentwicklung von Kulturpflanzen des phänologischen Beobachtungsnetzes |
| Naturräumliche Gliederung der BRD | Bundesamt für Naturschutz | Polygone 83 Einheiten 2. Ordnung |
| Statistische Daten auf Kreisebene | Statistisches. Bundesamt / FAA | Flächenerhebung pro Landkreis Stand 1996<br>Bodennutzungshaupterhebung pro Landkreis Stand 1999 |

Alle Karten wurden in eine einheitliche Projektion projeziert. Als geodätisches Bezugssystem wurde die Lambert konforme Kegelabbildung, Sphäroid Bessel, mit zwei längentreuen Parallelkreisen 48° 40’ N und 53° 40’ N mit dem Blattnullpunkt 10° 00’ W, 0° 00’ N verwendet. Auf-

grund der unterschiedlichen Herkunft der Karten wiesen diese Abweichungen in der Größenordnung von etwa 500 m auf. Da diese Fehler nicht systematisch waren, wurden die thematischen Karten durch manuelles Setzen von Vektoren an markanten Referenzpunkten der jeweiligen Kartenränder an die Ränder der CORINE Landbedeckungskarte angepasst und anschließend verschnitten. Die geometrischen Anpassungen werden mit diesem Verfahren für die gesamte jeweilige thematische Karte hinweg errechnet, so dass es nicht zu Verzerrungen an den Kartenrändern kommt.

## 2.3 Generierung der Landbedeckungskarte

### 2.3.1 Abgleich Flächenerhebung gegen CORINE Landbedeckung

Ein Schwerpunkt dieses Vorhabens war die Entwicklung eines Verfahrens zur Übertragung der Daten der Bodennutzungshaupterhebung (BoHe) auf die Karte der Landbedeckung (CORINE).

Für eine routinemäßige Disaggregierung der statistischen Daten und der Zuweisung ihrer Fortschreibungen wurde die CORINE - Karte dem aktuellen Stand der statistischen Daten angepasst. Die Umwidmung von Flächen der CORINE - Karte erfolgte über eine Eignungsbewertung aufgrund der naturräumlichen Gegebenheiten des Gebietes und eine stufenweise Umwidmung von Flächen bis zu einem Schwellenwert, der vom Umfang der umzuwidmenden Flächen bestimmt wird (Fritsch et al. 1999, SFB 1999). Die Zuweisung musste über Nachbarschaftsbeziehungen und Hilfsgrößen der naturräumlichen Ausstattung wie Grundwasserflurabstand, Bodengüte oder Hangneigung erfolgen (Zuweisungen über Plausibilitäten). Die Ausweisung geeigneter "Umwidmungsflächen" erfolgte gutachterlich über die Erstellung einer Matrix von Faktorenkombinationen aus den genannten Hilfsgrößen. Die Kombination aus Nachbarschaftsbeziehungen und Standortseigenschaften ergab die Wahrscheinlichkeit einer bestimmten Flächennutzung (siehe Tab. 3).

Als Ergänzung zu der gutachterlichen Vorgehensweise wurde für die Bewertung der Acker- / Gründlandeignung eine Klassifizierung mit dem Maximum - Likelihood - Verfahren verwendet. Es handelt sich dabei um eine überwachte Klassifizierung.. ”Überwacht” deshalb, da für die Klassifizierung Klassencharakteristika vorgegeben werden. Das Verfahren ist beispielsweise in Lillesand & Kiefer (1987) beschrieben. Beide Methoden erforderten ein regional differenziertes Vorgehen, da die Faktorenkombinationen, die zu einer bestimmten Landnutzung führen, regionale Unterschiede aufweisen. Ist beispielsweise die Grünlandnutzung im Nordosten Deutschlands mehr vom Grundwasserflurabstand abhängig, so kann im Süden der BRD die Niederschlagsmenge und die Höhenlage entscheidend für die Nutzungsart sein. Die regionalisierte

Betrachtung konnte durch die Analyse auf der Ebene der Landkreise in Kombination mit den verwendeten Kriterien als gegeben angesehen werden.

In einem ersten Schritt wurden die Daten der CORINE - Landbedeckungskarte mit den Daten der Flächenerhebung (Stand 1996) verglichen. Aus den Unterschieden in den Flächenangaben pro Kreis ergab sich der Bedarf an umzuwidmenden Flächen. Dabei wurde die Werte der CORINE Karte an die Werte der Flächenerhebung (FlEhe) angepasst, da letztere die aktuellen Werte der Landbedeckung enthält und diese auch weiter fortgeschrieben werden sollen. Die Ebene der Landkreise als kleinster räumlicher Einheit für die statistischen Daten wurde gewählt, da einerseits diese Daten bundesweit vom statistischen Bundesamt zur Verfügung gestellt werden, andererseits damit der Fehler der durch die Betriebssitzzuordnung in der Bodennutzungshauterhebung (BoHe) verursacht wird, zu verringern, da zu erwarten ist, dass weitaus weniger Betriebe Flächen außerhalb des Landkreises als außerhalb einer Gemeinde bewirtschaften in der sie angesiedelt sind (siehe auch Kap. 2.1). Gemäß der räumlichen Auflösung der bundesweit einheitlich vorliegenden Daten für Landbedeckung (CORINE) und Boden (BÜK1000), sowie der Hilfsgrößen für die Eignungsbewertungen und Gefährdungsabschätzungen (digitales Höhenmodell 1 x 1km, Gewässernetz usw.) wurde angenommen, dass die Maßstabsebene der Landkreise sich adäquat zur Genauigkeit der zur Verfügung stehenden Informationen verhält.

Tab. 3: Mögliche und verwendete Kriterien für eine Flächenumwidmung (nach Zebisch & Kenneweg 2001)

| **Landnutzungsklasse** | **Mögliche Kriterien für eine Umwidmung (Eignungsbewertung)** |
|---|---|
| Siedlung | Nachbarschaft zu bestehenden Siedlungen*<br>Nähe zu Entwicklungsachsen (Strassen, Flüsse)<br>Größe der ursprünglichen Siedlung<br>Nähe zu Ballungsräumen<br>Hangneigung |
| Acker | Bodengüte (Ackerzahl, Ertragspotential, Bodenqualität) *<br>Grundwasserflurabstand*<br>Klima (mittlere Jahrestemperatur) *<br>Hangneigung*<br>Bodenart<br>Nachbarschaft zu bestehenden Ackerflächen<br>Nähe zu (ländlichen) Siedlungen (Anfahrtswege) |
| Brache | invers zu Acker bzw. Grünland => Grenzertragsstandorte<br>„Sozialbrache“ zufällige Verteilung der Brachflächen* |
| Dauergrünland | Kriterien wie Acker, allerdings mit anderen Bewertungsskalen<br>(z.B. höhere Verträglichkeit von geringem Grundwasserflurabstand) |
| Wald | Nachbarschaft zu bestehenden Wäldern<br>Waldneuentwicklung auf Bracheflächen oder potentielle Acker- bzw. Grünlandgrenzstandorte*<br>CORINE Mischklassen zu Wald- umwidmen* |

* für Umwidmung verwendet

In einem nächsten Schritt wurden die CORINE Landbedeckungseinheiten entsprechend den Klassen der FlEhe zu den Gruppen „Siedlung“, „Wald“, „Acker“, „Gründland“ und „Wasserflächen“ zusammengefasst und miteinander verglichen (Tab. 4). Um eine möglichst realistische Verteilung der Acker- und Gründlandflächen zu erhalten, wurden auch alle Klassen der Landbedeckung mit einbezogen, einschließlich derjenigen, die nicht direkt Gegenstand der Untersuchung sind, um eine in sich schlüssige Gesamtbilanz zu erhalten. Gemäß den Abweichungen erfolgte dann eine stufenweise GIS-gestützte Umwidmung der CORINE-Flächen. Alle Umwidmungen wurden pro Landkreis vorgenommen. Zu diesem Zweck wurde die vektorbasierte Grundkarte mit den Elementen Landnutzung, Boden und den Kreisgrenzen (siehe Kap 2.2) in Rasterkarten mit 250 x 250 m Auflösung umgewandelt. Dies entspricht einem Viertel der theoretischen Auflösung der CORINE - Karte, die entsprechend den Erhebungskriterien bzgl. der flächenhaften Elemente 500 x 500 m beträgt (Erhebungsgrenze für Flächen größer 25 ha). Die Verwendung einer höheren Auflösung ist prinzipiell möglich, wurde aber aufgrund der langen Rechenzeiten nicht verwendet.

Die Umwidmung der Flächen erfolgte im Prinzip in zwei Schritten. In einem ersten Schritt wurden die Corine - Klassen mit gemischter Landbedeckung („242, 243 und 411“, siehe Anhang 4) soweit als nötig bzw. möglich umgewidmet. In einem zweiten Schritt wurde gemäß von Plausibilitäten, dem Kriterium der „wahrscheinlichsten Landbedeckung“ (siehe Tab. 4) bei Bedarf weitere Flächenumwidmungen vorgenommen. Als Grenze der tolerierbaren Abweichung wurde ein Fehler von $\pm$5% zugelassen.

Zunächst wurden die Hauptklassen Siedlung gegenüber Wald, Acker und Grünland abgeglichen, um der Ausbreitung der Flächenversiegelung Rechnung zu tragen (siehe Tab. 4). Aufgrund der großen Abweichungen in den Werten zu den Verkehrsflächen wurde hier noch ein spezieller Arbeitsschritt eingefügt, da für Verkehrsflächen keine Umwidmungskriterien erstellt werden konnten. In der CORINE Karte werden Verkehrsflächen als linienhafte Elemente offenbar nur sehr unzureichend erfasst. Außerdem wird in der Klasse Siedlung in CORINE nicht zwischen Verkehrsflächen und eigentlichen Siedlungsflächen unterschieden. Deshalb wurde mit Hilfe der Verkehrswegekarten aus ARC Deutschland (ESRI 1993) der Anteil der Verkehrsflächen innerhalb und außerhalb von Siedlungsflächen anhand der Längenverhältnisse abgeschätzt. Der prozentuale Anteil der Verkehrsflächen innerhalb der Siedlungsflächen wurde anschließend zu der Klasse Siedlung der FlEhe addiert, der verbleibende Anteil wurde den übrigen Landbedeckungsklassen entsprechend ihres jeweiligen Anteils an der Gesamtfläche prozentual zugeschlagen. Auch diese Modifikation der Flächenerhebungsdaten wurde landkreisweise durchgeführt.

Tab. 4: Arbeitsschritte der Flächenumwidmung (siehe auch Anhang 6)

<table>
<tr><th>Arbeitschritt</th><th>Kriterien</th></tr>
<tr><td>CORINE rastern</td><td>Polygone → 250 x 250m Auflösung</td></tr>
<tr><td>CORINE reklassifizieren</td><td>Siedlung, Wald und Wasser zusammenfassen<br>Siedlung (100 – 199) → 100<br>Wald (311 – 313) → 310<br>Wasser (500 – 599) → 500</td></tr>
<tr><td>Flächenerhebung mit Hilfe der Bodennutzungs-haupterhebung disaggre-gieren</td><td>Berechnen des prozentualen Anteils der Acker- Grünland- und Gartenlandflächen an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche in der Bodennutzungshaupterhe-bung<br>Landwirtschaftliche Flächen der Flächenerhebung werden anhand dieser Pro-zentwerte disaggregiert</td></tr>
<tr><td>Anpassen der außerhalb von Siedlungen liegen-den Verkehrsfläche</td><td>Kreisweises Berechnen des Anteils von Verkehrswegen in- und außerhalb der Siedlungen: relative Längen aus arc500 Strassen und Bahn-Daten auf Verkehrs-fläche in Flächenerhebung bezogen<br>Der Anteil der außerhalb von Siedlungen liegenden Verkehrsfläche wurde pro-zentual auf Acker, Grünland und Wald aufgeschlagen</td></tr>
<tr><td>Anpassen der Siedlungsfläche</td><td>Acker, Grünland, Wald-Strauch und Wald (sofern CORINE um mind. 5% über-bewertet) sowie Mischpixel (242 und 243) können zu Siedlungsflächen umge-widmet werden<br>Voraussetzung: im Kreis wird Siedlungsfläche unterschätzt (um mind. 5%) und in einem 3*3 Fenster besteht die Mehrzahl der Zellen aus Siedlungsfläche (fo-calmajority)</td></tr>
<tr><td>Anpassen der Waldfläche</td><td>Wenn im Kreis Wald um mehr als 5% unterschätzt wird, können Mischpixel (243) und Wald-Strauch-Pixel (324), in Wald umgewidmet werden</td></tr>
<tr><td colspan="2">Umwidmung der Mischklassen</td></tr>
<tr><td>Sumpfflächen (411)</td><td>Wenn 411+412 > Moorfläche (Flächenerhebung) → 411-Überschuß umwidmen zu Grünland<br>Wenn 411+412 < Moorfläche (Flächenerhebung) → 411 zu Moor</td></tr>
<tr><td>Rest der 242 und 243 - Mischpixel</td><td>Maximum Likelihood - Reklassifikation<br>eingehende Kriterien:<br>Bodenwertzahl<br>Hangneigung und –exposition<br>Höhe über NN<br>Grundwasserflurabstand<br>Mittlere Jahrestemperatur</td></tr>
<tr><td>Evaluation der Acker- und Grünlandstandorte</td><td>
<table>
<tr><th></th><th>Bewer-tung nach Marks</th><th>Hangnei-gung (Grad)</th><th>Grundwasserf lurabstand (dm)</th><th>Jahres mittel-temperatur</th><th>Bodenwert-zahlen</th></tr>
<tr><td>0</td><td>0</td><td>> 15</td><td>0 - 2</td><td>< 6°</td><td>Min in Kreis</td></tr>
<tr><td>0 - 100</td><td>1 – 3</td><td>7 - 15</td><td>2 - 8</td><td>>6 – 8°</td><td>Min<BWZ<Max</td></tr>
<tr><td>100</td><td>> 4</td><td>< 7</td><td>> 8</td><td>>8°</td><td>Max in Kreis</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Umwidmung Acker - Grünland</td><td>
<table>
<tr><th>Grünland<br>Acker</th><th>von CORINE überschätzt</th><th>von CORINE unterschätzt</th></tr>
<tr><td>von CORINE überschätzt</td><td>-----</td><td>Acker-Überschuss zu Grünland (1)</td></tr>
<tr><td>von CORINE unterschätzt</td><td>Grünland-Überschuss zu Acker (1)</td><td>----</td></tr>
</table>
(1) aber nur, bis Unterschätzung aufgefüllt ist
</td></tr>
</table>

Anschließend wurden die Landbedeckungsklasse „243: Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe“, die bis zu 75% Wald enthalten kann (siehe Anhang 4) in Wald umgewandelt, wenn dieser im entsprechenden Kreis unterschätzt wurde.

Im einem weiteren Schritt wurde die Landbedeckungsklasse „411: Sümpfe“, die per Definition auch landwirtschaftlich genutztes Land enthalten kann, entsprechend der Werte der Flächennutzungshaupterhebung in Moor oder Grünland umgewidmet.

Die nun vorhandenen Flächen an Acker und Grünland wurden dann je nach Vorgaben der Flächenerhebung bei Bedarf in die entsprechende Klasse umgewidmet, wobei die Kriterien Hangneigung, Grundwasserflurabstand, mittlere Jahrestemperatur und Ackerzahl als Hilfsgrößen verwendet wurden. Dies entspricht dem Konzept des Ertragspotentials nach Marks et al. (1992).

Da mit diesem Verfahren die Ackerflächen als zuletzt bearbeitete Landbedeckungsklasse erheblich überschätzt wurden, erfolgte zum Abschluss eine Rücküberführung der zu Acker umgewandelten Mischklasse in die ursprünglichen Klassen 242 und 243, die damit einen Teil des Restfehlers bzgl. der Flächenzuweisung bilden.

Die CORINE - Klasse 2.2 „Dauerkulturen“ mit den Unterklassen „221 Weinbauflächen“ und „222 Obst- und Beerenobstbestände“ wurden nicht weiter bearbeitet, da hier keine eindeutigen Umwidmungskriterien zur Verfügung standen. Für die Zuordnung von Weinbauflächen sind detaillierte Informationen zu Hangneigung und Exposition im betreffenden Gebiet notwendig, zu deren Ableitung das zur Verfügung stehende Geländemodell nicht ausreichte.

Die Sonderkultur „Hopfen“ wurde in einem zusätzlichen Schritt auf die Ackerfläche verteilt, da die Zuordnung zu einer CORINE – Klasse nicht eindeutig zu klären war. Dies geschah in Hinblick auf die besondere Rolle dieser Kultur bezüglich der Erosionsgefährdung und des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln. Allerdings ist der Flächenanteil dieser Kultur an der Gesamtfläche nur äußerst gering.

Eine zusammenfassende Beschreibung der technischen Arbeitsschritte ist auch in Anhang 6 zu finden.

### 2.3.2 Übertragung der Bodennutzungshaupterhebung auf die Landbedeckungsklasse „Acker“

Für die Generierung einer Karte der aktuellen Landnutzung wurden nun die Informationen aus der Bodennutzungshaupterhebung auf die Landbedeckungsklasse „Acker“ der korrigierten CORINE – Karte übertragen. Dies erfolgte unter der Annahme, dass die durch die Art der Da-

tenerfassung bedingten Abweichungen zwischen Flächenerhebung und Bodennutzungshaupterhebung (siehe Kap. 2.1) prozentual homogen über alle Landnutzungsarten und alle Flächengrößen verteilt sind. Unter dieser Annahme wurden die Anteile der einzelnen Fruchtarten der Bodennutzungshaupterhebung über die dazugehörenden Flächenangaben in Prozentanteile umgerechnet und diese Werte auf die Klasse Acker der Flächennutzungshaupterhebung bzw. der CORINE - Karte übertragen.

Die Angaben wurden zu 5 Hauptgruppen, Winter- und Sommergetreide, Winter- und Sommerhack- bzw. -blattfrüchte sowie Brache zusammengefasst. Damit ist es möglich, aus den Daten der Bodennutzungshaupterhebung typische Fruchtfolgen pro Landkreis direkt abzuleiten und damit auch Zeitreihen fortzuschreiben. Ferner war die Aggregierung auch für die Bestimmung des Bodenbedeckungszeitraumes (siehe Kap.2.4.1) notwendig, da keine detaillierten Informationen pro Fruchtart zur Verfügung standen, bzw. die Werte sich nur sehr geringfügig unterscheiden.

Die Verteilung der Fruchtarten auf die Ackerfläche erfolgte mit Hilfe eines Zufallgenerators. Dabei werden pro Landkreis die Anteile der jeweiligen Kulturarten entsprechend den Angaben aus der BoHe auf die Ackerflächen verteilt. Für die Ermittlung der bodenbedeckungsabhängigen Gefährdungspotentiale (z.B. mittlerer Abtrag), kann damit die durchschnittliche Bedeckung pro Ackerzelle über eine Mittelwertbildung aus mehreren Berechnungen der aktuellen Bodenbedeckung ermittelt werden. Alternativ können über Ausschlusskriterien (siehe Anhang 13) typische Fruchtfolgen aus den Daten der BoHe generiert und diese als Zeitreihe jeder Ackerzelle zugewiesen werden. Die Verteilung per Zufallsprinzip garantiert, dass alle Kombinationen von Standortsfaktoren eine entsprechende zeitlich variierende Landbedeckung aufweisen. Einzige Voraussetzung ist eine ausreichende Anzahl an Simulationsläufen, die vom Anbauspektrum an Kulturarten pro Landkreis abhängig ist.

Das beschriebene Verfahren wurde gewählt, da typische Fruchtfolgen nur für wenige Gebiete, im wesentlichen für Brandenburg (Wechsung et al. 2000) und Bayern (Schwertmann et al. 1987) zur Verfügung standen. Eine bundesweit durchgeführte telefonische Befragung von Fachbehörden, unterstützt durch eine Literatur- und Internetrecherche ergab keine ausreichende Informationsgrundlage bzgl. typischer Fruchtfolgen im Bundesgebiet. Sind detailliertere Informationen verfügbar, so kann das Verfahren auch zur Verteilung einzelner Kulturarten auf die Ackerflächen verwendet werden. Da sich nach Schwertmann et al. (1987) der Bodenabtrag unter früh- und spätauflaufendem Getreide deutlich unterscheidet, wurde dies für Winterweizen quasi exemplarisch durchgeführt, indem der Anteil des Winterweizens am Wintergetreide ausgewiesen und ebenfalls zufällig auf die Felder mit Wintergetreide verteilt wurde.

Eine Fortschreibung der Landbedeckung kann entsprechend den Vorgaben aus den Agrarfachstatistiken mit diesem Modul routinemäßig erfolgen. Eine retrospektive Untersuchung der

Landbedeckung / Landnutzung ist damit ebenfalls möglich. Voraussetzung hierfür sind jedoch Karten der Kreisgrenzen zu den entsprechenden Stichjahren der statistischen Erhebungen, da gerade in den ostdeutschen Bundesländern sich die Kreisgrenzen häufig ändern. Nach Prüfung der Geometrie und der Kreisschlüssel im Vergleich zu den Agrarfachstatistikdaten kann dann die CORINE Karten mit den Daten aus der Flächenerhebung des betreffenden Stichjahres mit Hilfe des beschriebenen Verfahrens abgeglichen werden und/oder die Kulturarten einer entsprechenden Bodenutzungshaupterhebung auf die Ackerfläche verteilt werden.

## 2.4 Abschätzung von Gefährdungspotentialen

Mit Hilfe der Karte der aktuellen Landnutzung wurde in einem weiteren Schritt exemplarisch eine Reihe von Gefährdungspotentialen abgeschätzt. Es wurden der Bodenabtrag durch Wasser, die Verdichtungsgefährdung, der Einsatz von Dünge- und von Pflanzenschutzmitteln bilanziert.

### 2.4.1 Bodenerosion durch Wasser

Für die Erfassung der Bodenerosion durch Wasser existiert eine Vielzahl von Modellen. Eine Übersicht gibt beispielsweise von Werner (1995). Prinzipiell lassen sich zwei Ansätze unterscheiden. Prozessbasierte Modelle, die jedoch aufgrund des hohen Bedarfs an Parametern und Rechenzeit nur für kleinräumige Berechnungen einsetzbar sind und empirische Modelle, die im wesentlichen auf statistischen in Experimenten erhobenen Wechselbeziehungen zwischen Standortseigenschaften und Bodenabtrag beruhen. Zu den Letzteren zählt auch die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) dem zur Zeit wohl gebräuchlichsten Verfahren für eine großräumige Abschätzung der Erosionsgefährdung (Schwertmann et al. 1987, KA4 1994, GLA 2000), das auch in dieser Studie verwendet wurde. Sie basiert auf der Universal Soil Loss Equation (USLE) (Wischmeier & Smith 1978) und wurde beispielsweise von Schwertmann et al. (1987) für das Bundesland Bayern angepasst. Berechnungen der potentiellen Erosion ohne Berücksichtigung der Bodenbedeckung und -bearbeitung liegen auch für die Bundesländer Hessen (Gündra et al. 1995) und Nordrhein-Westfalen (GLA 2000), aber auch für die Fläche der Bundesrepublik Deutschland (ILL in Vorb.) vor.

Die Allgemeine Bodenabtragsgleichung lautet:

A = R * K * L * S * P * C
mit:
A = langjährig zu erwartender mittlerer Bodenabtrag in t / (ha * a)
R = Regenerosivitätsfaktor in N / (h * a), wobei N = Newton
K = Bodenerodierbarkeitsfaktor in (t * h) / (ha * N), wobei N = Newton
L = Faktor zur Berücksichtigung der erosionswirksamen Hanglänge (dimensionslos)
S = Hangneigungsfaktor (dimensionslos)
P = Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen (dimensionslos)
C = Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (dimensionslos)

Die Definition und die für die Berechnung zur Verfügung stehenden Datengrundlagen sind im Folgenden erläutert:

- Regenerosivitätsfaktor R

  Der R-Faktor ist ein Maß für die gebietsspezifische Erosionswirksamkeit der Niederschläge. Sein Zahlenwert entspricht der Summe des Produktes aus kinetischer Energie und maximaler 30-Minuten-Intensität ($I_{30}$) für alle erosionswirksamen Einzelregen (Ereignisse mit einer Gesamt-Niederschlagsmenge (N) von mindestens 10 mm, bzw., wenn N < 10 mm, mit einer $I_{30}$ > 10 mm/h), die an einem Standort während des Jahres auftreten (LFU, 1995).

  Zwei verschiedene Datengrundlagen standen zur Verfügung:

  1. Isoerodentenkarte von Deutschland (Sauerborn 1994) in digitaler Form bereit gestellt von der BGR abgeleitet aus Meßwerten von 139 Wetterstationen, wobei die Qualität des Zusammenhangs zwischen Niederschlagswerten und Erosivität von Süden nach Norden stark abnimmt (Sauerborn 1994) Die Ableitung der Erosivität aus Niederschlagsdaten erfordert zeitlich hochauflösende Datenreihen, die nur an meteorologischen Stationen zur Verfügung stehen (siehe Anhang 7).
  2. Regenerosivität abgeleitet aus den mittleren monatlichen Niederschlagssummen des Zeitraums 1961-1990 in 1 x 1 km Raster vorliegend (Quelle DWD)

  Hochauflösende Niederschlagskarten erfassen die kleinräumige Variabilität der Niederschläge besser als auf meteorologischen Stationsdaten beruhende Berechnungen, da im Falle der vorliegenden Karte auch die Daten des wesentlich dichteren Niederschlagsmessnetzes des DWD, sowie eine höhenabhängige Interpolation der Werte in den Datensatz eingingen. Deshalb wurden die R-Faktoren auch auf der Basis dieser Daten berechnet. Für die Berechnung der Regenerosivität aus Monatswerten des Niederschlags werden eine Reihe

von verschiedenen Regressionsbeziehungen angegeben. Davon wurden drei Regressionsgleichungen ausgewählt:

$R = -5 + 0.15 * N_s$ ($r^2 = 0.69$, n=116)

Wobei

$N_s$ = Sommerniederschlagssumme Mai – Okt (mm)

nach Auerswald, (unveröffentlicht, LFU, 1995), gültig für das Gebiet Deutschlands, Österreichs und der Schweiz unter Verwendung von Sommerniederschlägen, Zeitraum 1. Mai – 31. Oktober)

$R = -2.82 + 0.0788 * N_j$ ($r^2 = 0.62$, n= 139)

Wobei

$N_j$ = Jahresniederschlagssumme (mm)

nach Sauerborn (1994) für das Gebiet der BRD, unter Verwendung von Jahresniederschlägen und

$R = 0{,}141 * N_s – 1.48$ ($r^2 = 0{,}92$, n = 18)

Wobei

$N_s$ = Sommerniederschlagssumme Mai – Okt (mm)

nach Schwertmann et al. (1987), gültig für das Bundesland Bayern.

- Bodenerodierbarkeitsfaktor K

  Der K-Faktor berechnet sich nach folgender Formel:

  K = 2.77 * 10**-6 * M**1.14 * (12 - OS) + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (4 - D)

  Wobei:

  M = (% Schluff + Feinstsand) * (% Schluff + % Sand)

  OS = % organische Substanz

  A = Aggregatklasse

  D = Durchlässigkeitsklasse

  Die Werte der K-Faktoren wurden von der BGR nach KA4 (1994) und Hennings (2000) für jede Leitbodenassoziation berechnet und für das Vorhaben in Form einer Zuordnungstabelle zur Verfügung gestellt. Die Werte wurden Bodeneinheiten der BÜK1000 relational zugeordnet und direkt verwendet (siehe auch Anhang 5).

- Faktor zur Berücksichtigung der erosionswirksamen Hanglänge L

  In Kombination mit dem S – Faktor gibt der L – Faktor das Verhältnis des Abtrags eines Hanges im Verhältnis zu einem Standardhang mit 22 m Länge und 9% Hangneigung an.

  Die Berechnung der Hanglänge erfordert neben der Hangneigung auch genaue Kenntnisse über die Größe und Beschaffenheit der Feldfluren, da Böschungen, Schlaggrenzen und kleine Depressionen die erosionswirksame Hanglänge begrenzen. Diese Werte sind aus den zur Verfügung stehenden digitalen Höhenmodellen nicht ableitbar. Datensätze mit adäquater räumlicher Auflösung liefern die Biotoptypenkartierungen oder die Amtlichen Topographisch Kartographischen Informationssysteme (ATKIS) der Bundesländer. Digitale flächendeckende Daten der Biotoptypenkartierung stehen zur Zeit nur für die Bundesländer Brandenburg und Thüringen zur Verfügung. Da dies für eine bundesweit repräsentative Erfassung der durchschnittlichen Feldgrößen nicht ausreichte, wurde angelehnt an die verwendete räumliche Auflösung für die Hanglänge ein bundesweit einheitlicher Wert von 250 m verwendet.

  Da die Hanglänge im Verhältnis zur Hangneigung unterproportional in die Abtragsgleichung eingeht, ist der damit verbundene Fehler relativ gering.

$L = (l/22)^m$

mit:

l = Hanglänge (m)

m = der empirisch ermittelte hangneigungsabhängige Hanglängenexponent mit Werten zwischen 0.15 und 0.5 (siehe Tab. 5)

Tab. 5: m-Werte aus Schwertmann et al. (1987)

| **Hangneigung %** | **m** |
|---|---|
| <= 0.5 | 0.15 |
| 0.6-1.0 | 0.20 |
| 1.1-3.4 | 0.30 |
| 3.5-4.9 | 0.40 |
| >= 5.0 | 0.50 |

- Hangneigungsfaktor S

  Die Hangneigungen wurden aus den Daten des digitalen Höhenmodells 1 x 1 km (Hastings & Dunbar 1999) nach der Formel von Wischmeier & Smith (1978) berechnet:

  $S = 65.41 * \sin^2(slope) + 4.56 * \sin(slope) + 0.065$

  mit:
  slope = Hangneigung (% / 100)

  Wichtungsfaktoren, wie sie in Schwertmann et al. (1987) für unregelmäßig geformte Hänge angegeben sind, können auf der untersuchten Maßstabsebene nicht berücksichtigt werden.

- Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen P

  Der Wert des P - Faktors hängt von Hangneigung und –länge, sowie in hohem Maße von der Art der Bewirtschaftung und damit individuell von Schutzmaßnahmen des Bewirtschafters ab. Beispielsweise kann Kontur- und/oder Streifennutzung die erosive Wirksamkeit der Niederschläge bis zu einem gewissen Maß reduzieren (Schwertmann et al. 1987).

  Tab. 6: P –Faktoren für Kontur- und Streifennutzung aus Schwertmann et al. (1987)

| Hangneigung (%) | Maximale Hanglänge (m) für wirksame Konturnutzung | P-Faktor für Konturnutzung | Maximale Länge des Gesamthanges (m) | Streifenbreite (m) | P-Faktor Streifennutzung |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 – 2 | 130 | 0.6 | 250 | 40 | 0.45 |
| 3 – 5 | 100 | 0.5 | 200 | 30 | 0.38 |
| 6 – 8 | 70 | 0.5 | 150 | 30 | 0.38 |
| 9 - 12 | 40 | 0.6 | 80 | 25 | 0.45 |
| 13 - 16 | 30 | 0.7 | 50 | 25 | 0.52 |
| 17 - 20 | 20 | 0.8 | 40 | 20 | 0.60 |
| 21 - 25 | 17 | 0.9 | k. A. | k. A | k. A |

  Für Schwarzbrache gilt der Wert P = 1 als höchstmöglicher Wert (KA 4, 1994). In den Fallbeispielen Nordrhein-Westfalen (GLA, 2000) und Baden-Württemberg (LFU, 1995) werden keine Werte zum P-Faktor angegeben. Schwertmann et al. 1987 geben Werte abhängig von Hangneigung, Hanglänge und Streifenbreite der Konturnutzung zwischen etwa 0,4 und 0,9 an. Da detailliertere Informationen nicht zur Verfügung standen, wurde der Einfluss von Bewirtschaftungsmaßnahmen auf die Erosionsrate pauschal unter drei verschiedenen Annahmen berechnet:

  - Keine Schutzmaßnahmen P = 1
  - Konturnutzung unter Einhaltung der maximalen Hanglänge (Tab. 6)

- Streifennutzung unter Einhaltung der maximalen Hanglänge (Tab. 6)

- Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor C

  In vielen Berechnungen des Bodenabtrages wird der C-Faktor mit 1 = Schwarzbrache angesetzt und damit die potentielle Erosionsgefährdung berechnet. Mit Hilfe der Karte der aktuellen Landnutzung konnte der C-Faktor den tatsächlichen Gegebenheiten besser angepasst werden und damit die aktuelle Erosionsgefährdung berechnet werden.

  Die Anfälligkeit eines Bodens wird von der Vegetationsbedeckung und dem Oberbodenzustand im Verhältnis zu der Erosivität der Niederschläge bestimmt. Der C-Faktor errechnet sich aus:

$$C = \sum_{i=1}^{n} (RBA_i * RRA_i) / n$$

wobei:

| | |
|---|---|
| $RBA_i$ | relativer Bodenabtrag für die Kulturperiode i |
| $RRA_i$ | Relativer Anteil der Periode i am Jahres - R-Faktor ($RRA_{i+1} – RRA_i$) |
| n | Zahl der Jahre, die eine Rotation umfasst |

  Die erste der beiden genannten Größen wird als Prozentanteil im Verhältnis zur Schwarzbrache (=100%) angegeben und als relativer Bodenabtrag (RBA) bezeichnet. Für die Bestimmung des relativen Anteils der Regenerosivität (RRA) am Abtrag in der jeweiligen Kulturperiode werden tägliche Werte benötigt. Damit wird auch deutlich, dass der R-Faktor zweimal in die ABAG eingeht.

  Für die Ermittlung des C-Faktors werden außerdem neben Informationen zum RBA Wert der angebauten Kulturarten die sogenannten Kulturperioden von der Bodenbearbeitung bis zur Ernte benötigt. Da auch diese Informationen nur für das Bundesland Bayern zur Verfügung standen, wurden diese Angaben aus Schwertmann et al. (1987) mit Hilfe von Daten des phänologischen Messnetzes des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf die gesamte Fläche der BRD extrapoliert.

  Dafür wurden alle verfügbaren Daten für den Zeitraum 1970 - 1999 ausgelesen und die Werte der verschiedenen Kulturarten den entsprechendenden Hauptgruppen zugewiesen. Daraus ergaben sich für jede Kulturartengruppe (Wintergetreide, Sommergetreide, Winterblattfrüchte, Sommerblattfrüchte) 4 verschiedene phänologische Stadien („Bestellung“, „Aufgang“, „Blüte“ / „Ährenschieben“ / „Bestand geschlossen“, „Ernte“). Diese wurden wiederum über die Karte der naturräumlichen Einheiten (digitale Karte des BFN siehe Anhang 8) der Fläche des Naturraums zugewiesen, wobei die 86 Naturraumgruppen (Einheiten 2. Ordnung) verwendet wurden, da hiermit die beste Übereinstimmung zwischen verfügbaren

Phänologiedaten und höchstmöglicher räumlicher Auflösung erzielt wurde. Damit wurde vorausgesetzt, dass jede naturräumliche Einheit für die jeweiligen Ackerflächen in sich homogene klimatische Bedingungen und damit weitgehend gleiche Kulturtermine repräsentiert. Eine Übersicht über die verfügbaren Daten und die Karte der naturräumlichen Einheiten ist in Anhang 8 zu finden. Der in Schwertmann et al. (1987) angegebene Beginn der 6 Kulturperioden (Bodenbearbeitung – Saatbett, Saatbett bis 10%, 10% - 50%, 50% -75%, 75% Bodenbedeckung bis Ernte, Ernte bis Saatbett) für das Bundesland Bayern wurden mit den Angaben aus der Phänologiedatenbank für den Termin „Bestellung“ ergänzt, wobei hierfür nur die Phänologiedaten des Bundeslandes Bayern verwendet wurden. Die absoluten Angaben über das jeweilige phänologische Stadium (Tag und Monat im Jahr) wurden anschließend in Prozentanteile des jeweiligen Termins des Beginns der Kulturperiode im Verhältnis zur gesamten Vegetationsperiode umgerechnet (Tab. 7).

Tab. 7: Beginn der Kulturperiode in % der Vegetationszeit. Die Werte in Klammern geben die mittleren Tage im Jahr für das Bundesland Bayern an (nach Schwertmann et al. 1987) ergänzt mit Phänologiedaten des DWD (DWD 2001).

| **Kulturartengruppe** | **Beginn der Kulturperiode** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| | BB – S | | S - 10% | | 10 - 50% | | 50 - 75% | | 75% - E | | E - S | |
| Winterweizen | 0 | (277) | 5 | (293) | 50 | (69) | 61 | (105) | 64 | (114) | 100 | (227) |
| Wintergetreide | 0 | (252) | 5 | (269) | 11 | (288) | 21 | (322) | 58 | (77) | 100 | (212) |
| Sommergetreide | 0 | (60) | 10 | (77) | 27 | (105) | 33 | (115) | 37 | (121) | 100 | (225) |
| Winterblattfrucht | 0 | (220) | 3 | (232) | 8 | (248) | 18 | (283) | 29 | (319) | 100 | (201) |
| Sommerblattfrucht | 0 | (79) | 11 | (100) | 37 | (153) | 46 | (171) | 52 | (182) | 100 | (278) |

BB = Bodenbearbeitung; S = Saatbett; E = Ernte
Winterblattfrucht = Winterraps
Sommerblattfrucht = Zuckerrübe, (Silo-)Mais, Kartoffel

Nach einer Homogenisierung und Ergänzung der Phänologiedaten wurden die phänologischen Stadien „Bestellung“ und „Ernte“ pro naturräumlicher Einheit als Eckdaten verwendet, um daraus die übrigen Kulturtermine mit Hilfe der Prozentwerte zu berechnen (siehe Abb. 2).

Damit stehen für jede Kulturartengruppe und jede naturräumliche Einheit Informationen für den Beginn der 6 in Schwertmann et al (1987) aufgeführten Perioden zur Verfügung, wobei die Bodenbedeckung abhängig von der gesamten Vegetationszeit räumlich variiert.

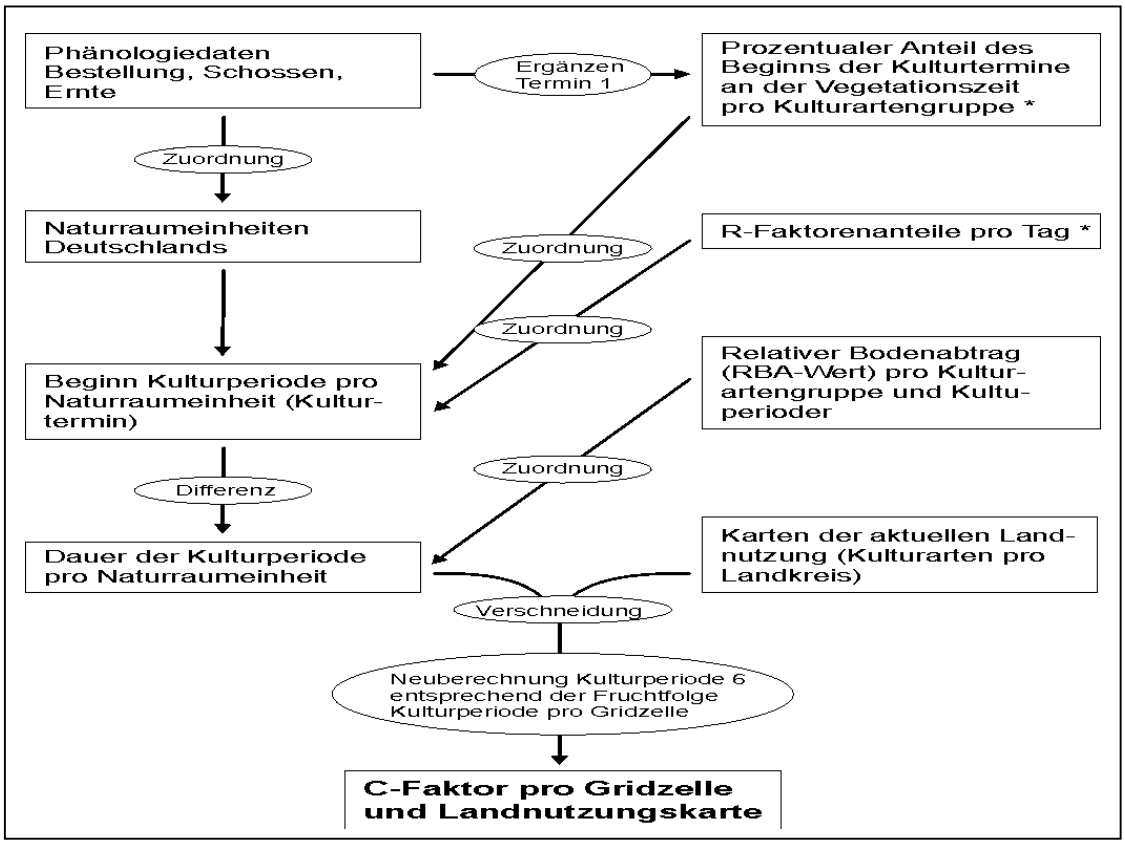



Abb. 2: Schema der Berechnung der C-Faktoren

Mit Hilfe dieser Daten, den jeweils Schwertmann et al. (1987) entnommene relativen Bodenabtragswerten pro Kulturartengruppe (RBA – Werte, siehe Tab. 8) und den Angaben zu den täglichen Summenprozenten der R - Faktorenanteile (RRA - Werte, siehe Anhang 9) sowie den 12 Karten der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit den zufällig verteilten Kulturen (siehe Kap. 2.3.2) kann ein mittlerer Wert des C – Faktors pro Ackergridzelle berechnet werden. Um der unterschiedlichen Länge der Kulturperiode 6 (Ernte bis Saatbettbereitung) entsprechend der „Fruchtfolge“ pro Ackergridzelle Rechnung zu tragen, wurde abschließen die Länge dieser Periode aus den 12 Bodennutzungskarten neu berechnet.

Die Wirkung spezifischer Bodenbearbeitungstechniken wie Mulchen, Minimalbodenbearbeitung (minimum tillage) und weiterer bodenschonender Verfahren auf den Abtrag kann durch Einsetzen entsprechender RBA – Werte für die verschiedenen Wachstumsperioden und Kulturarten untersucht werden (Tab. 8). Schwieriger ist eine Bewertung der Regenerosivität unter sich ändernden Niederschlagsbedingungen, da hierfür zeitlich hochauflösende Niederschlagsdaten ausgewertet werden müssen. Es wurden für alle Berechnungen bundesweit dieselben RRA Werte, errechnet aus den Werten von 18 Niederschlagsstationen in Bayern (Schwertmann et al. 1987) verwendet. Dies impliziert die Annahme, daß auch bei unter-

schiedlichen Niederschlagsmengen die Zahl der erosiv wirksamen Niederschlagsereignisse gleich ist.

Tab. 8: Relativer Bodenabtrag pro Kulturperiode und Kulturartengruppe für konventionelle (fett) und bodenschonende Bewirtschaftungsweise (aus Schwertmann et al. 1987)

| **Kulturartengruppe** | **Relativer Bodenabtrag (RBA) während der Kulturperiode** | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | |
| | BB - S | | S - 10% | | 10 - 50% | | 50 - 75% | | 75% - E | | E - S | |
| Winterweizen | **32** | 8 | **46** | 8 | **38** | 6 | **3** | 1 | **1** | 1 | **2** | 2 |
| Wintergetreide | **32** | 8 | **46** | 8 | **38** | 6 | **3** | 1 | **1** | 1 | **2** | 2 |
| Sommergetreide | **32** | 8 | **46** | 8 | **38** | 6 | **3** | 1 | **1** | 1 | **2** | 2 |
| Winterblattfrucht | **32** | 32 | **46** | 46 | **38** | 38 | **3** | 3 | **1** | 1 | **2** | 2 |
| Sommerblattfrucht | **32** | 8 | **86** | 10 | **43** | 7 | **7** | 3 | **6** | 2 | **44** | 13 |

„bodenschonende Variante“: Getreide: Minimalbodenbearbeitung; Winterblattfrucht: konventionelle Bearbeitung ; Sommerblattfrucht: Mulchsaat

Für die RBA Werte wurden zwei Kombinationen untersucht (Tab. 8):

- Konventionelle Bodenbewirtschaftung
- Minimalbodenbearbeitung für Getreide, Mulchsaat bei Sommerhackfrucht und konventionelle Bewirtschaftung bei Winterhackfrucht.

### 2.4.2 Bodenverdichtung

Böden weisen unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber einer Verdichtung durch mechanische Belastungen auf. Die Gefährdung der Böden bzgl. einer Verdichtung mit negativen Wirkungen auf Gefügestabilität und Ertragspotential hängt im wesentlichen von ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften (Vorbelastung) und der Art der Bewirtschaftung ab.

Für die pauschale Ermittlung der Vorbelastung der Böden ohne standortsbezogene Messwerte wurde eine Reihe von empirischen, bodenartbezogenen Regressionsgleichungen entwickelt, mit Hilfe derer unter Einbeziehung bodenphysikalischer und –chemischer Eigenschaften wie der Trockenrohdichte, der Luft- und nutzbaren Feldkapazität, des Totwasser- und Humusgehaltes und der Kohäsion und des Winkels der inneren Reibung die Vorbelastung bei pF 1.8 berechnet werden kann (DIN 19688). Stehen keine ausreichenden Informationen für die genannten Parameter zur Verfügung, kann auch der Bodenart pauschal eine Vorbelastungsstufe in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte zugewiesen werden. Letzteres Verfahren wurde von der BGR auf die BÜK1000 angewendet und die Ergebnisse für dieses Vorhaben zur Verfügung gestellt. Entsprechend der zur Zeit noch kritisch zu beurteilenden Qualität der Regressionsver-

fahren (Schäfer-Landefeld & Brandhuber 2001) und der auf der betrachteten Maßstabsebene zur Verfügung stehenden Informationen aus der BÜK1000, scheint diese pauschale Zuordnung von Vorbelastungsstufen die gegenwärtig bestmögliche Beschreibung der Vorbelastung zu sein.

Neben den Bodeneigenschaften ist als zweite Komponenten die Bodenbelastung durch die Bewirtschaftung von entscheidender Bedeutung. Hierzu zählen insbesondere die Bodennutzung, die Art und Häufigkeit der durchgeführten Arbeitsgänge und die technische Auslegung der verwendeten Arbeitsgeräte (Zapf 1997). Die Produktionsfläche wird dabei je nach Kulturart und eingesetztem Gerät mehr oder wenig häufig überrollt. Neben der Überrollhäufigkeit ist auch die räumliche Verteilung von Radlasten und Drücken von großer Bedeutung für die mechanische Belastung der Böden. So sind feuchte Tonböden anfälliger als Sandböden, da an der Lastaufnahme beteiligtes Kapillarwasser bei mehrfachen Überrollen zunehmend ausgedrückt wird. Aber auch Sand und sandige Lehmböden mit stark heterogenen Korngrößenverteilungen sind relativ verdichtungsempfindlich. Hohe Achslasten können zu einer nachhaltigen Verdichtung des Unterbodens führen, die nur durch spezielle Maßnahmen (Tiefpflügen) mit hohem technischen Aufwand gemindert werden können. Um dies zu vermeiden, wurden Empfehlungen für kulturartenspezifische maximale Radlasten und Drücke erarbeitet (siehe auch Håkansson & Reeder 1994).

Tab. 9: Spurflächensumme aller Radpassagen in % innerhalb einer Produktionsperiode für typische Produktionspraxis in Bayern (aus Zapf 1997)

| Kulturart | Spurflächensumme (%) |
|---|---|
| Winterweizen (Gülle) | 290 |
| Winterraps | 320 |
| Wintergerste | 320 |
| Winterweizen | 350 |
| Wintergerste (Gülle) | 350 |
| Zuckerrübe | 500 |
| Silomais (Gülle) | 520 |
| Kartoffeln | 580 |

Ein ohne detaillierte Kenntnis der Bewirtschaftungspraxis einer Fläche einsetzbarer Indikator für die Bodenbelastung ist die Spurflächensumme (Zapf, 1997). Diese schwankt beispielsweise in Bayern je nach Kulturart zwischen 290% für Winterweizen mit Gülleausbringung und 580% bei Kartoffel (Tab. 9). Dies bedeutet, dass jede Fläche theoretisch 2,9 – 5,8 mal überfahren wird, wobei der Anteil der überfahrenden Fläche von Kulturart zu Kulturart variiert. So ist beispielsweise der Anteil unbefahrener Flächen pro Nutzfläche bei Zuckerrübe sehr gering (9%)

und bei Silomais relativ hoch (28%). Dafür werden bei Silomais 29% der Nutzfläche sehr häufig befahren (> 10) während bei Zuckerrübe dies nur bei 6% der Fläche der Fall ist.

Für eine erste vorläufige Abschätzung der Verdichtungsgefährdung der Böden wurden daher die Vorbelastungsstufen der Böden den Einheiten der BÜK1000 relational zugewiesen (siehe auch Anhang 5). Aus der prozentualen Verteilung der Kulturarten pro Landkreis wurde die Spurflächensumme abgeschätzt und diese Information mit der Karte der Vorbelastungsstufen verschnitten. Durch Multiplikation der Vorbelastungsstufe mit der Spurflächensumme konnte in erster Näherung eine Verdichtungsgefährdung pro Landkreis als qualitativer Wert geschätzt werden.

### 2.4.3 Nährstoffbilanzierung auf landwirtschaftlichen Flächen

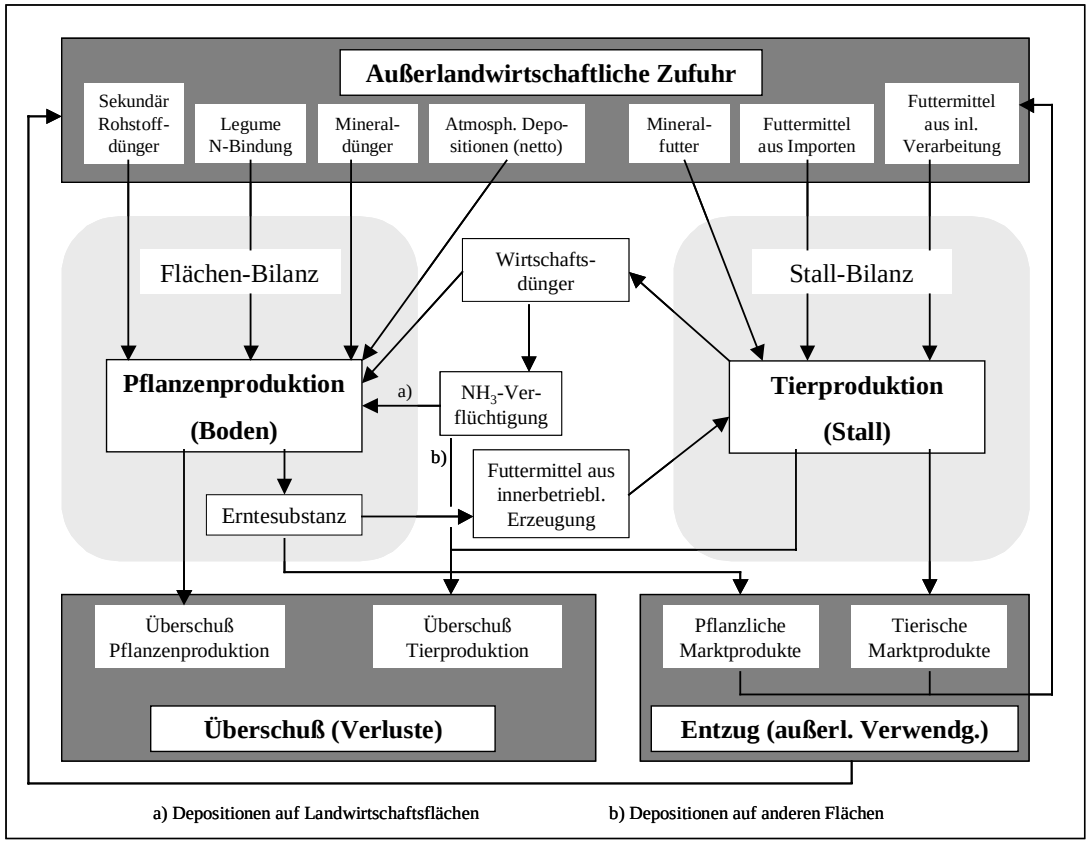



Abb. 3: Fließschema der vollständigen nationalen Mineralbilanz für die Landwirtschaft nach PARCOM - Richtlinie (nach Bach et al. 1997, S.13)

Bei einer Bilanzierung von Nährstoffen im Agrarsektor lassen sich nach PARCOM-Richtlinien (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung) (PARCOM 1993) verschiedene Vorgehensweisen unterscheiden. Neben der „nationalen Grundmineralbilanz“ (auch sektorale

oder „Hoftor-Bilanz“) gibt es die vollständige nationale Mineralbilanz. Bei erstgenannter wird der Agrarsektor als ein „Hof“ betrachtet, in den Nährstoffe einfließen (Mineraldünger, extern erzeugte Futtermittel) bzw. dem Nährstoffe entzogen werden (Verkauf landwirtschaftlicher Produkte an andere Sektoren). Stoffflüsse innerhalb dieses „Hofes“ können nicht berücksichtigt werden. Die vollständige nationale Mineralbilanz stellt eine Ergänzung zur sektoralen Bilanz dar, da sie einen Einblick in die intrasektoralen Stoffflüsse durch eine Aufgliederung in Flächen- und Stallbilanz ermöglicht (Bach et al. 1997). Werden bei der Flächenbilanz Nährstoffflüsse im Produktionssystem „Pflanze“ berechnet, so umfasst die „Stallbilanz“ den Bereich der Tierproduktion (siehe Abb. 3). Stoffflüsse zwischen „Fläche“ und „Stall“ (z.B. Ausbringung des Wirtschaftsdüngers auf hofeigener Fläche; Verfütterung intern erzeugter Futtermittel an betriebseigenes Vieh) können bei diesem Verfahren ausgewiesen und differenziert betrachtet werden.

#### 2.4.3.1 Ermittlung von Nährstoffüberschüssen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen anhand des im RAUMIS implementierten Umweltindikators „Nährstoffbilanzen“

Zur Abbildung landwirtschaftlich bedingter Umweltwirkungen im Bereich Nährstoff- und Pflanzenschutzmittelaufwand wird im Rahmen dieser Studie das Regionalisierte Agrar- und Umweltinformationssystem RAUMIS verwendet. RAUMIS stellt ein Simulationsmodell dar, welches eine Analyse möglicher Entwicklungen von Produktion, Faktoreinsatz und Wertschöpfung in der deutschen Landwirtschaft sowie eine Darstellung der daraus resultierenden Einwirkungen auf Natur und Umwelt auf Kreisebene ermöglicht (Henrichsmeyer et al. 1996).

Um den Einfluss der Landwirtschaft auf die Umwelt einschätzen zu können, sind im RAUMIS verschiedene Umweltindikatoren implementiert. Zur flächendeckenden Bilanzierung diffuser Nährstoffeinträge auf landwirtschaftlichen Flächen dient hierbei der Indikator „Nährstoffbilanzen“.Die im RAUMIS praktizierte Vorgehensweise zur Bilanzierung landwirtschaftlicher Nährstoffflüsse stellt eine Zwischenposition der beiden nach PARCOM unterschiedenen Methoden dar (siehe Kap. 2.4.3). Ergänzend zur nationalen Grundbilanz ist die Abbildung einzelner intrasektoraler Stoffflüsse, wie z.B. die ausgebrachte Menge an Wirtschaftsdünger, möglich. Den Anspruch einer vollständigen nationalen Mineralbilanz erfüllt die Vorgehensweise im RAUMIS jedoch nur teilweise, da Inputgrößen der Pflanzen- (Sekundäre Rohstoffdünger) und Tierproduktion (Mineralfuttermittel, Futtermittel aus Importen, inländischer Verarbeitung sowie hofeigener Erzeugung) nicht als externe Daten in die Bilanzierung mit einfließen.

Im RAUMIS ist die Erstellung einer Nährstoffbilanz für die Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) möglich. Die Anzahl der zu bilanzierenden Positionen hängt von dem jeweils betrachteten Nährstoff ab und ist für Stickstoff am umfangreichsten (siehe Tab. 10).

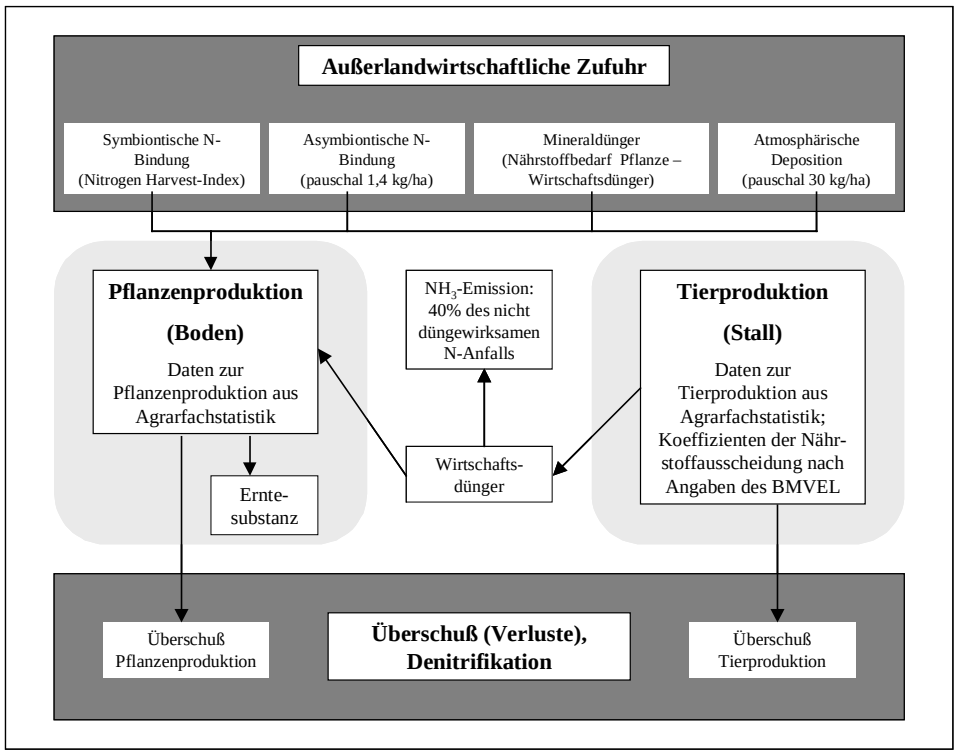



Abb. 4: Positionen der Nährstoffbilanzierung im Modellsystem RAUMIS (nach Bach et al. 1997, S. 13 verändert)

Tab. 10: Positionen der Nährstoffbilanz im Modellsystem RAUMIS für N, P und K (nach Henrichsmeyer et al. 1996, S. 177 verändert)

| | | N | P | K |
|---|---|---|---|---|
| Nährstoffzufuhr | Wirtschaftsdünger | X | X | X |
| | Mineralischer Dünger | X | X | X |
| | Symbiontische N-Fixierung | X | | |
| | Asymbiontische N-Fixierung | X | | |
| | Atmosphärische Einträge | X | | |
| Nährstoffentzüge bzw. –verluste | Entzüge durch das Erntegut | X | X | X |
| | Ammoniakverluste | X | | |
| Nährstoffbilanzsaldo | Auswaschung / Anreicherung im Boden | X | X | X |
| | Denitrifikation | X | | |

Nährstoffzufuhr und Nährstoffentzug bzw. -verlust werden bei der Bilanzierung gegenübergestellt, um somit den Nährstoffsaldo eines Landkreises zu errechnen. Ein hierdurch ermittelter Nährstoffüberschuss kann als potenzielle Gefahrenquelle diffuser Nährstoffeinträge in Gewässer interpretiert werden. Die Höhe möglicher, durch Denitrifikation bedingter N-Verluste wird im RAUMIS allerdings nicht ermittelt und muss insofern im Bilanzsaldo als zusätzliche Position berücksichtigt werden.

Zusätzlich ist ein Zusammenspiel verschiedener ökohydrologischer Modelle wie z.B. SWIM (Soil and Water Integrated Model; Krysanova & Becker 1997) oder MONERIS (Modelling Nutrient Emissions in River Systems; Behrendt et al. 1999) mit RAUMIS denkbar. Im RAUMIS ermittelte Bilanzüberschüsse könnten dabei als Eingangsdaten genutzt werden, um Nährstofffrachten in Fließgewässern abzubilden.

#### 2.4.3.2 Vergleich von Aufbau und Ergebnissen der Nährstoffbilanzierung des Modellsystems RAUMIS mit anderen Studien

In dem folgendem Kapitel werden die einzelnen Positionen der Nährstoffbilanzierung des Modells RAUMIS näher betrachtet. Um einen besseren Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten einer Berechnung der Bilanzpositionen zu gewährleisten, wird dies im Vergleich mit den Ergebnissen zweier weiterer Studien getan (siehe Tab. 11). Diese sollen hier kurz vorgestellt werden:

Im Rahmen einer Studie im Auftrag des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) wurde von Bach et al. (1997) eine Bilanzierung der Nährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium in der Bundesrepublik Deutschland nach PARCOM-Richtlinien durchgeführt. Ziel der Untersuchung war die Bereitstellung einer fundierten, konsensfähigen Datenbasis, mit deren Hilfe Eintragsmengen von N, P und K aus der Landwirtschaft in die Hydrosphäre bzw. Atmosphäre ermittelt werden können.

Nieder & Schollmayer (1988) führten eine Abschätzung der potenziellen Nitratbelastung des Grundwassers durch landwirtschaftliche Nutzung für das Bundesland Nordrhein-Westfalen durch.

Tab. 11: Vergleich der Berechnung einzelner Positionen einer Nährstoffbilanzierung anhand von drei verschiedenen Modellen

| | **RAUMIS** | **Bach / Frede / Lang** | **Nieder / Schollmayer** |
|---|---|---|---|
| Nährstoff | N, P, K | N, P, K | N |
| Abbildungs-ebene | Landkreis | Bundesrepublik Deutschland (Alte Länder / Neue Länder) | Gemeinde |
| Abbildungs-raum | Bundesrepublik Deutschland | Bundesrepublik Deutschland | Bundesland Nordrhein-Westfalen |
| Wirtschafts-dünger | Ja:<br>Umfang der Tierproduktionsverfahren einer Region werden modellendogen auf Grundlage der Agrarfachstatistik erstellt<br>Koeffizienten der Nährstoffausscheidung basieren auf Angaben des BMVEL<br>Ermittlung von Mineraldüngeräquiva-lenten für N durch ein Güllemodul<br>Ermittlung der N-Rücklieferung durch verbleibende Nebenprodukte anhand eines N-Rücklieferungsindex für Hauptfrüchte | Ja:<br>Umfang der Tierproduktionsverfahren einer Region werden modellendogen auf Grundlage der Agrarfachstatistik erstellt (Stückzahl je Viehart artenspezifischer N-Anfall je Tierart)<br>Koeffizienten der Nährstoffausscheidung basieren auf Angaben der Verwaltungsvorschrift zur DVO | Ja:<br>Berücksichtigung über Vieh-Besatzdichte pro ha LF ausgedrückt in Düngeinheiten<br>Datengrundlage durch Viehzählung des Landesamtes für Datenverarbeitung und Statistik<br>Dungeinheit entspricht 80 kg N/a (nach Gülleverordnung NRW)<br>N-Zufuhr = Tierzahl einer Gemeinde * spez. N-Anfall pro Stück |
| Mineraldünger | Ja:<br>Nährstoffbedarf der Pflanze wird aus langjähriger Trend- schätzung des Ertrages abgeleitet<br>Nährstoffbedarf abzüglich pflanzen-verfügbarem Nährstoff aus Wirtschaftsdünger entspricht Mineraldüngermenge<br>Anschließend angleichende Korrektur der Mineraldünger-Aufwendung nach Handelsdüngerstatistik | Ja:<br>Nährstoffbedarf der Pflanze abzüglich pflanzenverfügbarem Nährstoff aus Wirtschaftsdünger entspricht Mineraldüngermenge | Ja:<br>Nach Schätzverfahren der Landwirtschaftskammern Rheinland und Westfalen-Lippe<br>N-Bedarf und –Zufuhr richtet sich nach Ertragserwartung einer Anbaufrucht in einer bestimmten Region<br>Höhe der N-Bedarfsempfehlung entspricht N-Gesamtbedarf abzüglich des nutzbaren N-Anteils im Wirtschaftsdünger |
| Sekundär-rohstoffdünger | Nein:<br>Wird nicht berücksichtigt | Ja:<br>Klärschlamm wird berücksichtigt | Nein:<br>Wird nicht berücksichtigt |
| Symbiontische N-Fixierung | Ja:<br>Richtet sich nach Anbauumfang der Leguminosen | Ja:<br>Richtet sich nach Anbauumfang der Leguminosen | Nein:<br>Kein N-Düngebedarf bei Leguminosen |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | Ermittlung der N-Rücklieferung durch Leguminosen anhand des „Nitrogen-Harvest-Index“ auf Ackerflächen | Summe der Anbauflächen der Leguminosen spezifischer N-Fixierleistung (nach Verwaltungsvorschrift DVO) | N-Bedarf wird über Rhizobien gedeckt<br>Keine Berücksichtigung einer zusätzlichen N-Fixierleistung |
| Asymbiontische N-Fixierung | Ja:<br>pauschal 1,4 kg/ha | Nein:<br>wird nicht berücksichtigt | Nein:<br>es werden pauschal 30 kg / ha veranschlagt (Blaualgen und Rhizospärenbakterien)<br>siehe hierzu auch Schollmayer & Nieder (1989) |
| N-Eintrag aus der Atmosphäre | Ja:<br>pauschal 30 kg/ha | Ja:<br>Pauschal 10 kg/ha aus außerlandwirtschaftlichen Quellen | Ja:<br>pauschal 50 kg/ha<br>Berücksichtigung der trockenen und der nassen Deposition |
| N-Mehrbedarfsfaktor | Ja:<br>standortspezifische Besonderheiten (nFK, Bodenverhältnisse, Niederschlag) werden bei Bedarfsberechnung für N berücksichtigt | Nein:<br>N-Bedarfsfaktor nicht vorhanden | Nein:<br>N-Bedarfsfaktor nicht vorhanden |
| Nährstoff-entzug | Ja:<br>Erfolgt auf Grundlage der im Modell ermittelten regionalen Umfänge der Pflanzenproduktions-verfahren<br>Berücksichtigung von Koeffizienten zu Nährstoffgehalten im Erntegut (Quelle BMVEL)<br>Berücksichtigung von Ammoniakemissionen (entspricht 40% des nicht düngewirksam werdenden N-Anfalls aus der Tierproduktion) | Ja:<br>Summe der Erträge der jeweiligen Kulturart Nährstoffgehalt der betreffenden Frucht<br>Mittlere Nährstoffgehalte im Erntegut werden Verwaltungsvorschrift zur DVO entnommen<br>Es werden 20% Lagerungs- und Ausbringungsverluste für N veranschlagt | Ja:<br>Ermittelt aus Erntemenge und N-Gehalt der jeweiligen Frucht<br>Erntemenge wird aus Bodennutzungshaupterhebung geschätzt<br>N-Entzug durch Stroh für Einstreu in Höhe von 8 kg N/Rind*a (nur für Rinder)<br>N-Entzug durch Rübenblatt-Verfütterung in Höhe von 15 kg/ha*a<br>Pauschal wird ein N-Entzug von 30 kg/ha*a durch Denitrifikation angenommen |

Quelle: Zusammenstellung von Informationen aus
1.) Henrichsmeyer et al. (1996),
2.) Bach et al. (1997) und
3.) Nieder und Schollmayer (1988)

Bei der Berechnung der Stallbilanz berücksichtigen Bach et al. (1997) die Zufuhr von Nährstoffen in den Stall in Form von inner- und außerbetrieblichen Futtermitteln sowie den Entzug in Form von tierischen Marktprodukten und Wirtschaftsdünger. Da die errechnete Outputgröße,

bedingt durch eine relativ grobe Datenlage bei der Ermittlung des Wirtschaftsdüngers, nicht mit dem Umfang des Nährstoffinputs übereinstimmt, wird die Differenz als Residualgröße „tierischer Überschuss“ bei der Gesamtbilanzierung dem Nährstoffüberschuss zugeschlagen (Bach mündl. Mitt. 21.08.2001; siehe auch Abb. 3).

Im RAUMIS sind zwar die Umfänge der Futtermittel sowie der tierischen Marktprodukte bekannt, jedoch nicht deren Nährstoffgehalte. Eine Berechnung des „tierischen Überschusses“ ist insofern im RAUMIS bislang nicht möglich. Um diese Unsicherheiten bei der Nährstoffbilanzierung jedoch ausschließen zu können, werden die von Bach et al. (1997) berechneten Werte genutzt, um einen zusätzlichen „tierischen Überschuss“ im RAUMIS für das Jahr 1999 zu schätzen.

Für diese Schätzung wurde zunächst anhand der von Bach et al. (1997) ausgewiesenen Daten der Umfang eines jeden Nährstoffs für den Bilanzposten „tierischer Überschusses“ der Jahre 1990 bis 1995 festgestellt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da seit 1990 Daten sowohl für die alten als auch für die neuen Bundesländer zur Verfügung stehen. Die so ermittelten Werte wurden mit dem Umfang des jeweiligen Nährstoffs im bei Bach et al. (1997) ausgewiesenen Wirtschaftsdüngers verglichen und somit das prozentuale Verhältnis des Nährstoffgehalts aus tierischem Überschuss zu Wirtschaftsdünger errechnet. Der Durchschnittswert der einzelnen prozentualen Jahreswerte wurde zur Berechnung des tierischen Überschusses für das Jahr 1999 genutzt.

Vor dem Hintergrund dieser Vorgehensweise liegt der im RAUMIS für das Jahr 1999 ausgewiesene Umfang des tierischen Überschusses

- für Stickstoff bei 20%,
- für Phosphor bei 41% und
- für Kalium bei 6%

des jeweiligen Nährstoffgehaltes aus dem im RAUMIS ausgewiesenen Wirtschaftsdünger. Die so ermittelte Residualgröße „tierischer Überschuss“ geht bei der Anwendung des Umweltindikators „Nährstoffbilanzen“ im RAUMIS als zusätzlicher Bilanzposten in die Berechnung des Nährstoffüberschusses mit ein. An dieser Stelle sei noch vermerkt, dass Herkunft und Verbleib des Nährstoffaufkommens der Residualgröße „tierischer Überschuss“, der sich aus der Stallbilanz ergibt, unbekannt ist. In dieser Studie wird diese Bilanzkomponente dem Wirtschaftsdünger zugeschlagen, da die Ausscheidungskoeffizienten der tierischen Haltungsverfahren als relativ unsicher anzusehen sind. Bezüglich der Herkunft und des Verbleibs der Residualgröße „tierischer Überschuss“ besteht weiterer Forschungsbedarf.

### 2.4.4 Analyse des Pflanzenschutzmitteleinsatzes auf landwirtschaftlich genutzten Flächen

Bei der Kultivierung landwirtschaftlicher Flächen lassen sich verschiedene Formen des Pflanzenschutzes unterscheiden.

Der chemische Pflanzenschutz beinhaltet die Verwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln (synthetisch hergestellte Wirkstoffe oder Wirkstoffkombinationen) sowie Wachstumsregulatoren. Während chemische Pflanzenschutzmittel zur Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern (Herbizide), gegen pilzliche Schädlinge (Fungizide), Insekten (Insektizide) und andere Schadorganismen (Nematizide, Arkadizide, usw.) eingesetzt werden, beeinflussen Wachstumsregulatoren das Wachstum der Kulturpflanze (Dehio 1993).

Formen des nicht-chemischen Pflanzenschutzes sind biologischer, biotechnischer und physikalischer sowie indirekter Natur (Standortwahl, Fruchtfolge, Sorten- und Saatgutwahl).

In der vorliegenden Studie werden chemische Pflanzenschutzmittel Gegenstand der Untersuchung sein. Hierbei soll zunächst überprüft werden, inwieweit zum gegenwärtigen Zeitpunkt eine standardisierte, fruchtartenspezifische Wirkstoffzuweisung möglich ist. In einem zweiten Schritt wird ein im RAUMIS implementierter Umweltindikator verwandt, um den monetären Pflanzenschutzmittelaufwand für die einzelnen Landkreise der BRD zu berechnen (siehe Kapitel 3.3.5).

#### 2.4.4.1 Berechnung des monetären Pflanzenschutzmittelaufwandes auf Kreisebene für die BRD im RAUMIS

Die Ausbringung chemischer Pflanzenschutzmittel auf landwirtschaftlich genutzter Fläche geht einher mit Belastungen sowohl biotischer als auch abiotischer Faktoren. Neben negativen Auswirkungen auf Boden und Artenvielfalt ist vor allem die Belastung der Gewässer ein vordringliches Problem beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (Dehio 1993).

Auf Modellebene sind eine Reihe von Ansätzen vorhanden, um Einträge von Pestiziden in Gewässer abzubilden. Eine Übersicht verschiedener Modelle der Mikro-, Meso- und Makroskala geben Bach et al. (2000, S.22 ff.).

Bezüglich des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln stehen über das Modell RAUMIS kalkulatorische Kosten je Fruchtart und Landkreis zur Verfügung (Henrichsmeyer et al. 1996). Hierbei wird die Höhe des monetären Pflanzenschutzmitteleinsatzes ermittelt, indem zunächst die kulturartspezifischen Aufwendungen mit den kreisspezifischen Flächenumfängen multipliziert werden. Anschließend werden die Gesamtaufwendungen durch die kreisspezifischen landwirtschaftlich genutzten Flächen dividiert (Dehio 1993).

Zu Pflanzenschutzmittelwirkstoffen und deren Einsatzmengen liegen im RAUMIS keine Kalkulationsdaten vor, so dass hier nur eine grobe Risikoabschätzung vorgenommen werden kann. Möglichkeiten einer modellhaften Kopplung einzelner Wirkstoffe an landwirtschaftliche Kulturarten werden im folgenden Kapitel untersucht. Hier soll ebenfalls die Machbarkeit einer Implementierung von Wirkstoffzuweisungen im Modell RAUMIS überprüft werden.

#### 2.4.4.2 Möglichkeiten der Zuweisung einzelner Pflanzenschutzmittelwirkstoffe zu den landwirtschaftlichen Kulturarten

Zur Untersuchung der Machbarkeit einer Kopplung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen an landwirtschaftliche Kulturarten wurden verschiedene Recherchemöglichkeiten genutzt. Neben einer Literaturrecherche wurden sowohl telefonisch als auch auf direktem Wege Expertengespräche geführt.

Im Rahmen der Literaturrecherche wurde vornehmlich versucht, Literatur zu Sichten, die sich direkt mit der Kopplung von Pflanzenschutzmitteln an landwirtschaftliche Kulturarten beschäftigen. Darüber hinaus wurden  Studien aus dem weiteren Umfeld des Themas herangezogen, auch wenn sie nur einen indirekten Bezug auf die Problematik aufweisen..

1. Schätzung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer Deutschlands (Bach et al. 2000).

   Die im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführte Studie schätzt anhand des Modells DRIP (**D**rainage- and **R**unoff- **I**nput of **P**esticides in Surface Waters from Agricultural landuse) jährliche Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus diffusen Quellen in die Oberflächengewässer Deutschlands. Mit Hilfe des Modells wurde die mittlere Jahresfracht in Fließgewässer-Einzugsgebiete sowie insgesamt in Deutschland für jeweils 42 Wirkstoffe differenziert nach drei diffusen Eintragspfaden (Drainage, Oberflächenabfluss, Abdrift) abgebildet. Bei der Interpretation der Modellergebnisse wurde der Beitrag einzelner Kulturarten sowie einzelner Wirkstoffe zum gesamten diffusen Eintrag, differenziert nach den drei oben genannten Eintragspfaden, diskutiert.

2. Analyse der agrar- und umweltrelevanten Auswirkungen von Auflagen und Steuern im Pflanzenschutzmittelbereich (Dehio 1993).

   Im Rahmen dieser Arbeit wurden die kurz- bis mittelfristigen agrar- und umweltrelevanten Auswirkungen einer flächendeckenden Ausweitung aller in Wasserschutzgebieten geltenden Pflanzenschutzauflagen sowie einer Besteuerung chemischer Pflanzenschutzmittel für die alten Länder der BRD analysiert.

Das Agrarsektormodel RAUMIS (siehe Kapitel 2.4.3.1) wurde hierbei genutzt, um die agrar- und umweltpolitisch bedingten Anpassungen des Pflanzenschutzmitteleinsatzes, der sonstigen Vorleistungsintensität, der Erträge und der Produktionsstruktur sowie der daraus resultierenden Veränderungen der sektoralen und regional differenzierten Einkommensgrößen und der Umwelt abzubilden.

3. Quantifizierung der Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel in Fließgewässer (Fischer 1996).

   Ziel der Arbeit war die quantitative Erfassung diffuser und punktueller Einträge von Pflanzenschutzmitteln in Fließgewässer. Hierbei wurde zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt und in einem zweiten Schritt eine eigene Gewässeruntersuchung vorgenommen.

   Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass Hofabläufe, die über die kommunalen Kläranlagen in die Gewässer eingetragen werden, eine entscheidende Rolle bei der Belastung von Fließgewässern durch Pflanzenschutzmittel spielen.

4. Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer durch Abfluss (Lang & Hurle 1997).

   Diese Studie beschäftigt sich mit der Frage, welche Rolle der Abfluss bei der Kontamination von Oberflächengewässern auf größeren Flächen bei natürlichen Witterungsbedingungen spielt. Es wurde untersucht, welche Flächenanteile neben einem Gewässer zu dessen Kontamination beitragen. Anhand einer Feldstudie wurde auf zwei hängigen Ackerflächen der Austrag von Pflanzenschutzmitteln durch Oberflächenabfluss in drei verschiedenen Kulturen (Mais, Zuckerrüben, Sommerweizen) mit verschiednen Herbizid-Wirkstoffen ermittelt.

5. Verhalten von Pestiziden in der Umwelt (Hornsby et al. 1996).

   Die Studie beschäftigt sich mit der Frage, mit welchem umweltschädlichen Potenzial Pflanzenschutzmittelwirkstoffe bei einer Anwendung in Erscheinung treten. Es wurden fünf Eigenschaften („selected property values“) definiert, die unter Berücksichtigung des Standortes und des Anwendungsbereiches des Wirkstoffs wichtige Informationen zu seinem Schadstoffpotenzial liefern.

   Die hierbei ausgewählten Eigenschaften lauten a) Wasserlöslichkeit, b) Flüchtigkeit, c) Neigung zur Sorption im Boden, d) Wirkungsdauer und e) Ionisierungspotenzial.

   Auf diese Weise wurde eine umfassende Datensammlung und Einteilung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen vorgenommen.

6. Die Anwendung des Modells SYNOPS 1.2 zur synoptischen Bewertung des Risikopotenzials von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen für den Naturhaushalt (Gutsche & Rossberg 2000).

Auf Basis eines Vergleichs der sieben am meisten angewendeten Wirkstoffe der Jahre 1987 und 1994 wurde mit Hilfe des Modells SYNOPS 1.2 (**Syn**optisches Bewertungsmodell für **P**flanzenschutzmittel) im Rahmen einer Studie überprüft, ob sich das Risikopotenzial für die Umwelt durch die Anwendung von Pflanzenschutzmittel seit Novellierung des Gesetzes zum Schutz der Kulturpflanzen 1986 verringert hat. Im Modell wurde „eine detaillierte Betrachtung des Anwendungsmusters der Wirkstoffe mit deren stoffinhärenten Eigenschaften" verbunden.

Zur Bestimmung des Risikopotenzials eines jeden Wirkstoffs wurde das jeweilige Anwendungsgebiet, dass heißt „die Menge aller möglichen Behandlungen gegen einen bestimmten Schadorganismus bzw. eine Schadorganismengruppe in einer bestimmten Kultur zu einem bestimmten Entwicklungsstadium dieser Kultur" berücksichtigt (näheres im Kapitel „direktes Expertengespräch").

In Ergänzung zu dem unter Punkt 6 aufgeführten Verfahren wurde am 14.08.2001 an der Biologischen Bundesanstalt in Kleinmachnow ein direktes Expertengespräch mit Herrn Prof. Dr. Volkmar Gutsche, mit folgendem Ergebnis durchgeführt: Zur Ermittlung des Risikopotenzials für den Naturhaushalt der am häufigsten angewandten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in der Bundesrepublik Deutschland wurde an der BBA (Biologische Bundesanstalt) das Bewertungsmodell SYNOPS entwickelt. Sowohl Anwendungsmuster als auch stoffinhärente Eigenschaften verschiedener Wirkstoffe werden modellintern berücksichtigt und ein Vergleich des Umweltrisikos landwirtschaftlicher Produktionssysteme als Ganzes ist mit Hilfe des Modells möglich. Die Auswahl der zu betrachtenden Wirkstoffe wird auf Grundlage der Wirkstoff-Absatzmeldungen der Pflanzenschutzmittel-Hersteller nach § 19 des PflschG (Pflanzenschutzgesetz) erstellt. Als Indikator - Organismen zur Abschätzung des biologischen Risikos dienen bislang Regenwürmer, Algen, *Daphnia* und Fische. Eine Ausdehnung auf weitere Indikator - Organismen des terrestrischen Bereiches ist angedacht.

Das Bewertungsverfahren gliedert sich in sieben Einzelschritte (Gutsche und Rossberg 1997, S.274):

1. Festlegung der zu vergleichenden Wirkstoffgruppen
2. a. Bestimmung der Anwendungsgebiete der Wirkstoffe in den Gruppen
   b. Ermittlung ihrer chemisch-physikalischen und ökotoxikologischen Eingangsgrößen
3. Berechnung der Befrachtung von Pflanze, Boden und Oberflächenwasser
4. Berechnung von Kennziffern der Umweltverfügbarkeit des Stoffes für die Kompartimente Boden, Wasser und Luft
5. Berechnung von Kennziffern des biologischen Risikos

6. Aggregation jeder Kennziffer
7. Relativierung und Visualisierung (Risikographen) der aggregierten Kennziffern der Wirkstoffgruppen

Ein Grund für die Entwicklung des Modells war die im Jahr 1986 durchgeführte Novellierung des Gesetzes zum Schutz der Kulturpflanzen (BML 1999). Mit Hilfe des Modells sollte festgestellt werden, ob sich das durch die Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln für die Umwelt ergebene Risikopotenzial seit der Novellierung verringert hat. Neben dieser Abschätzung des zeitlichen Trends von Risikopotenzialen auf nationaler Ebene ist durch die Anwendung des Modells SYNOPS außerdem eine Bewertung des Risikopotenzials unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien für die Produktion einer Kultur in einer bestimmten Region möglich.

Um Ergebnisse des Modells SYNOPS näher verifizieren zu können wird gegenwärtig der Aufbau eines „Netzwerkes zur Ermittlung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes in unterschiedlichen Naturräumen Deutschlands“ (NEPTUN; Gutsche, BBA, pers. Mitt. 2001) durchgeführt. Hierbei wird auf Naturraumebene der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln anhand einer strichprobenartigen Befragung ausgewählter Testbetriebe charakterisiert. Bei der Auswahl der Betriebe werden vorrangig Haupterwerbsbetriebe sowie Marktfruchtbetriebe berücksichtigt. Eine Betrachtung aller relevanter Kulturen des Ackerbaus ist vor diesem Hintergrund bereits durchgeführt worden und soll zukünftig auf weitere landwirtschaftliche Produktionsflächen (Weinbau, Sonderkulturen, etc.) ausgedehnt werden.

Des weiteren wird derzeitig an der BBA eine Erstellung thematischer, digitaler Risikokarten unter Verwendung der GIS-Technologie angestrebt (Gutsche, BBA, pers. Mitt. 2001). Die hierbei erstellten Karten sollen Hilfestellung bei Umsetzung und Umgang von Auflagen und Anwendungsbestimmungen beim Einsatz von Pflanzenschutzmitteln geben. Darüber hinaus wird eine Berücksichtigung der lokalen und regionalen expositionsmindernden Anwendungsbestimmungen möglich.

Durch die in SYNOPS durchgeführte Bewertung des Risikopotenzials einzelner Pflanzenschutzmittelwirkstoffe sowie der Berechnung der Aufwandmenge der Wirkstoffe je landwirtschaftlicher Kulturart ist die Ausweisung eines durchschnittlichen Risikopotenzials je Kulturart möglich.

Eine Abbildung dieser Risikopotenziale auf Kreisebene im RAUMIS wurde im Laufe des Gespräches ebenfalls diskutiert und eine mögliche zukünftige Umsetzung im Rahmen eines Forschungsprojektes angedacht. Als erstes Ergebnis dieser Diskussion soll ein nationaler Monitoringansatz zur Analyse des landnutzungsabhängigen, wirkstoffbasierten Pflanzenschutzmittelrisikos mit dem Ziel der Ausgestaltung einer effizienten Gewässerschutzpolitik erarbeitet werden (Sieber, IAP, Uni Bonn, pers. Mitt. 2002). Ziel dieses Ansatzes ist die methodische Entwicklung

eines Toxizitätsindex zur Bewertung des wirkstoffbasierten, landnutzungsabhängigen Pflanzenschutzmittelrisikos für Oberflächengewässer sowie dessen Implementierung im RAUMIS.

Bei der telefonischen Sammlung von Informationen zum Thema wurden im Mai 2001 drei Personen kontaktiert, die sich beruflich mit Pflanzenschutzmitteln und ihren Umweltwirkungen beschäftigen (siehe Anhang 10).

# 3. Ergebnisse

## 3.1 Konsistenzprüfung der Agrarfachstatistiken

Ziel ist die Ermittlung von Abweichungen der erhobenen Daten der Bodennutzungshaupterhebungen von 1995 und 1999 mit denen der Flächenerhebung von 1996. Ermittelte Unterschiede werden hierzu in Tabellen und mit Hilfe graphischer Visualisierungen unterstützend dargestellt und mögliche Ursachen für Abweichungen analysiert.

### 3.1.1 Berücksichtigung von Gebietsstandsänderungen

In einem ersten Schritt wurde die Datensammlung der Flächenerhebung und der Bodennutzungserhebungen für den Vergleich vorbereitet. Hierzu wurden alle relevanten Kreisdaten extrahiert, Kreisbezeichnungen und zugeordnete Nummern auf Stimmigkeit geprüft und gegebenenfalls aktualisiert. Probleme bereiteten dabei die Gebietsstandsänderungen in Sachsen von 1996 bei den Bodennutzungshaupterhebungen, welche in der Datenbasis zu Vergleichszwecken von 1995 und 1999 entsprechend berücksichtigt wurde:

1. Die fünf “alten“ Kreise – ehemalige (eh.) und neue Kreisnummern stehen in Klammern - Auerbach (eh.14013), Klingenthal (eh.14036), Oelsnitz (eh.14042), Plauen-Land (eh.14045) und Reichenbach (eh.14046) im Südwesten des Freistaates wurden zum Vogtlandkreis (14178) zusammengeschlossen.
2. Die “alten“ Kreise Hoyerswerda (eh.14095) und Kamenz (eh.14092) wurden gemeinsam mit einem Teil des Kreises Dresden-Land (eh.14094) zum Kreis Kamenz (14292) vereint. Gleichzeitig wurde die bisher zum gleichnamigen Landkreis zugehörige Stadt Hoyerswerda selbstständige kreisfreie Stadt (14264). Der andere Teil des Landkreises Dresden-Land wurde dem Kreis Meißen (eh.14080) zugeschlagen und das Aggregat in Meißen-Radebeul (14280) umbenannt.

Um die Daten der Bodennutzungshaupterhebungen mit denen der Flächenerhebung abzustimmen, konnten die Kreise unter Punkt eins einfach aggregiert werden. Für Punkt zwei musste der Kreis Dresden-Land aufgeteilt und die Stadt Hoyerswerda herausgerechnet werden.

### 3.1.2 Divergierende Vorgehensweise bei den Datenerhebungen und daraus resultierende Einschränkungen beim Datenvergleich

Bei dem Datenvergleich der drei Zeitreihen von Bodennutzungshaupterhebung (BoHe) und Flächenerhebung (FlEhe) muss zunächst das unterschiedliche Erhebungsprinzip zwischen der „landwirtschaftlich genutzte Fläche“ (LF) und der Landwirtschaftsfläche (1), zeitliche Unterschiede bei der Datenerhebung (2), das Problem der veränderten Abschneidegrenzen (3), die Aktualisierungsintervalle der Liegenschaftskataster (4) und die definitorischen Unterschiede (5) berücksichtigt werden.

1. Erhebungsprinzip / Erhebungseinheit

   Der Hauptunterschied beim Vergleich der Bodennutzungshaupterhebung mit der Flächenerhebung ist darauf zurück zu führen, dass die Bodennutzungshaupterhebung auf einer „... Betriebsbefragung basiert und der Nachweis der von den land- und forstwirtschaftlichen Betrieben bewirtschafteten Bodenfläche am Ort des Betriebssitzes erfolgt, unabhängig davon, in welcher Gemeinde die nachgewiesene Fläche liegt (Betriebssitzprinzip). Bei der Flächenerhebung werden dagegen alle Flächen der Gemeinde zugerechnet, in der sie gelegen sind (Belegenheitsprinzip).“ (StBa 1998)

   Betriebssitz und zugeordnete Flächen sind somit weder kongruent mit den Kreis- noch mit den Bundesländergrenzen. Dies gilt auch für die nationalen Außengrenzen. Da in der Agrarstatistik die Lage des Betriebsitzes ausschlaggebend ist, lassen sich hieraus folglich keine direkten Rückschlüsse auf die Katasterflächen der jeweiligen Gebietseinheit durchführen. Durch die Verwendung des Belegenheitsprinzips geben sich deshalb beim Vergleich der beiden Flächennutzungsstatistiken Verzerrungen innerhalb der Kreise, der Bundesländer wie auch, wegen vorgenanntem, auf Bundesebene mit den europäischen Nachbarländern.

2. Zeitliche Unterschiede

   Daten der zu vergleichenden Statistiken wurden zeitlich versetzt erhoben. Die insbesondere in der Landwirtschaft sich aus verändernden politischen, marktbezogenen und anderen ökonomischen Bedingungen resultierenden Nutzungsänderungen der Flächen führen schon zu einer grundsätzlichen Verzerrung auch im “zeitnahen“ Vergleich der BoHe 1995, wie auch 1999 mit der FlEhe 1996. Dieses Problem wird noch verschärft durch die in (4) formulierten „Time lags“ durch verzögerte Aktualisierung der Katasterflächen bei der Flächenerhebung.

3. Abschneidegrenzen

   Betriebe und ihre Flächen - auch Flächen bis kleiner ein ha ohne Betriebe - entfallen mit dem novellierten Agrarstatistikgesetz (BGBl 1992, S. 1633 – 1649) bei der Bodennutzungshaupterhebung im Rahmen der Landwirtschaftszählung von 1999 aus der Statistik, wenn sie über weniger als zwei Hektar Fläche (Forstwirtschaftliche Betriebe < 10 ha) verfügen oder bestimmte Tierbestandsmindestgrößen unterschreiten (siehe auch Anhang 2). Hier ist eine genaue Auflistung der veränderten Voraussetzungen für die betriebliche Auskunftspflicht bei bestimmten Mindestgrenzen von Pflanzen- und Tierbeständen verfügbar.

4. Aktualisierungsintervalle der Katasterflächen

   Ein zentrales Problem ist in diesem Zusammenhang die Erfassung von Flächenumwidmungen. Flächenumwidmungen zwischen den $100^{er}$-Positionen und auch den $10^{er}$-Positionen des AdV-Nutzungsartenschlüssels werden nicht immer dem Liegenschaftskataster gemeldet (z.B. Flächenumwidmung zwischen Grünland und Ackerland oder Grünland und Wald bei natürlicher Sukzession).

   Weiterhin zu berücksichtigen ist die nicht bundeseinheitliche Aktualisierung der Katasterflächen z.B. bei Nutzungsänderungen der erhobenen Flächen. Da diese Aktualisierungen auf Gemeindeebene (individuell) durchgeführt werden, ist auch auf Bundesländerebene die Berücksichtigung von Änderungen bei der Flächennutzung nicht einheitlich. Bundesweit einheitlich ist nur der Stichtag zum 31.12. eines jeden Jahres für die Übernahme von (aktuellen) Änderungen in die Flächenerhebung. So kann es im ungünstigen Fall über vier Jahre dauern, bis die Änderung auch in den Flächenerhebungen berücksichtigt werden (mündl. Mitt. Frau Nagel, Statistisches Bundesamt Wiesbaden).

5. Definitorische Unterschiede

   Die Landwirtschaftsfläche der FlEhe umfasst im Gegensatz zur „landwirtschaftlich genutzten Fläche“ der BoHe zusätzlich die Moor und Heideflächen sowie die Ziergarten- und Rasenflächen, private Parkanlagen der Betriebe und die nicht genutzte, aber landwirtschaftlich nutzbare Fläche (Sozialbrache).

   Alle vorgenannten Punkte können zu den im vorigen Abschnitt aufgezeigten Verzerrungen bei der FlEhe und BoHe führen. Einzelne potentielle Ursachen der Verzerrungen werden nun gezielter analysiert und mögliche Ursachen, wenn möglich, im Einzelnen näher erläutert.

### 3.1.3 Vergleich der Landwirtschaftsfläche (FlEhe) und der landwirtschaftlich genutzten Fläche (BoHe)

Bei einem Vergleich des Gesamtumfangs der Landwirtschaftsfläche (FlEhe) mit der landwirtschaftlich genutzten Fläche (BoHe) ist festzustellen, dass die Landwirtschaftsfläche aus den weiter oben angeführten Gründen im Jahr 1997 um ca. 2 Millionen Hektar größer ist als die landwirtschaftlich genutzte Fläche. Somit werden in der Bodennutzungshaupterhebung ca. 10% der Landwirtschaftsfläche nicht erfasst. Die seit 1999 gültige Abschneidegrenze bei der Bodennutzungshaupterhebung von Betrieben kleiner 2 Hektar verstärkt diesen Effekt.

Nachfolgend wird ein regionaler Vergleich beider Flächenstatistiken vorgenommen.

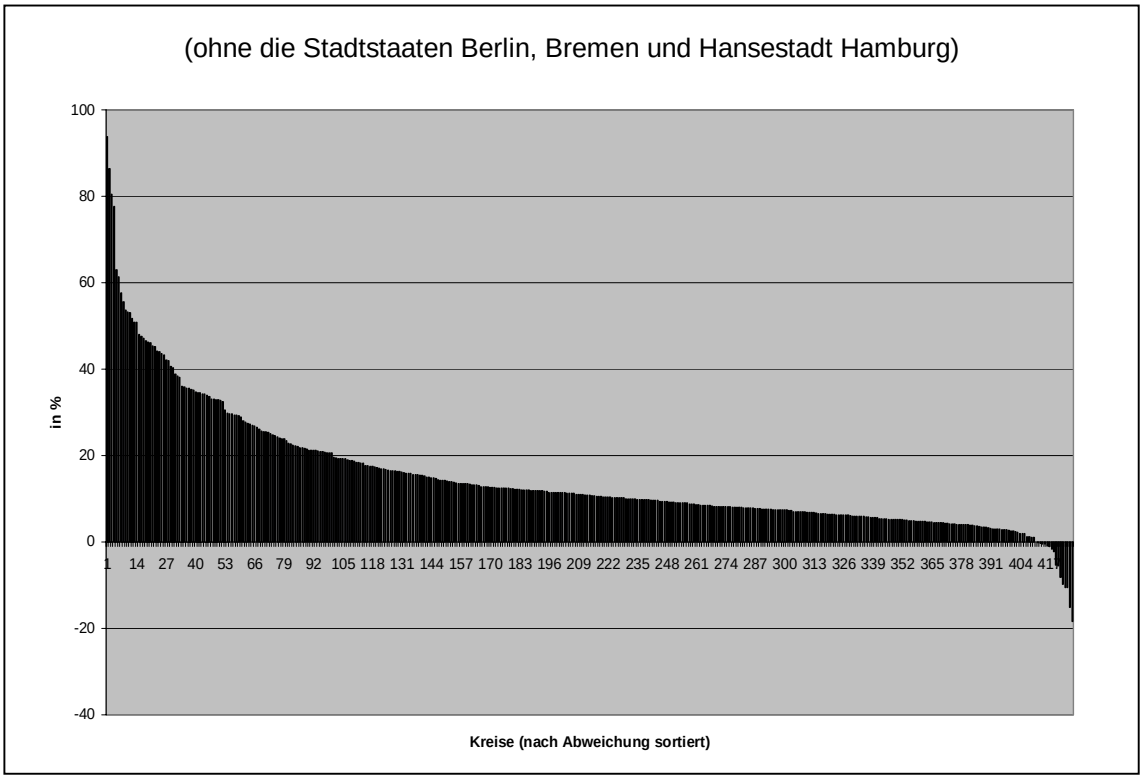



Abb. 5: Relative Abweichung der landwirtschaftlich genutzten Fläche (1995) von der Landwirtschaftsfläche (1997) auf Kreisebene (sortiert) in der Bundesrepublik Deutschland

In den Abbildungen 6 und 7 werden für jeden Kreis der Bundesrepublik Deutschland die Umfänge der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf der X-Achse und die Umfänge der Landwirtschaftsfläche auf der Y-Achse des Diagramms als Punkt dargestellt. Würden sich die Daten der jeweiligen Flächenstatistik entsprechen, so würden sich alle Punkte auf der Diagonalen des Diagramms befinden. Punkte, die oberhalb der Diagonalen liegen, zeigen an, dass in den entsprechenden Kreisen die Umfänge der Landwirtschaftsfläche größer sind als die Umfänge der

landwirtschaftlich genutzten Fläche. Für Punkte unterhalb der Diagonalen gilt die umgekehrte Aussage.

Ein Vergleich der BoHe 1995 und 1999 mit der Flächenerhebung 1996 zeigt, dass abgesehen von wenigen Ausnahmen die Landwirtschaftsfläche der Flächenerhebung auf Kreisebene größer ist als die landwirtschaftlich genutzte Fläche der Bodennutzungshaupterhebung.

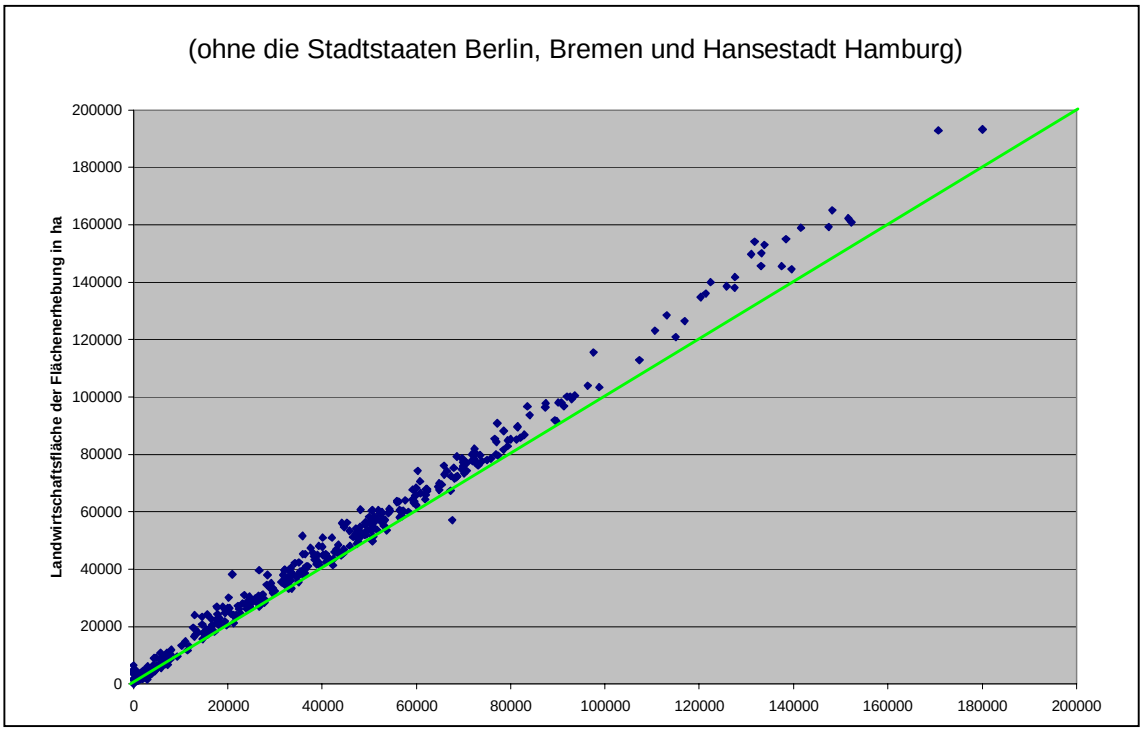



Abb. 6: Vergleich der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Bodennutzungshaupterhebung 1995 mit der Landwirtschaftsfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland

Diese Abweichung lässt sich hauptsächlich durch die Nichterhebung von Flächen wegen der zuvor erläuterten Abschneidegrenzen erklären. Der ermittelte Korrelationskoeffizient von ca. 0,5 zwischen dem prozentualen Anteil kleiner Betriebe bis zwei Hektar und der prozentualen Abweichung der ermittelten Flächen bei dem Vergleich von BoHe1995 und FlEhe1996 bestätigt diese Aussage.

Nur für wenige Kreise wird eine größere landwirtschaftlich genutzte Fläche im Vergleich zur Landwirtschaftsfläche ausgewiesen. Dies trifft zum einen für einige kreisfreie Städte (z.B. Frankenthal, Stralsund und Leipzig) und zum anderen für den Landkreis Vechta zu, der sich durch eine extrem hohe Viehbesatzdichte kennzeichnet. Es ist zu erwarten, dass viele landwirtschaftliche Betrieb des Kreises Vechta zur Einhaltung der Düngeverordnung und zur Erlangung der Tierprämien, die an Viehbesatzobergrenzen geknüpft sind, Flächen außerhalb des Kreises

zupachten. Somit dürften die Unterschiede zwischen den Flächenstatistiken in diesen Regionen hauptsächlich auf die unterschiedlichen Erhebungsprinzipien, die den Statistiken zu Grunde liegen, zurückzuführen sein.

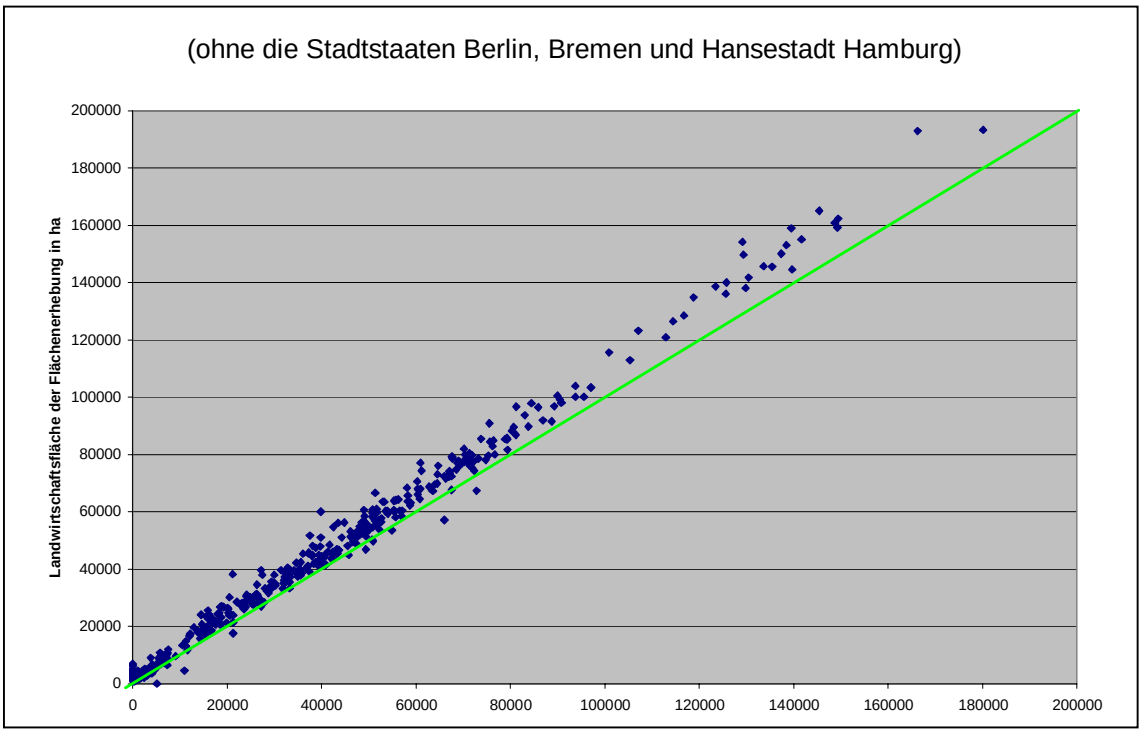



Abb. 7: Vergleich der landwirtschaftlich genutzten Fläche der Bodennutzungshaupterhebung 1999 mit der Landwirtschaftsfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland

### 3.1.4 Erklärungsbeiträge der untersuchten Erklärenden zu den regionalen Unterschieden zwischen den Flächenstatistiken

Nachfolgend wird der Einfluss von Faktoren (erklärenden Variablen) auf die regionalen Unterschiede zwischen den Flächenstatistiken (zu erklärende Variable) quantifiziert. Die Unterschiede zwischen den Statistiken werden anhand der prozentualen Relation zwischen Bohe zu FlEhe gemessen. Aus Gründen der Datenverfügbarkeit und der Gebietsstandsänderung in den neuen Bundesländern bezieht sich der Vergleich nur auf die Kreise des früheren Bundesgebietes (n = 318).

Die Zusammenhänge zwischen der zu erklärenden Variable und den erklärenden Variablen wurden auf der Basis einer multiplen Regressionsschätzungen quantifiziert. Folgende erklärende Variablen wurden einbezogen:

Anteil der kleinen Betriebe bis 2 Hektar an der Gesamtzahl der Betriebe, im Hinblick auf die Abschneidegrenze bei der Bodennutzungshaupterhebung.

Anteil der Ackerflächen an der gesamten Kreisfläche. Hier wurde die These untersucht, dass es sich bei Regionen mit einem geringen Ackerflächenanteil an der Kreisfläche um Regionen handelt, die einen relativ großen Anteil an Grenzstandorten ausweisen und somit nicht die gesamte landwirtschaftlich nutzbare Fläche von landwirtschaftlichen Betrieben nachgefragt wird.

Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Kreisfläche. Kreise mit einem geringen Anteil an Landwirtschaftsfläche finden sich entweder in Regionen mit extrem hoher Besiedlungsdichte (hoher Anteil an Siedlungsflächen) oder in Regionen, die einen hohen Waldanteil ausweisen. Dies kann wiederum als ein Indikator für die landwirtschaftliche Standortgüte interpretiert werden (Kappelmann 1988, Freund 1992).

Das Schätzergebnis zeigt folgende Gleichung:

Rel_BoheFlEhe= $0{,}86^{***}$ Btr<2ha + $0{,}23^{***}$ Ant_AfKf + 0,05 Ant_LfKf -15,7
(0,08) (0,05) (0,04) (2,74)
$R^2 = 0{,}382$

Wobei
Rel_BoheFlEhe = Prozentuale Relation zwischen Bodennutzungshauterhebung (Bohe) zu Flächenerhebung (FlEhe)
Btr<2ha = Anteil der kleinen Betriebe bis 2 Hektar an der Gesamtzahl der Betriebe
Ant_AfKf = Anteil der Ackerflächen an der gesamten Kreisfläche
Ant_LfKf =Anteil der Landwirtschaftsfläche an der Kreisfläche
Werte in () sind Standardfehler der Regressionskoeffizienten;

Während die geschätzten Parameter für Btr<2ha und Ant_AfKf signifikant von null verschieden sind, lässt sich für Ant_LfKf kein signifikanter Einfluss auf den Unterschied zwischen den Flächenstatistiken feststellen. Demnach ist bei einem um 1% höheren Anteil der Betriebe unterhalb der Abscheidegrenze der Unterschied zwischen den Flächenstatistiken um durchschnittlich 0,86% größer, bei einem um 1% höheren Ackerflächenanteil an der Kreisfläche hingegen um 0,23%.

Hinsichtlich der Entwicklung eines Korrekturverfahrens sind weitere Einflussfaktoren zu identifizieren, um den Anteil der erklärten Varianz der Unterschiede zwischen den Flächenstatistiken zu erhöhen. Dieser beträgt in der Analyse 38,2% ($R^2 = 0{,}382$).

### 3.1.5 Vergleich der Acker- und Grünlandflächen der Bodenutzungshaupterhebung und der Flächenerhebung

Aus Gründen der Datenverfügbarkeit wurden die nachfolgenden Analysen nur für die Kreise der Bundesländer Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Baden-Württemberg, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen durchgeführt.

Während in nahezu allen Kreisen der Umfang der Landwirtschaftsfläche größer ist als der Umfang der landwirtschaftliche genutzten Fläche, zeigt sich beim Vergleich der Acker- und Grünlandflächen der Bodenutzungshaupterhebung und der Flächenerhebung ein differenzierteres Bild (siehe Abb. 8).

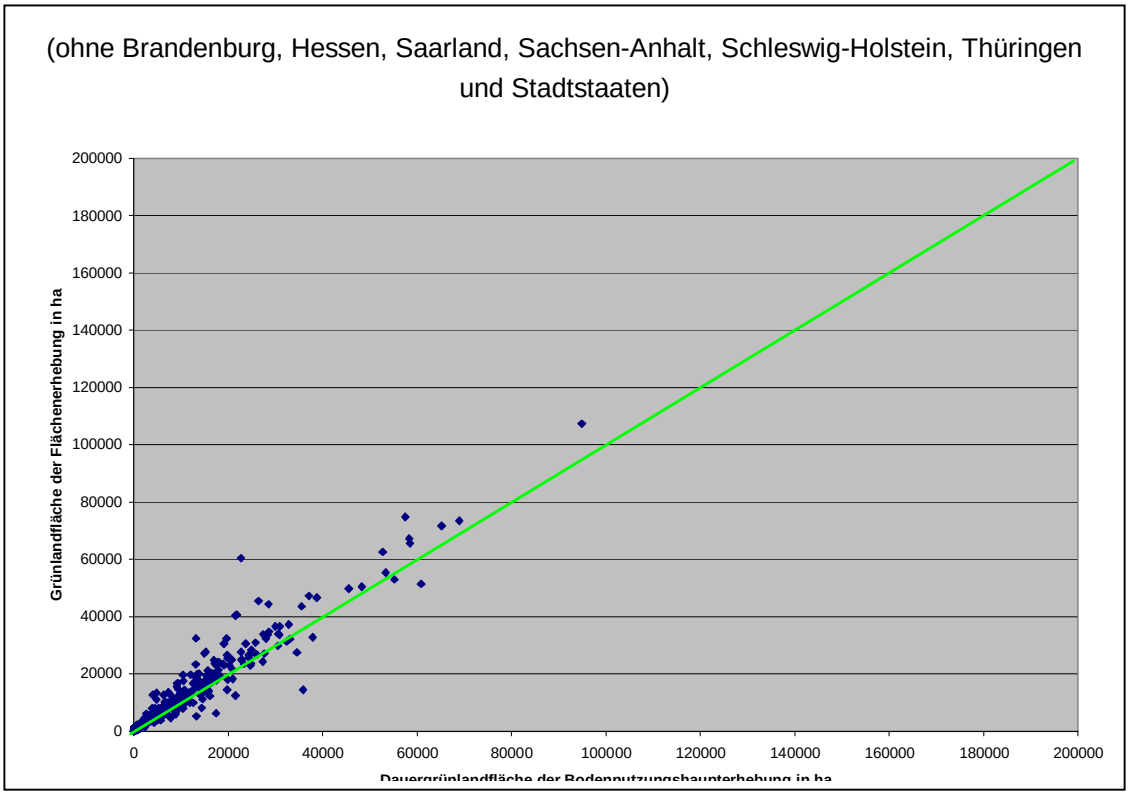



Abb. 8: Vergleich der Dauergrünlandfläche der Bodennutzungshaupterhebung 1999 mit der Grünlandfläche der Flächenerhebung 1996 auf Kreisebene in der Bundesrepublik Deutschland

Beim Vergleich der Dauergrünlandfläche der BoHe mit der FlEhe sind erhebliche Abweichungen insbesondere in den Regionen zu beobachten, in denen es in der Vergangenheit eine deutlich Nutzungsänderung zwischen ackerbaulicher und Grünlandnutzung gegeben hat. Dies betrifft z.B. das Emsland, Steinfurt, Borken, Coesfeld und Osnabrück. In diesen Regionen wurde in der Vergangenheit in bedeutendem Umfang Grünland zu Gunsten von Ackerland umgebro-

chen. Hier weist die Flächenerhebung deutlich größere Grünlandumfänge im Vergleich zur Bodennutzungshaupterhebung aus. Bei den Ackerflächen verhält es sich umgekehrt.

In den Kreisen Hochsauerlandkreis, Märkischer Kreis, Olpe und Siegen wurde hingegen in der Vergangenheit Ackerland in bedeutendem Umfang zu Gunsten von Grünland umgewidmet. Auch in diesen Kreisen sind erhebliche Abweichungen zwischen den Flächenstatistiken beobachtbar. Hier weist die Flächenerhebung deutlich größere Ackerflächen im Vergleich zur Bodennutzungshaupterhebung aus, während die Umfänge für Grünlandflächen entsprechend geringer ausfallen.

Insgesamt deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die Flächennutzungsentwicklung in der Flächenerhebung für die Flächennutzungsarten laut 10$^{er}$-Positionen des AdV-Nutzungsartenschlüssels (Flächenerhebung) noch nicht in vollem Umfang berücksichtigt wurde.

Während in der Bodennutzungshaupterhebung in vierjährigen Zeitabständen durch eine Totalerhebung (abgesehen von Kleinbetrieben) eine flächendeckende Erfassung der Acker-Grünlandnutzung erfolgt, werden in der Flächenerhebung nur gemeldete Flächennutzungsänderungen übernommen. Da nicht zu erwarten ist, dass eine Umwidmung von Ackerflächen in Grünland und umgekehrt von den landwirtschaftlichen Betriebsleitern regelmäßig gemeldet wird, kann dies als Erklärung für die Hauptunterschiede bei den Flächenstatistiken im Bezug auf die Acker- und Grünlandumfänge herangezogen werden.

## 3.2 Generierung der Landbedeckungskarte

Die Ergebnisse der Anpassungen der CORINE Karte an die Daten der Flächenerhebung (FlEhe) sind in Tabelle 12 zusammengefasst. Dabei zeigte sich, dass die Summe aller Flächen der untersuchten Landbedeckungsklassen in der FlEhe 1,9% bzw. 0,66 Mio. ha (Hektar) geringer ist als in der CORINE Karte. Die Ursache hierfür können sowohl in der Art der statistischen Erhebung, als auch in geometrischen Verzerrungen der CORINE – Karte liegen.

Unabhängig davon sind die größten Abweichungen bei den Ackerflächen zu finden, die in der CORINE Karte um 0,55 Mio. ha überschätzt werden, sowie bei den Klassen Grünland, Wald und Gewässer, die um knapp 1,8 Mio. ha, 0,53 Mio. ha, bzw. 0,3 Mio. ha unterschätzt werden. Bei den übrigen Landbedeckungsklassen wurden zum Teil erhebliche Unterschiede festgestellt, die jedoch aufgrund der geringen Flächenanteile für die Gesamtbilanz nur eine geringe Rolle spielen. Die Klassen Gewässer, Gartenland und Heideflächen wurden nicht bearbeitet, da hierfür keine eindeutigen Umwidmungskriterien zur Verfügung stehen.

Einen Sonderfall stellen die Landbedeckungsklasse Verkehr dar. Die sich aus der Verteilung der außerhalb der Siedlungen gelegenen Verkehrsflächen auf die übrigen Landbedeckungsklassen ergebenden Änderungen der Flächen sind in Tabelle 12 aufgeführt. Demnach vergrößerte sich der Unterschied zwischen CORINE und FlEhe bei den Klassen Siedlung, Wald und Grünland und verringerte sich bei Ackerland nach der Verteilung der Verkehrsflächen auf die Landnutzungsklassen.

Die auf diesen Werten aufsetzenden Umwidmungsalgorithmen bewirkten insgesamt eine deutlichen Verringerung der Abweichungen von 3,4 Mio. auf unter 0,97 Mio. Hektar bzw. von 3,2 auf 0,55 Mio. Hektar, für die Landbedeckungsklassen, bei denen eine Umwidmung vorgenommen wurde. So wurden die Flächendifferenzen bei den Landnutzungsklassen Acker und Siedlung halbiert. Ein noch besseres Ergebnis wurde bei Wald und vor allem Grünland erzielt und die Unterschiede bei beiden Klassen um etwa 2,1 Millionen Hektar verringert. Die verbliebenen Flächen sind teilweise in den CORINE Klassen „242“ und „243“ enthalten, die sowohl Siedlungs-, Wald-, Acker-, Grünland-, als auch Gartenland und Heideflächen enthalten können (siehe auch Anhang 4). Mit etwa 1 Mio. Hektar Fläche haben sie einen Anteil von knapp 2,9% an der Gesamtfläche. Der Flächenunterschied bei den Gewässern hat verschiedene Ursachen. Zum Einen führen Unterschiede in der Festlegung der Landkreisgrenzen in Küstengebieten zu größeren Abweichungen in den Datensätzen. Dies dürfte die Hauptursache für die Vergrößerung der Abweichung nach der Umwidmung sein, da Wasserflächen nicht bearbeitet wurden. Das bedeutet, diese Flächen sind Teil des Gesamtunterschiedes zwischen FlHe und CORINE Karte. Zum Anderen sind die Gewässer in der CORINE Karte offenbar nur unzureichend erfasst. Dies mag auch an der häufig geringen Fläche (z.B. in Teichlandschaften) bzw. der vorherrschend linienhaften Struktur liegen. Informationsverluste durch das Rastern der CORINE Vektorkarte können, wie aus Abbildung 9 am Beispiel der wichtigsten Landbedeckungsklassen zu ersehen ist, weitgehend ausgeschlossen werden, da sich die Abweichungen im Mittel in der Größenordnung von 0,3% der Fläche bewegen.

Tab. 12: Ergebnis der Flächenumwidmung der auf 250 x 250m gerasterten CORINE Karte und prozentuale Abweichungen der CORINE Karte im Verhältnis zu den Daten der Flächenerhebung

| Landbedeckung | Corine Klasse | Corine 250 x 250 m (ha) | Corine nach Umwidmung (ha) | Flächenerhebung (ha) | Differenz vor Umwidmung (ha) | Differenz nach Umwidmung (ha) | Abweichung alt (%) | Abweichung neu (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Siedlung | 100 | 2.639.594 | 2.792.394 | 2.899.251 | 259.657 | 106.857 | 8,96 | 3,69 |
| Acker | 211 | 14.360.000 | 14.078.838 | 13.811.512 | -548.488 | -267.325 | -3,97 | -1,94 |
| Grünland Weide | 231, 321 | 4.330.363 | 6.048.063 | 6.097.158 | 1.766.796 | 49.096 | 28,98 | 0,81 |
| Gartenland | 221, 222 | 258.388 | 258.356 | 244.194 | -14.193 | -14.162 | -5,81 | -5,80 |
| Moor | 411, 412 | 154.185 | 107.919 | 89.752 | -64.433 | -18.167 | -71,79 | -20,24 |
| Wald | 311 - 313 | 10.421.194 | 10.844.506 | 10.956.455 | 535.261 | 111.948 | 4,89 | 1,02 |
| Wald-Strauch | 324 | 30219 | 18.506 | k.A. | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Mischklassen | 242 | 2.057.569 | 8.64.644 | k.A. | ----- | ----- | ----- | ----- |
| | 243 | 738.513 | 156.225 | k.A. | ----- | ----- | ----- | ----- |
| Heideflächen | 322 | 104.469 | 104.469 | 36.547 | -67.922 | -67.922 | -185,85 | -185,85 |
| Wasser | 500 | 494.638 | 315.644 | 793.383 | 298.746 | 477.739 | 37,65 | 60,22 |
| **Summe** | | **35.589.129** | **35.589.563** | **34.928.252** | **-660.877** | **-661.310** | **-1,89** | **-1,89** |

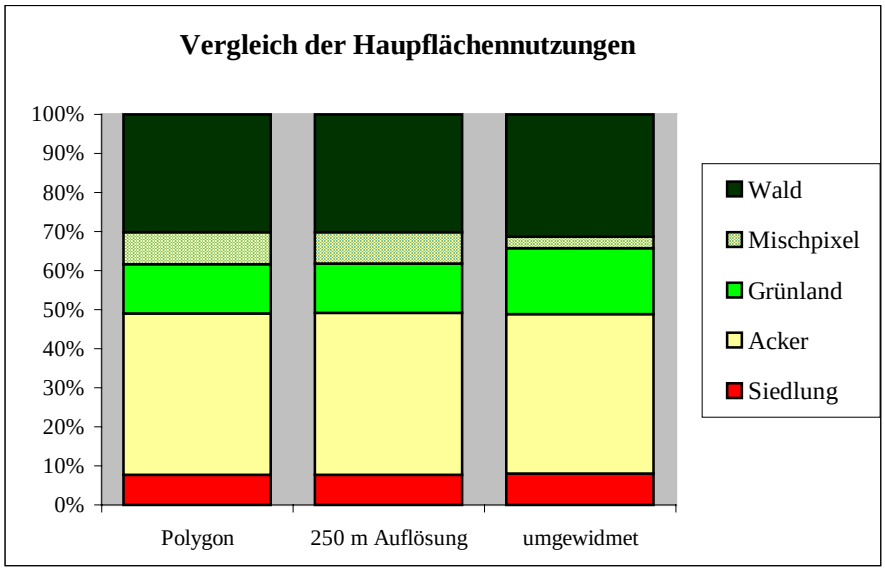
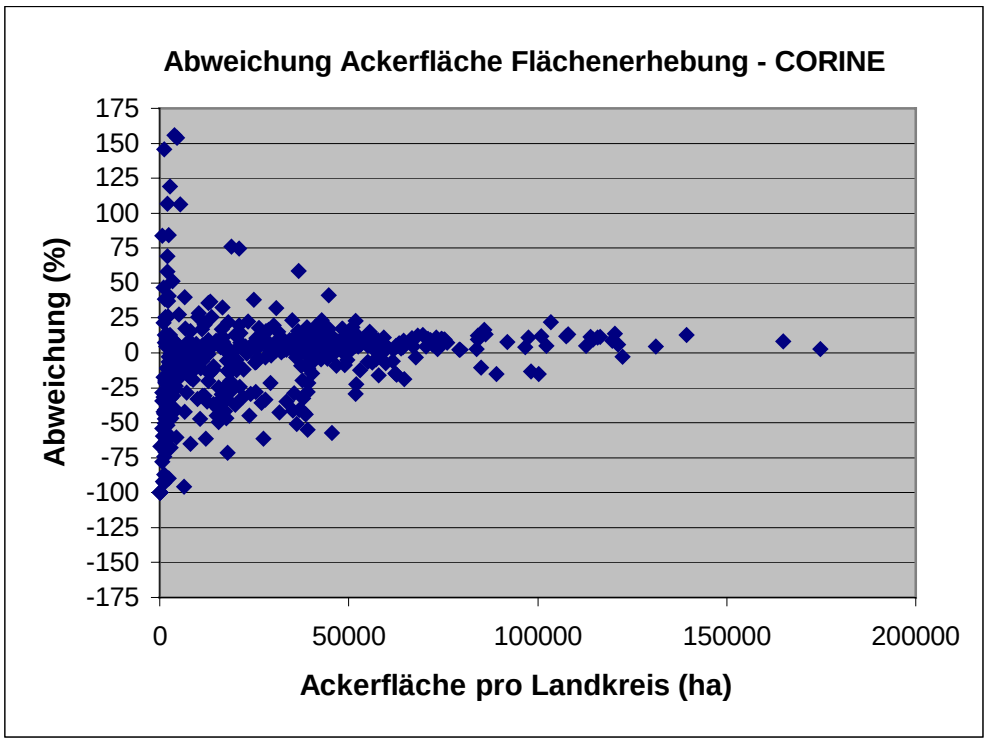



Abb. 9: Vergleich der Landbedeckungsklassen in Abhängigkeit von der räumlichen Auflösung und der Umwidmung.



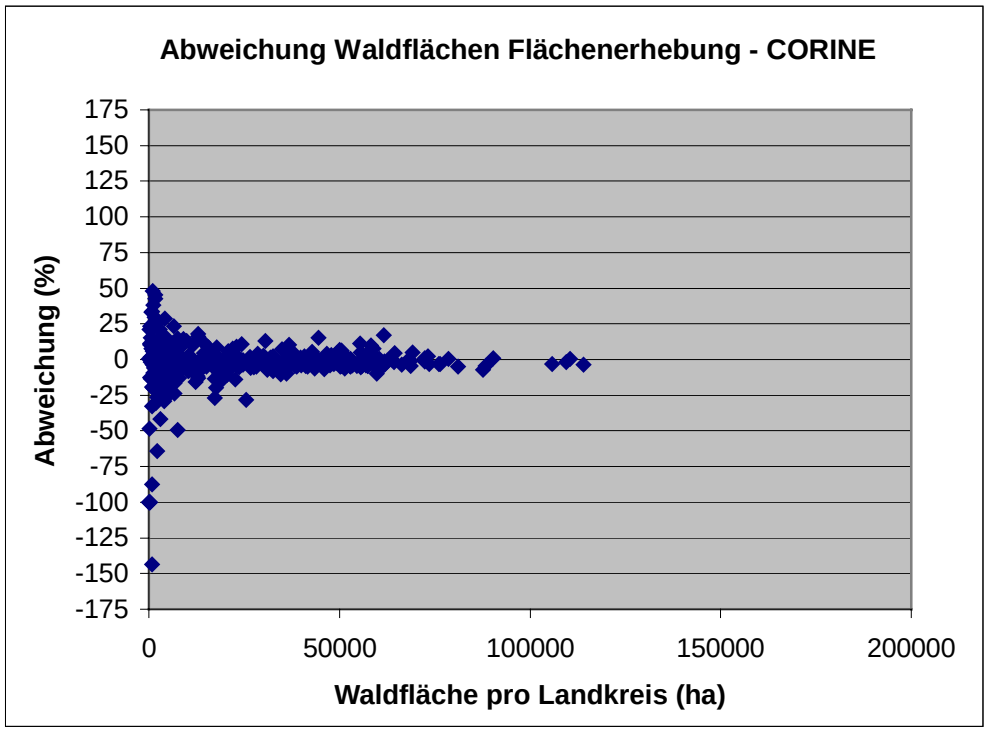




Abb. 10: Prozentuale Abweichung zwischen Flächenerhebung und CORINE für die Klassen Ackerland und Wald in Abhängigkeit von der Größe des Landkreises

Konnte hinsichtlich der Flächen der Landbedeckungsklassen durch Umwidmung auf Bundesebene eine deutliche Verbesserung erzielt werden, so zeigt ein Vergleich auf der Ebene der Landkreise, dass abhängig von der Ausdehnung des Landkreises auch nach der Flächenumwidmung weiterhin erhebliche Unterschiede in den Flächen zwischen FlEhe und CORINE bestehen (Abb. 10). Besonders groß sind die Abweichungen bei den kleineren Landkreisen, die einerseits meist auch ein kleinräumig stark differenziertes Landschaftsbild aufweisen, andererseits aber nur eine geringen Anteil an der Gesamtbilanz der Flächen haben. Die Unterschiede zeigen damit ein klares skalenabhängiges Verhalten mit besonders großen Unterschieden bei kleinflächigen Bezügen und eine Abnahme der Differenzen bei großen Landkreisen. Die Ursachen hierfür sind sowohl in der Erhebung der CORINE Karte zu suchen, wo aufgrund der Erfassungsgrenze von 25 Hektar bei kleinräumig differenzierten Landschaften die höchsten Abweichungen zu erwarten sind, als auch bei der Limitierung der Umwandlungsalgorithmen, die bei großen Abweichungen nicht ausreichend Fläche umwidmen.

Eine Verbesserung der Ergebnisse kann durch eine Aggregierung von Landkreisen mit geringer räumlicher Ausdehnung zu größeren Einheiten erzielt werden. Dies verringert auch, wie im vorherigen Kaptitel erläutert, die Abweichungen zwischen FlHe und BoHe. Eine Reduzierung der Fehler ergibt sich beispielsweise durch die Einbeziehung der kreisfreien Städte in die umliegenden Landkreise, wie es im Modellsystem RAUMIS bereits durchgeführt wurde (siehe Kap. 2.4.3). Eventuell sollten auch kleinere Landkreise zu größeren Einheiten zusammengefasst werden. Auf diese größeren Einheiten können dann die Umwidmungsalgorithmen aufgesetzt werden, wobei die Abweichungen über eine größere Fläche hinweg umgewidmet werden können, was auch zu deutlich geringeren Rechenzeiten führt. Die Mindestgröße kann bei etwa 15.000 bis 20.000 Hektar angesetzt werden.

## 3.3 Abschätzung der Gefährdungspotentiale

In den folgenden Kapiteln werden exemplarisch die vier Gefährdungspotentiale Bodenerosion durch Wasser, Bodenverdichtung, Nährstoffbilanzüberschüsse und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bundesweit und gemittelt über die Landkreise beschrieben.

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das Gefährdungsrisiko bzw. -potential des jeweiligen Indikators, da die tatsächlichen Prozesse von der jeweiligen aktuellen Bodennutzung jeder einzelnen Ackerfläche, den aktuellen Witterungsbedingungen (bei Erosion und Verdichtung) im Untersuchungszeitraum und den Maßnahmen des Bodenbewirtschafters abhängen. Die Variation der Werte innerhalb der Landkreise, die je nach naturräumlicher Ausstattung der Kreisflächen durchaus höher sein kann als diejenige zwischen den Landkreisen, wurde dabei

nicht weiter untersucht, ist aber für die erosionsbezogenen Größen und die Verdichtungsgefährdung den in diesem Projekt verwendeten 250 x 250 m Gridzellen der zugrunde liegenden digitalen Karten (siehe Kap. 3.2) zu entnehmen.

### 3.3.1 Erosion durch Wasser

Die aktuelle Erosionsgefährdung wurde mit Hilfe der allgemeinen Abtragsgleichung (ABAG) exemplarisch mit verschiedenen Kombinationen der Einzelfaktoren berechnet, um die Sensitivität einzelner Komponenten der ABAG im Verhältnis zu Gesamtgleichung zu untersuchen. Daneben wurde zum Vergleich auch das potentielle Abtragsrisiko kalkuliert, das sich ebenfalls aus den Einzelfaktoren der ABAG, aber mit einem C-Faktor von 1 (ohne Bodenbedeckung), zusammensetzt. Die Berechnungen erfolgten dabei, wie in Kap. 2.4.1 bereits beschrieben, in enger Anlehnung an die in Schwertmann et al. (1987) aufgeführten Werte. Eine Übersicht über die Kombinationen der untersuchten Varianten gibt Tabelle 13.

Tab. 13: Zusammenstellung der verwendeten Faktoren (siehe auch Kap. 2.4.2)

| | |
|---|---|
| R-Faktor | • Isoerodentenkarte (Sauerborn 1994) ***** <br>• Regressionsgleichung nach Sauerborn1994 und 1 x 1 km Niederschlagsdaten Sommerhalbjahr (DWD) <br>• Regressionsgleichung nach Schwertmann et al. 1997 + 1 x 1 km Niederschlagsdaten Sommerhalbjahr (DWD) <br>• Regressionsgleichung nach Auerswald unveröff., LFU, 1995) + 1 x 1 km Jahresniederschlagsdaten (DWD) |
| K-Faktor | • K-Faktoren der BGR ***** |
| L-Faktor | • 250 m Hanglänge ***** |
| S-Faktor | • Berechnet aus 1 x 1 km Global Elevation Data Set ***** |
| P-Faktor | • P = 1***** <br>• Konturnutzung <br>• Streifennutzung |
| C-Faktor | • C = 1 = Brache (potentielles Abtragsrisiko) <br>• Mittlerer C-Faktor berechnet aus 12 Iterationen der zufällig verteilten Fruchtartengruppen ***** <br>• Einfluss der Verteilung der Fruchtarten auf der Fläche (12 Iterationen der zufällig verteilten Fruchtartengruppen) <br>• RBA Werte konventionell * <br>• RBA Werte Minimalbodenbearbeitung (Getreide) / Mulchsaat (Sommerhackfrucht) / Konventionell (Winterhackfrucht) |

***** Standard bei Untersuchung der Sensitivität einzelner ABAG Faktoren

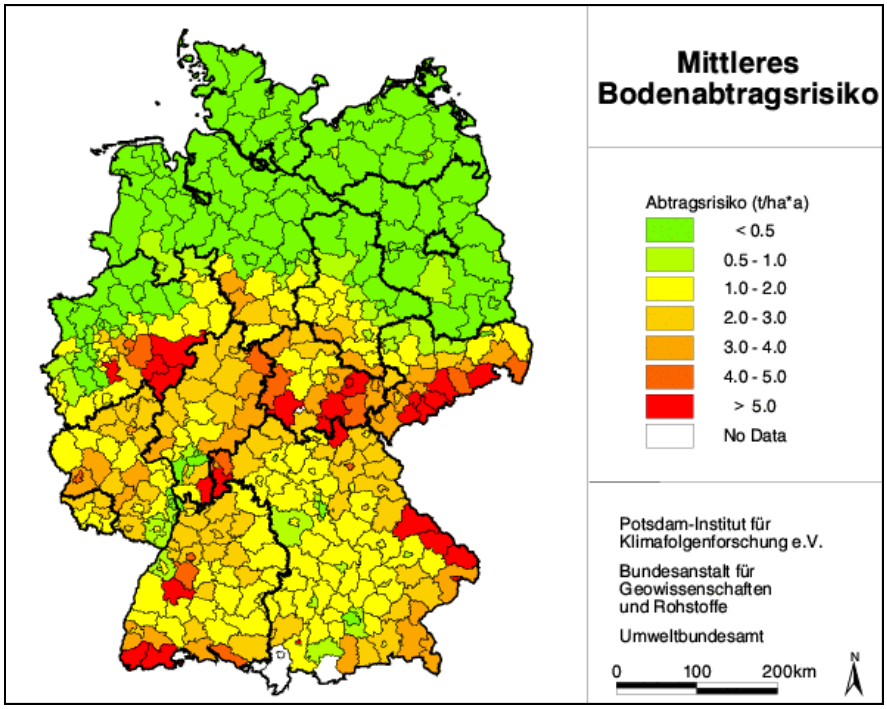



Abb. 11: Mittleres jährliches Bodenabtragsrisiko pro Landkreis (in t/ha)

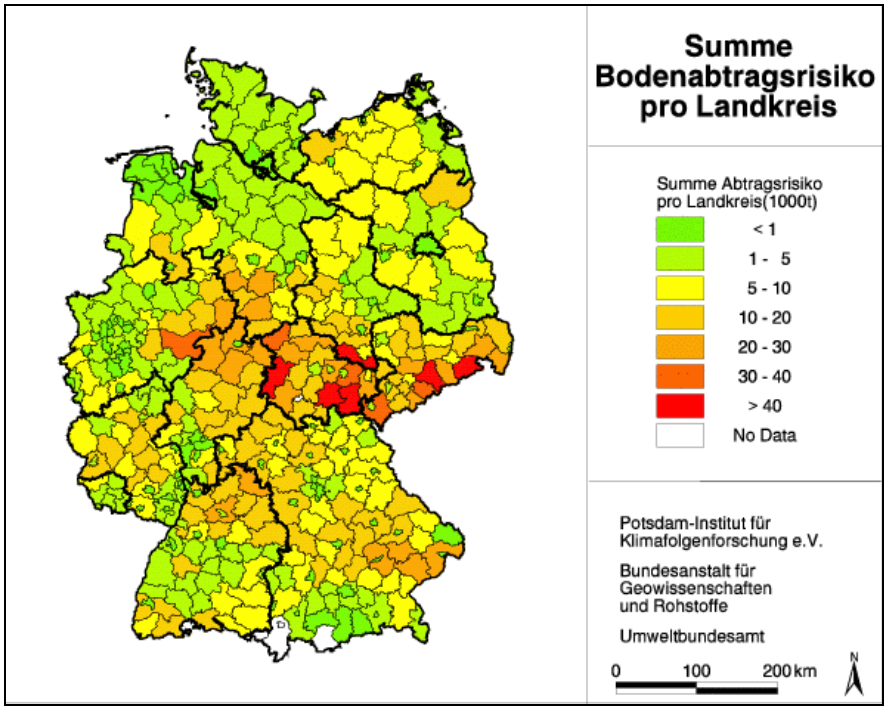



Abb. 12: Mittleres jährliches Bodenabtragsrisiko pro Landkreis aufsummiert entsprechend der Ackerfläche

Unter Verwendung der Isoerodentenkarte nach Sauerborn (1994), einem P-Faktor von 1 (ohne Erosionsschutzmaßnahmen) und einem C-Faktor gemittelt aus 12 zufällig verteilten Bodennutzungskarten unter konventioneller Bewirtschaftung wurde für die Landbedeckungsklasse Acker ein mittleres jährliches Abtragsrisiko von 1,4 t/ha*a ermittelt, mit einer Schwankungsbreite von 0,014 bis 24,7 t/ha*a (Tab. 14a). Die räumliche Variabilität der Abtragsraten ist aus Abb. 11 ersichtlich. Demnach nehmen die Werte von Norden nach Süden hin kontinuierlich zu, wobei die höchsten Werte in den Mittelgebirgsregionen Mittel- und Südwestdeutschlands, des Erzgebirges und des bayrischen Waldes erreicht werden, da hier offenbar relativ viele Ackerflächen an ungünstigen Standorten anzutreffen sind. Dies betrifft beispielsweise die Landkreise Hochsauerland, Olpe, Siegen-Wittgenstein, Miltenberg, Odenwaldkreis, Freudenstadt, Sonneberg, Schmalkalden, Freyung, Regen oder Cham. Die Kombination von höheren Niederschlägen und größeren Hangneigungen führt hier offenbar zu einem hohen Abtragsrisiko.

Betrachtet man die aufsummierten Werte pro Landkreis (Abb. 12), so zeigt sich, dass gerade in den Landkreisen mit hohem Abtragsrisiko pro Fläche der Anteil der Ackerfläche an der Gesamtfläche oft relativ gering ist. Dies gilt beispielsweise für die Landkreise in Südwestdeutschland und Nordostbayern. Dafür erhöht sich in Landkreisen mit hohem Ackeranteil an der Landnutzung das Abtragspotential, wie an Gebieten der Nordostdeutschen Tiefebene zu sehen ist. Die aussummierten Werte unterliegen allerdings größeren Unsicherheiten, da das Ergebnis stark von der Genauigkeit der Landbedeckungskarte (siehe Kap. 3.2) abhängig ist.

Untersucht man den Einfluss der verschiedenen Eingangsgrößen der ABAG auf das Abtragspotential, so wird deutlich, dass die Regenerosivität und die Orographie (LS-Faktor) den größten Einfluss auf die Erosionsrate haben.

Entsprechend der Größenordnungen der Einzelfaktoren ist der R-Faktor die wichtigste und sensitivste Einzelkomponente in der ABAG. Schon kleine Änderungen im R-Faktor haben einen erheblichen Einfluss auf die Abtragsrate. Die statistische Auswertung der verschiedenen Berechnungen des R-Faktors (Tab. 14b) lassen zunächst auch erhebliche Unterschiede in den Ergebnissen erwarten. Wurde die Isoerodentenkarte aus zufällig verteilten Stationsdaten abgeleitet (Sauerborn 1994), so unterliegen den Regressionsgleichungen Niederschlagswerte, die zuvor höhenabhängig interpoliert worden waren (Kap. 2.4.1). Die R-Faktorenwerte unterscheiden sich zwar in punkto Mittelwert und Standardabweichung nur in geringem Maße, jedoch liefern die Regressionsgleichungen, bezogen auf die gesamte Fläche der BRD, deutlich unterschiedliche Werte in den Minimum- und Maximumwerten. Mittelt man jedoch die Werte nur für die Ackerflächen, so ergeben sich insgesamt sehr ähnliche Zahlen, obwohl den Berechnungen Niederschlagswerte mit deutlich unterschiedlicher räumlicher Auflösung zugrunde liegen. Ent

Tab. 14a: Mittelwerte (Mw.), Standardabweichung (Std.), Minimum (Min.) und Maximum (Max.) der Werte des Abtragsrisikos für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (siehe auch Tab. 13)

| | **Ackerflächen** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Mw.** | **Std.** | **Min.** | **Max.** |
| Abtragsrisiko aktuell | 1.428 | 1.717 | 0.014 | 24.665 |
| Abtragsrisiko Mittelwert Einzelkarten | 1.428 | 3.066 | 0.007 | 55.314 |
| Abtragsrisiko (C-Faktor bodenschonend) | 0.616 | 0.812 | 0.012 | 14.064 |
| Abtragsrisiko (P-Faktor Konturnutzung) | 0.764 | 0.995 | 0.007 | 16.575 |
| Abtragsrisiko (P-Faktor Streifennutzung) | 0.576 | 0.739 | 0.005 | 12.101 |
| Abtragsrisiko (R-Faktor Auerswald) | 1.337 | 1.611 | 0.014 | 23.286 |
| Abtragsrisiko (R-Faktor Sauerborn) | 1.343 | 1.638 | 0.014 | 23.773 |
| Abtragsrisiko (R-Faktor Schwertmann) | 1.336 | 1.606 | 0.014 | 23.199 |

Tab. 14b: Mittelwerte (Mw.), Standardabweichung (Std.), Minimum (Min.) und Maximum (Max.) der Einzelfaktoren der ABAG sowie das potentielle Abtragsrisiko für die Ackerflächen und das gesamte Gebiet der Bundesrepublik Deutschland (siehe auch Tab. 13)

| | **Ackerflächen** | | | | **alle Flächen** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Mw.** | **Std.** | **Min.** | **Max.** | **Mw.** | **Std.** | **Min.** | **Max.** |
| K-Faktor | 0.297 | 0.092 | 0.072 | 0.466 | 0.279 | 0.136 | 0.000 | 0.590 |
| P-Konturnutzung | 0.521 | 0.039 | 0.498 | 0.648 | 0.524 | 0.062 | 0.025 | 0.900 |
| P-Streifennutzung | 0.395 | 0.027 | 0.370 | 0.483 | 0.395 | 0.046 | 0.020 | 0.600 |
| R-Faktor Isoerodenten | 52.800 | 4.635 | 44.026 | 64.451 | 58.318 | 18.872 | 22.500 | 152.500 |
| R-Faktor Auerswald | 52.166 | 2.899 | 45.591 | 62.456 | 58.997 | 19.924 | 30.250 | 271.450 |
| R-Faktor Sauerborn | 52.077 | 3.394 | 44.603 | 64.247 | 59.243 | 19.089 | 27.518 | 251.704 |
| R-Faktor Schwertmann | 52.257 | 2.725 | 46.075 | 61.929 | 58.677 | 18.728 | 31.655 | 258.383 |
| LS–Faktor | 0.391 | 0.377 | 0.093 | 4.030 | 0.867 | 2.809 | 0.093 | 197.019 |
| C-Faktor (konventionell) | 0.214 | 0.078 | 0.020 | 0.537 | --- | --- | --- | --- |
| C-Faktor Einzelkarten | 0.214 | 0.258 | 0.016 | 0.981 | --- | --- | --- | --- |
| C-Faktor (bodenschonend) | 0.097 | 0.050 | 0.019 | 0.398 | --- | --- | --- | --- |
| Abtragsrisiko potentiell | 7.239 | 7.800 | 0.380 | 88.623 | 10.529 | 13.004 | 0.254 | 150.523 |

sprechend unterscheiden sich die Abtragswerte nur unwesentlich. So liegen die über Regressionsgeraden ermittelten Werte nur sehr geringfügig unter den Abtragsraten, die mit Hilfe der Isoerodentenkarte berechnet wurden (Tab. 14a). Damit erweist sich die Ableitung der R-Faktoren mit den zur Verfügung stehenden Informationen für Ackerflächen als sehr robust. Die mittleren R-Faktoren der Ackerflächen pro Landkreis (Abb. 13) sind im wesentlichen mit deren mittlerer Höhenlage verknüpft. Dementsprechend zeichnen die R-Faktoren die zunehmende

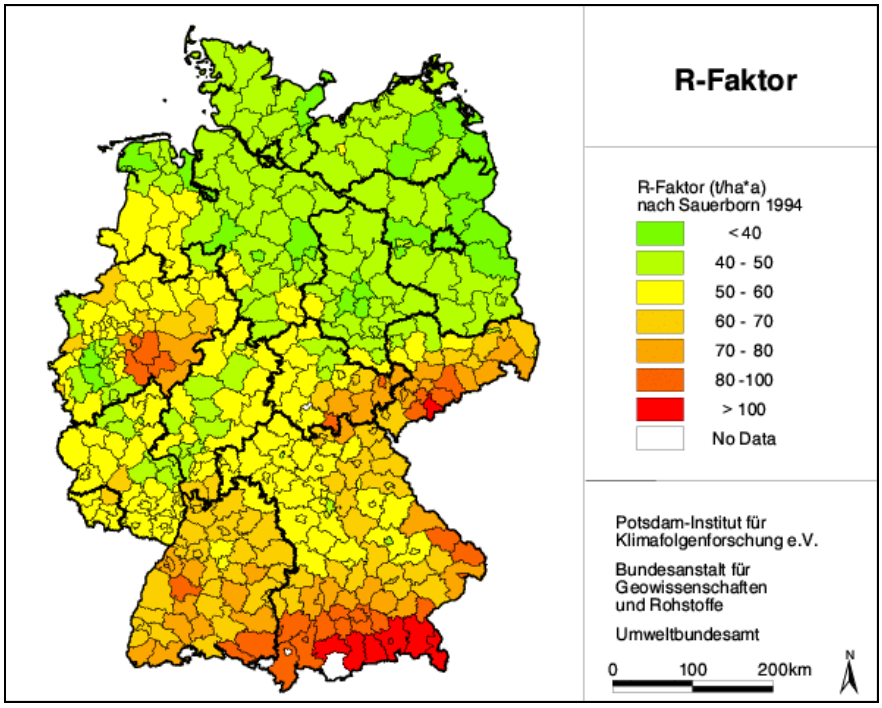



Abb. 13: Mittlerer Regenerosivitätsfaktor der Ackerflächen pro Landkreis berechnet aus der Isoerodentenkarte nach Sauerborn (1994)

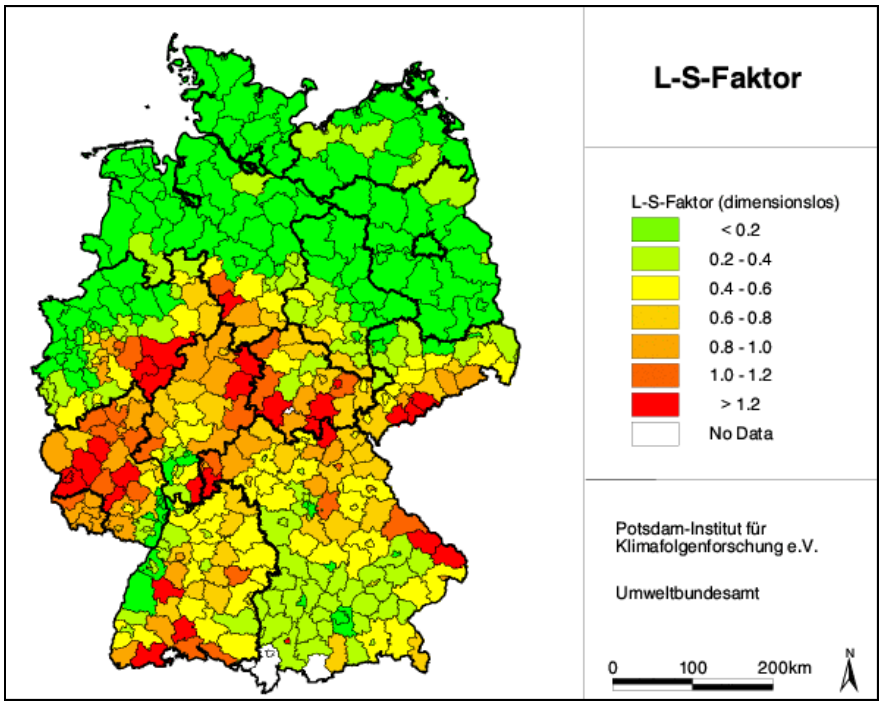



Abb. 14: Hanglängen- und Hangneigungsfaktor (LS-Faktor) abgeleitet aus dem 1 x 1 km Höhenmodell (siehe auch Anhang 11)

mittlere Höhe von Norden nach Süden, sowie die Lage der Mittelgebirge nach. Besonders niedrige R-Faktorwerte finden sich in Teilen Ostdeutschlands sowie geschützten Lagen wie die des Mainzer Beckens, die sich generell durch geringe Niederschläge hervorheben.

Die zweite dominierende Größe, der LS-Faktor (Tab. 14b und Abb. 14), weist für die Gesamtfläche ebenfalls eine hohe Schwankungsbreite auf, die für Ackerflächen jedoch deutlich geringer ist, da steilere Hänge im allgemeinen nicht als Acker genutzt werden bzw. in den Umwidmungsalgorithmen nicht als solche ausgewiesen werden. Erwartungsgemäß sind die höchsten Werte des LS-Faktors in den Mittelgebirgs- und Gebirgsregionen anzutreffen. Da diese Gebiete auch höhere Werte für den R-Faktor aufweisen (Anhang 7 und Abb.13) addiert sich hier die Wirkung des Niederschlages und des Geländes. Für Landkreise mit sehr heterogener naturräumlicher Ausstattung mitteln sich hohe LS–Werte hügliger bzw. gebirgiger Landschaften mit niedrigen Werten ebener Gebiete wie großer Flusstäler, so dass auch Landkreise, deren Gebiet sich beispielsweise überwiegend im ebenen Rheintal erstreckt, aufgrund ihrer räumlichen Ausdehnung relativ hohe mittlere LS Faktoren ausweisen können.

Der Bodenerodierbarkeitsfaktor K hingegen ist abhängig von den Bodeneigenschaften. Hier liegen die Werte für Ackerflächen geringfügig über dem Gesamtmittelwert (Tab. 14b), da ertragreiche Böden im allgemeinen auch eine höhere Anfälligkeit für Erosion aufweisen. Die höchsten K-Werte werden auf Lößböden erreicht (Abb.15) und sind daher in den Bereichen des Leipziger Beckens sowie der Magdeburger und Hildesheimer Börde zu finden. Hohe Werte für den K-Faktor finden sich auch auf den übrigen Gunststandorten Mitteldeutschlands, sowie des Donau- und Rheintals. Böden auf Lockergesteinen und/oder kalkhaltigen Substraten weisen tendenziell die geringsten K-Werte auf, wenn gleichzeitig auch ihr Lößanteil niedrig ist. Die kalkarmen Böden auf Festgesteinen liegen im allgemeinen im mittleren Bereich.

Die Verknüpfung dieser Faktoren ergibt das potentielle Bodenabtragsrisiko (Abb. 16). Der Vergleich von aktuellem (Abb. 11) und potentiellem Abtragsrisiko zeigt ein weitgehend ähnliches räumliches Musters Auch hier nimmt das Abtragsrisiko von Norden nach Süden hin zu, mit den höchsten Werten in den Mittelgebirgslandschaften, was die Bedeutung von Geländeform und Niederschlagsmenge auf das Abtragsrisiko unterstreicht. Da die Böden nach Süden hin im Mittel auch höhere K-Faktoren aufweisen, sind die potentiellen Abtragsraten im Süden auch in relativ ebenem Gelände im Schnitt höher als im Norden der BRD. Das Fehlen des Einflusses der Vegetationsbedeckung auf das Abtragspotential führt zu einer deutlich größeren Spannbreite der Werte im Bereich von 1 – 50 t/ha * a oder Faktor 50, im Vergleich zu nur 0,5 – 5 t/ha * a oder Faktor 10 bei dem aktuellen Abtragsrisiko.

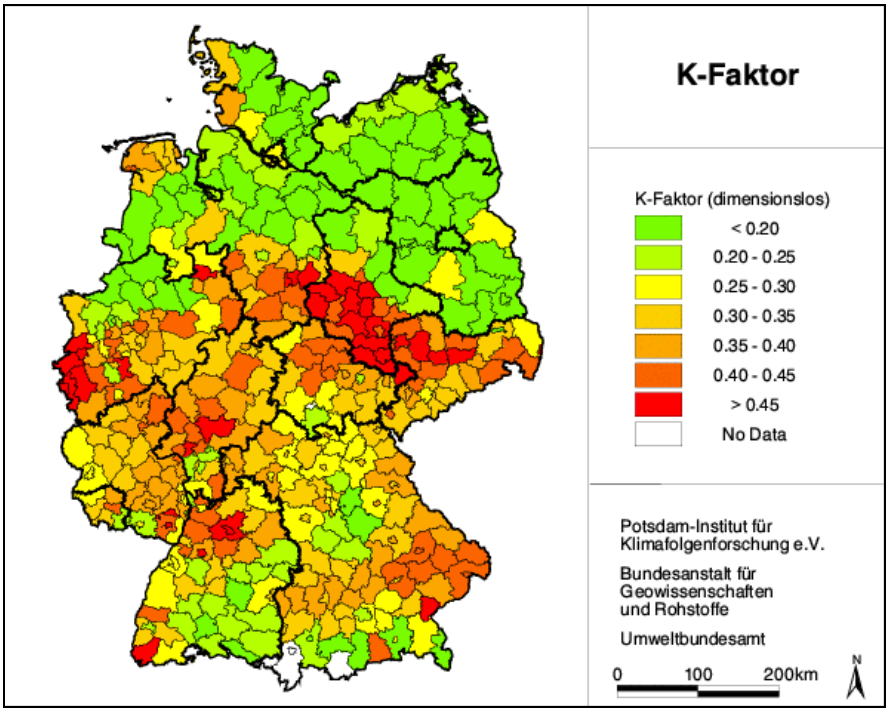



Abb. 15: Mittlerer Bodenerodierbarkeitsfaktor (K-Faktor) pro Landkreis (Daten BGR)

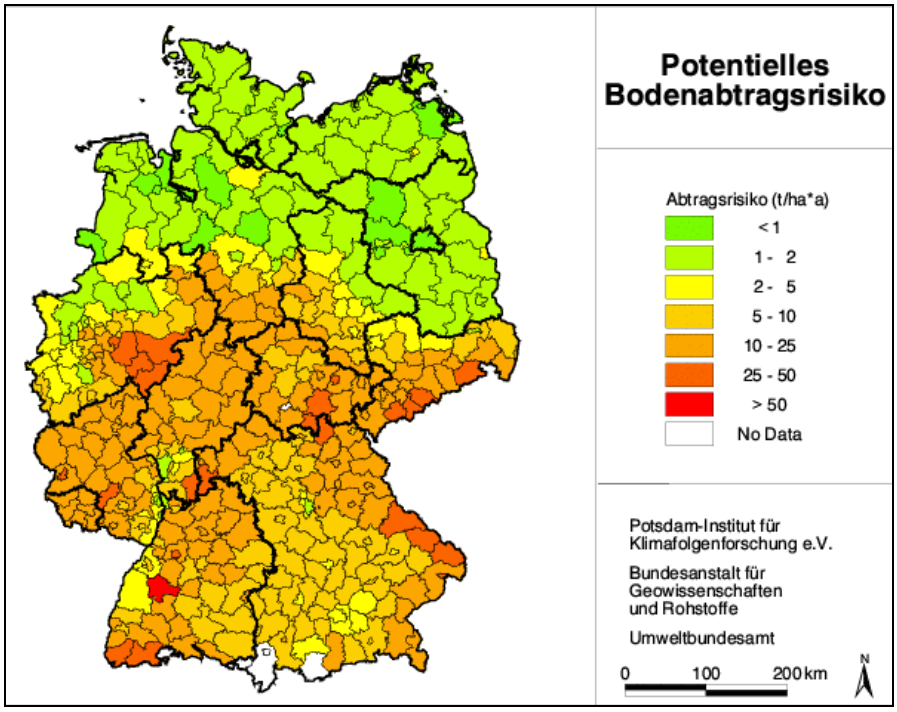



Abb. 16: Potentielles jährliches Abtragsrisiko pro Landkreis als Produkt der LS, R, und K-Faktoren. Der P- und C-Faktor wurde gleich 1 gesetzt (siehe auch Tab. 14).

Die Bedeckung der Bodenoberfläche durch die Vegetation reduziert den Abtrag auf den Ackerstandorten auf etwa 20% der potentiellen Erosionsrate (Tab. 14a, b). Die Karte der C-Faktoren (Abb. 17) lässt dabei relativ hohe Werte für den C-Faktor in den ostdeutschen Bundesländern, speziell in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Teilen Sachsen-Anhalts erkennen. Zwei Faktoren können dafür die mögliche Ursache sein, ein unterschiedliches Spektrum an angebauten Feldfrüchten mit einem höheren Anteil an Kulturen mit hohem relativen Bodenabtrag in Ostdeutschland (siehe Tab. 8) sowie eine insgesamt kürzere Dauer der Vegetationsbedeckung bzw. Länge der Vegetationsperiode.

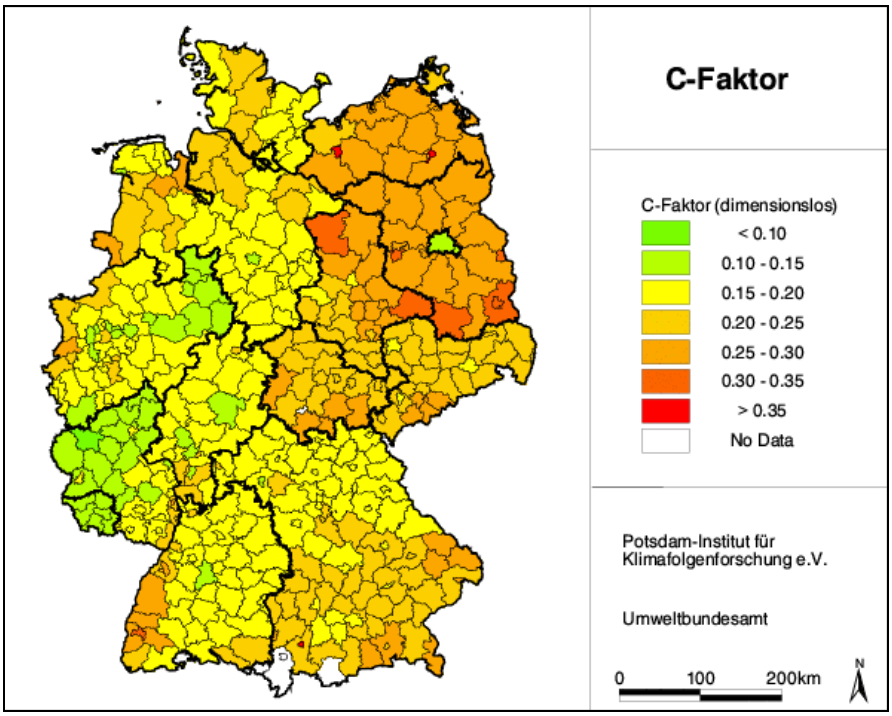
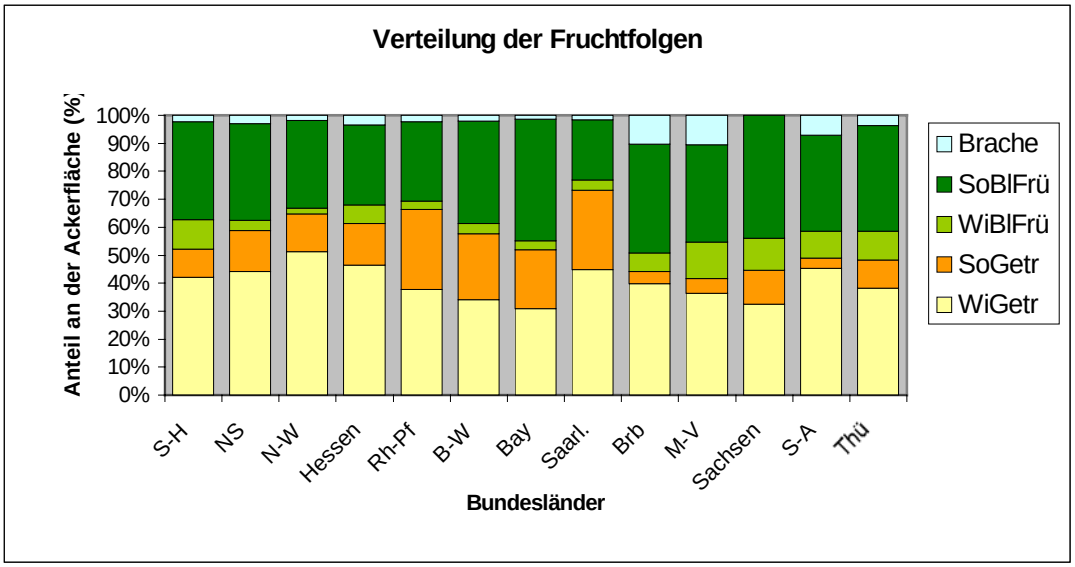



Abb. 17: Mittlere Bodenbedeckung C-Faktor unter konventioneller Bewirtschaftung

Auffallend an den Gebieten mit hohem C-Faktor ist der hohe Anteil an Brache (C-Faktor = 1) an der Landnutzung in den ostdeutschen Ländern und an der Kulturartengruppe “Sommerblattfrüchte”, die auch in den Bundsländern Bayern und Baden-Württemberg hohe Anteile am Anbauspektrum hat (Abb. 18) und die hauptsächlich von den Kulturen Mais und Kartoffel bestimmt wird. Die hohen RBA - Werte dieser Kulturartengruppe (siehe auch Tab. 8) bestimmen hier offenbar entscheidend den Wert des C-Faktors.




S+H = Schleswig-Holstein, NS = Niedersachsen, N-W = Nordrhein-Westfalen,
Rh-PF = Rheinland-Pfalz., B-W = Baden-Württemberg, Bay = Bayern, Saarl. = Saarland,
Brb = Brandenburg, M-V = Mecklenburg-Vorpommern, S-A = Sachsen-Anhalt, Thü = Thüringen

Abb. 18: Anteile der verschiedenen Kulturartengruppen an der Anbaufläche pro Bundesland (ohne Stadtstaaten) als indirektes Maß für die Fruchtfolge (Daten: Bodennutzungshaupterhebung 1999), Aus Gründen der Darstellung wurden die Werte über die Bundesländer gemittelt.

Die Länge der Kulturperiode (Aussaat bis Ernte) scheint nur einen relativ geringen Einfluss auf den C-Faktor zu haben. So zeigen zwar die Darstellungen aller Kulturperioden mit Ausnahme der “Sommerblattfrüchte” eine relativ klare Abhängigkeit von der Höhenlage, und bei den Wintergetreiden auch eine Zunahme der Dauer in stark maritim beeinflussten Gebieten Schleswig-Holsteins, Niedersachsens und Mecklenburg-Vorpommerns (siehe Anhang 12) doch spiegelt sich dieser Effekt in der Karte der C-Faktoren nicht oder nur unwesentlich wieder. Bei der Gruppe “Sommerblattfrüchte” scheint auch die zunehmende Kontinentalität des Klimas die Länge der Kulturperiode stark zu beeinflussen, wie die hohen Werte vor allem in Ostdeutschland zeigen. Dem hohen Anteil an der Kulturartengruppe “Sommerblattfrüchte” mit hohen RBA-Werten steht in diesem Gebiet eine deutlich längere Bodenbedeckung gegenüber, die damit tendenziell kompensierend wirkt (siehe Anhang 12). Dafür sind in diesem Gebiet die Wachstumszeiten für Wintergetreide eher kürzer und weisen für Sommergetreide sogar die kürzesten Kulturperioden auf. Vergleicht man die Karten der Wachstumsperioden (Anhang 12) mit der Verteilung der Kulturarten, einschließlich der Brache, so scheint es, dass die Werte der C-Faktoren weitaus mehr durch die angebauten Kulturen als durch die Länge der Vegetationsperiode bestimmt werden.

Verdeutlicht wird dies auch bei der Verwendung von RBA-Werten für bodenschonende Bewirtschaftung (Abb. 19), wodurch die C-Faktoren und damit auch der Abtrag auf etwa 45% der Werte unter konventioneller Bewirtschaftung reduziert werden. Hier ist keinerlei Einfluss der Länge der Kulturperiode mehr zu erkennen, jedoch spielt der Anteil der Brachflächen nun eine entscheidende Rolle.

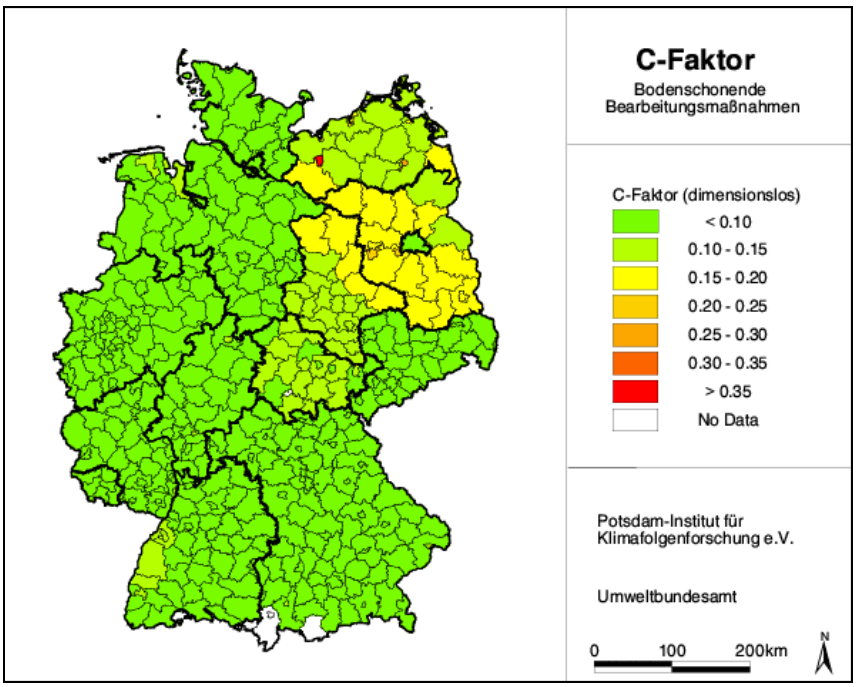



Abb. 19: Bodenbedeckung (C-Faktor) unter bodenschonender Bewirtschaftung

Werden erosionsmindernde Maßnahmen wie beispielsweise Kontur- oder Streifennutzung eingesetzt, so lässt sich der mittlere Abtrag gerade in stark reliefiertem Gelände auf 30 – 50% des Ursprungswertes reduzieren (Tab. 14a, b), wobei der Streifennutzung hier eine besonders große Wirkung zu kommt.

Für detailliertere Untersuchungen des Abtragsrisikos innerhalb der Landkreise erhält die Verwendung einer ausreichenden Anzahl von Bodenbeeckungskarten, bzw. die Verwendung von Fruchtfolgen eine zunehmende Bedeutung, da in heterogenem Gelände die Abtragsraten stark von der jeweiligen Verteilung der Kulturartengruppen in Kombination mit den übrigen Standortsfaktoren abhängig ist und sich damit von Jahr zu Jahr stark schwankende Abtragsraten ergeben können, wie an der höheren Standardabweichung, dem geringeren Minimum und dem höheren Maximum der Werte aus den Einzelkarten (Tab. 14a Zeile „Abtragsrisiko Mittelwert Einzelkarten“) im Vergleich zum mittleren Abtragsrisiko gemittelt aus 12 Landnutzungskarten deutlich wird. Die Zahl der verwendeten Landnutzungskarten im Verhältnis zur Zahl der ange-

bauten Kulturen und der Heterogenität der Standorteigenschaften bestimmt wesentlich Erfassung der innerhalb der Landkreise auftretenden Heterogenität der Werte.

### 3.3.2 Bodenverdichtung

Die Abschätzung der Verdichtungsgefährdung der Böden konnte nur in einem stark vereinfachten Verfahren durchführt werden. Es wurde eine Kombination aus Vorbelastungsstufe als Maß für die bodenmechanischen Eigenschaften und die Spurflächensumme als Indikator für die mechanische Belastung durch die kulturartenabhängige Befahrung der Ackerfläche verwendet. Die aus den zur Verfügung stehenden Daten (Tab. 9, in Kap. 2.4.2) verwendeten Werte der kulturartenspezifischen Spurflächensummen sind in Tab. 15 aufgeführt. Daten standen nur für die drei Kulturartengruppen Winter- und Sommergetreide sowie für Zuckerrübe, Kartoffel und Silomais als Hackfrüchte zur Verfügung. Kulturen wie Raps konnten nicht berücksichtigt werden, da keine Daten bezüglich der Spurflächensummen zur Verfügung standen.

Den verfügbaren Informationen zufolge bestimmen vor allem die Anteile von Zuckerrübe, Silomais und Kartoffel an der Anbaufläche die Verdichtungsgefährdung, da die Befahrungshäufigkeit bei diesen Kulturarten etwa ein Drittel höher ist als bei Getreide. Die Häufigkeit der Befahrung ist natürlich auch von der Art der Bewirtschaftung, unter anderem auch vom Anteil organischen Düngers an der Gesamtdüngemenge (vergl. Tab. 9, Kapitel 2.4.2) und den verwendeten Geräten abhängig.

Tab. 15: Für die Abschätzung der Verdichtungsgefährdung verwendete Werte der Spurflächensummen.

| Kulturart | Spurflächensumme (%) |
|---|---|
| Wintergetreide | 320 |
| Sommergetreide | 320 |
| Zuckerrübe | 500 |
| Kartoffel | 520 |
| Silomais | 580 |

Entsprechend den zur Verfügung stehenden Informationen wurden die Ergebnisse der Berechung von der Vorbelastungsstufe der Böden und dem Anteil der in Tab. 15 aufgeführten Kulturen an der Gesamtanbaufläche bestimmt. Dabei weisen die Vorbelastungsstufen innerhalb der Landkreise nur geringe Schwankungen um maximal eine Stufe auf (Abb. 20). Böden auf Festgestein haben eine tendenziell höhere Vorbelastungsstufe als Böden auf Lockergestein. Die höchsten Werte der Verdichtungsgefährdung werden demnach in den Mittelgebirgsregionen

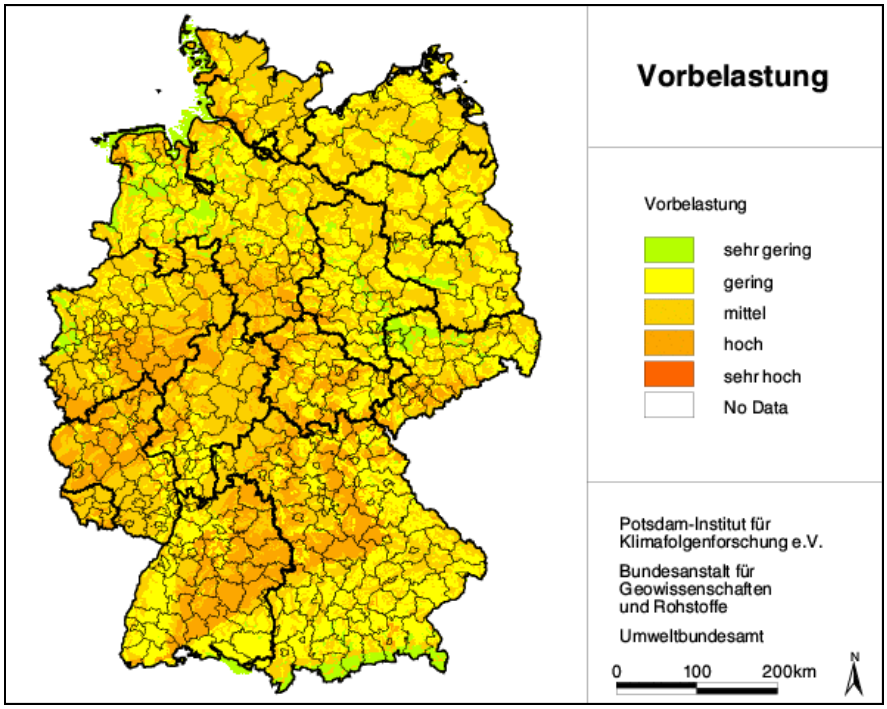



Abb. 19: Vorbelastungsstufen nach DIN 19688 der Bodeneinheiten der BÜK1000 (Daten: BGR)

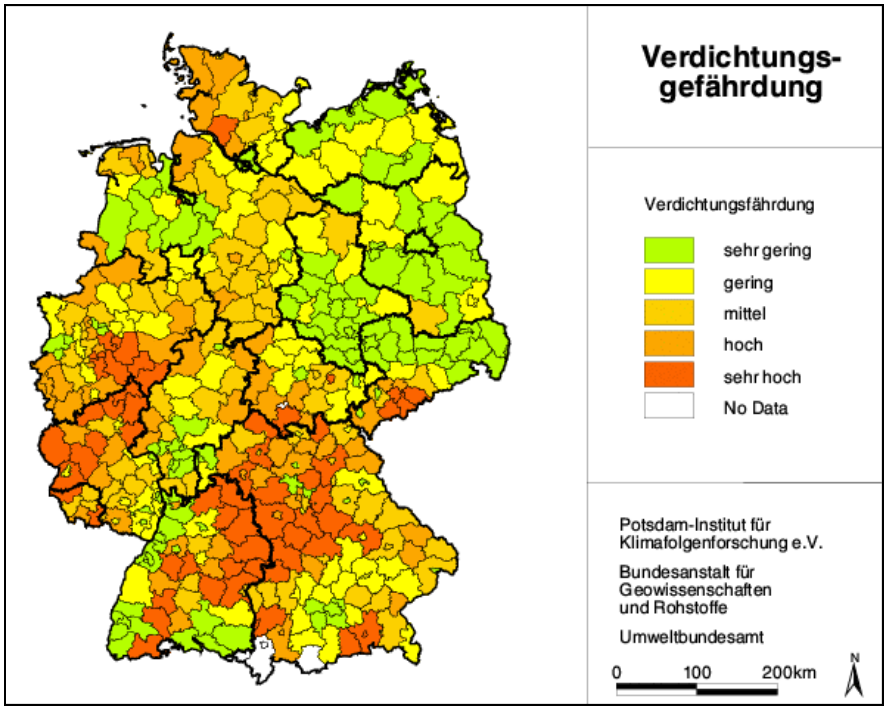



Abb. 20: Verdichtungsgefährdung der Ackerflächen pro Landkreis, abgeschätzt aus der Summe von Vorbelastungsstufe und Spurflächensumme der jeweiligen Kulturart.

des Sauerlandes und der bayrisch – schwäbischen Alp erreicht, wo hohe Vorbelastungsstufen mit einem hohen Anteil an Hackfrüchten kombiniert sind. Hier spielt auch der hohe Kalkgehalt der Böden im Voralpenland eine Rolle (Abb. 21). Die relativ hohen Werte in Schleswig-Holstein sind wohl wesentlich auf den Anteil an Kulturen mit hoher Spurflächensumme zurückzuführen. Der Anbau von Zuckerrüben führt vor allem in den bayrischen Gunststandorten zu einer höheren Verdichtungsgefährdung, während in den Gebieten der Leipziger und Magdeburger Börde dies wohl keinen entscheidenden Einfluss auf die Verdichtungsgefährdung hat. Die als vorläufig zu betrachtenden Ergebnisse zeigen, dass die Böden des nordostdeutschen Tieflands auch in Gebieten mit hohem Ertragspotential offenbar eine deutlich geringere Verdichtungsgefährdung aufweisen, als die Ackerflächen der übrigen Gebiete der Bundesrepublik Deutschland, wobei, wie bereits erwähnt, die Grundlage für die Bewertung (noch) unvollständig ist.

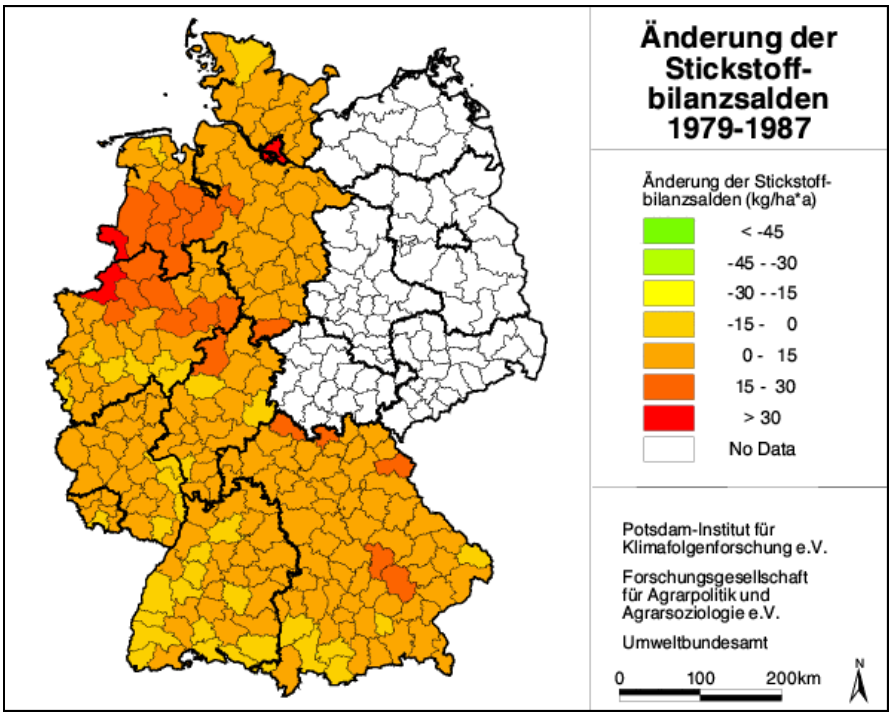
### 3.3.3 Nährstoffbilanzen

Die Datengrundlage für die Modellberechnungen im RAUMIS werden als Vier-Jahres-Mittel in Form von Basisjahren seit 1979 erstellt. Für das Basisjahr 1999 werden im RAUMIS 326 Untersuchungsregionen unterschieden.

#### 3.3.3.1 Stickstoff

Betrachtet man die Entwicklung der Stickstoffausbringung auf landwirtschaftlichen Flächen während der letzten fünf Jahrzehnte, so lässt sich feststellen, dass die Höhe der N-Salden bis in die achtziger Jahre hinein zugenommen hat, während sie in den neunziger Jahren zurückgegangen ist. Weingarten (1996, S.127) fand bei einem Vergleich der Ergebnisse verschiedener Stickstoffbilanzierungen Einigkeit in diesem Punkt bei allen betrachteten Studien.

Dieser Trend lässt sich ebenfalls in Abb. 22 erkennen. Hier wurde für die alten Bundesländer auf Kreisebene die Veränderung der N-Salden zwischen den Jahren 1979 und 1987 sowie 1987 und 1999 dargestellt. Im ersten betrachteten Zeitraum ist in nahezu allen Untersuchungsregionen ein Anstieg der N-Salden zu verzeichnen. Vor allem im südlichen Niedersachsen, im nördlichen Nordrhein-Westfalen sowie in weiten Teilen Bayerns liegt die Zunahme des N-Bilanzüberschusses bei zehn und mehr Kilogramm pro Hektar Landwirtschaftsfläche.



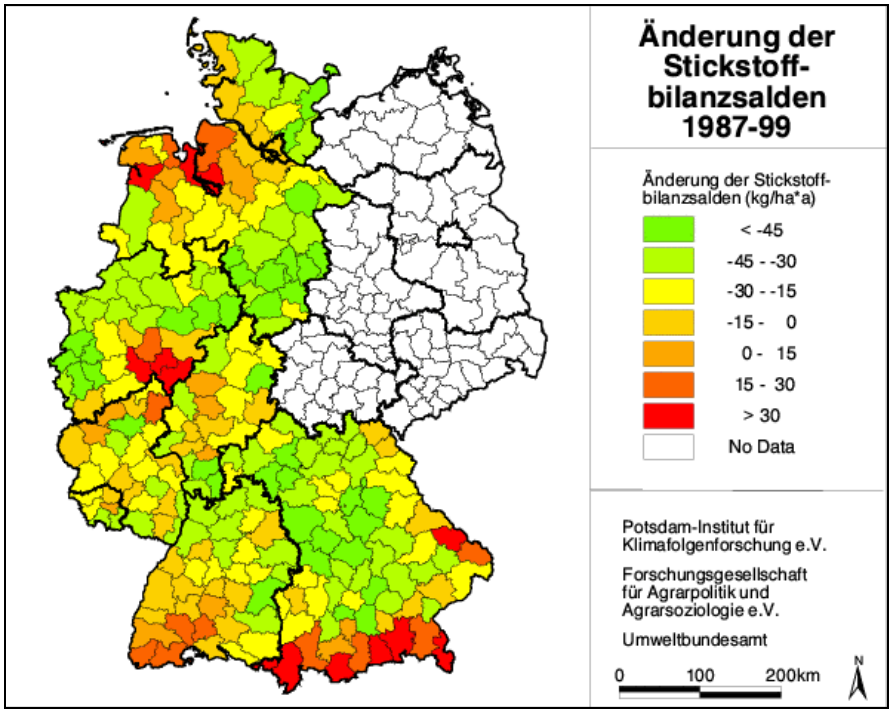




Abb. 22: Veränderung der N-Bilanzsalden im Zeitraum von 1979 bis 1987 und 1987 bis 1999

Betrachtet man hingegen den zweiten Untersuchungszeitraum, so lässt sich ein weitgehend gegenteiliges Bild erkennen. Untersuchungsregionen mit vormals hohen Zunahmen der N-Salden verzeichnen seit 1987 eine Verringerung ihres Bilanzüberschusses von 30 kg / ha landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) und mehr. Dies gilt vor allem für weite Teile Bayerns und Niedersachsens. Eine deutliche Zunahme der N-Salden zeigt sich in den Kreisen des nördlichen Niedersachsens sowie des südlichen Bayerns und Baden-Württembergs.

Im Jahr 1999 liegt der im RAUMIS für die Bundesrepublik Deutschland ermittelte durchschnittliche N-Bilanzüberschuss bei etwa 91 kg / ha landwirtschaftlich genutzter Fläche.

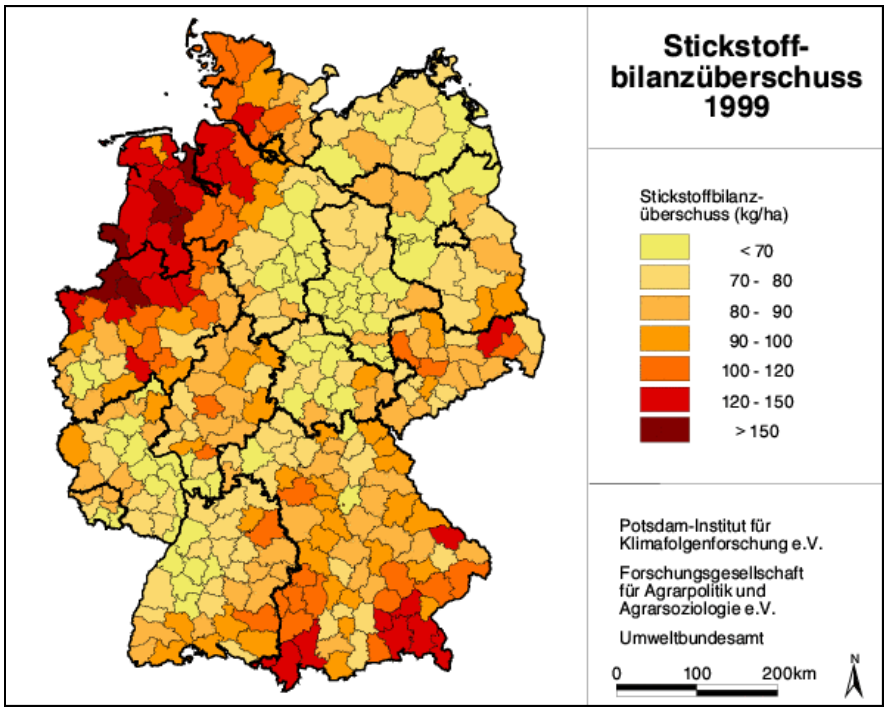



Abb. 23: Darstellung des Stickstoffbilanzüberschusses auf Kreisebene im Jahr 1999

57, und somit knapp 17,5% der 326 untersuchten Regionen weisen ein Bilanzsaldo von unter 70 kg N / ha auf (siehe Abb. 23). Bundesländer mit vergleichsweise niedrigem N-Überschuss sind Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz sowie das Saarland.

Kreise mit überdurchschnittlich hohen N-Salden (über 110 kg N / ha) finden sich vor allem im westlichen Teil Niedersachsens, im nordwestlichen Nordrhein-Westfalen sowie in weiten Teilen des südlichen und südöstlichen Bayerns. In den neuen Bundesländern sind diesbezüglich nur Regionen Sachsens im Raum Chemnitz auffällig.

Der mit Abstand höchste N-Überschuss wurde für den Kreis Vechta mit 254 kg N / ha ermittelt, gefolgt vom Kreis Cloppenburg mit 208 kg N / ha, dem Kreis Borken mit 165 kg N / ha, der

Grafschaft Bentheim mit 164 kg N / ha sowie dem Kreis Coesfeld mit 157 kg N / ha. Auffällig an der Lage dieser Regionen ist ihre relative geographische Nähe zueinander.

Ein hoher Stickstoffüberschuss ist oftmals verbunden mit einem hohen Einsatz an Wirtschaftsdüngemitteln (siehe Nicklis 1991, Köster 1992, Brouwer et al. 1995, Weingarten 1996). Um diese Annahme zu verdeutlichen, wurde in Abb. 24 die über Wirtschaftsdünger ausgebrachte Menge an Stickstoff in Kilogramm pro Hektar für die einzelnen Untersuchungsregionen ausgewiesen.

Hierbei zeigt sich, dass in weiten Teilen Schleswig-Holsteins, Niedersachsens, Nordrhein-Westfalens und Bayerns mehr als 120 kg organischer Stickstoff je ha Landwirtschaftsfläche ausgebracht wurde. Regionen mit extrem hohen N-Bilanzüberschüssen (z.B. Vechta, Cloppenburg, Borken, Grafschaft Bentheim, Coesfeld) weisen durchweg einen Anteil von mehr als 170 kg / ha auf.

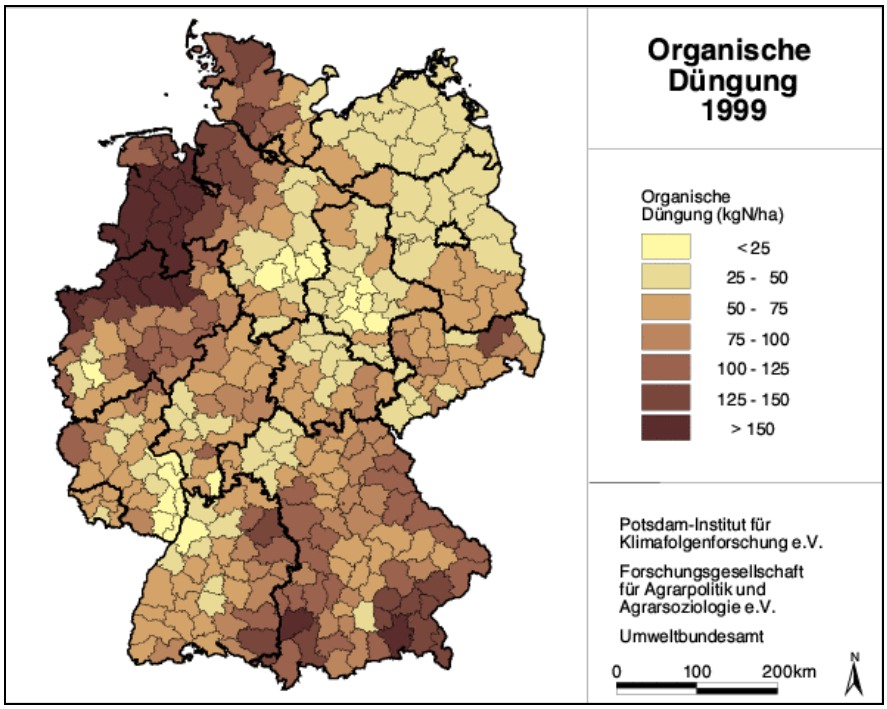



Abb.24: Menge des auf landwirtschaftlichen Flächen ausgebrachten organischen Düngers im Jahr 1999

Dieser Umstand ist vor bestehendem Umweltrecht als problematisch anzusehen, da im Rahmen der Düngeverordnung die Ausbringung organischen Stickstoffs auf Ackerflächen auf 170 kg und auf Grünlandflächen auf 210 kg / ha und Jahr begrenzt ist.

Die oben angesprochenen Regionen verfügen über einen Anteil von mehr als 60% bzw. mehr als 80% Ackerfläche an der Landwirtschaftsfläche (siehe Abb. 25), was bezüglich der Gesamtmengen das Problem noch verschärft.

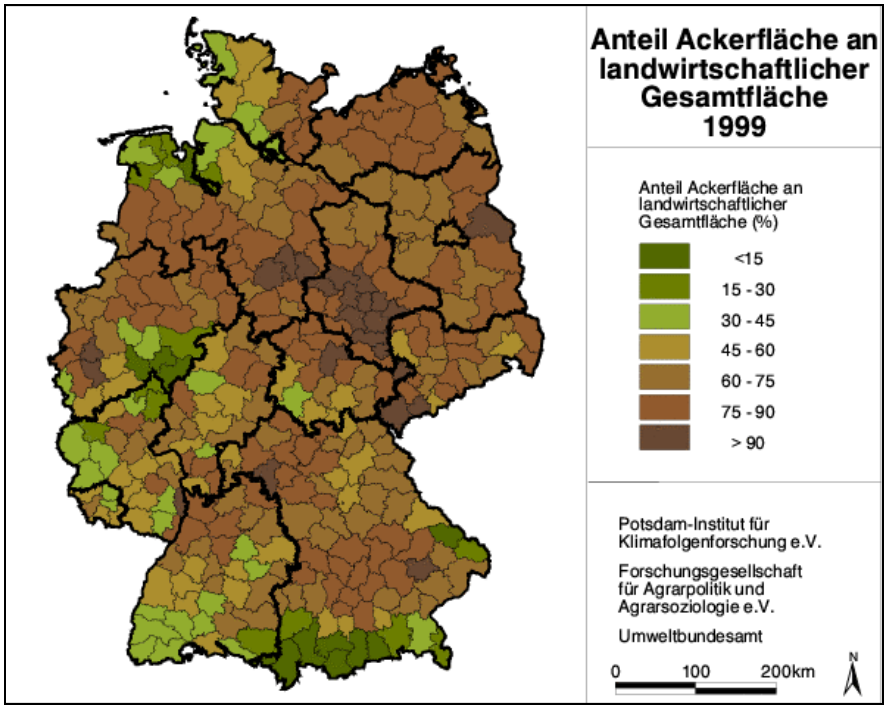



Abb. 25: Prozentualer Anteil der Ackerfläche an der gesamten Landwirtschaftsfläche im Jahr 1999

### 3.3.3.2 Phosphor

Phosphor gehört neben Stickstoff zu den Nährstoffen, die, bei zu starkem Eintrag, eine Eutrophierung von Gewässern auslösen können. Eintragsquellen des Phosphors sind sowohl punktförmiger als auch diffuser Natur. Zu den punktförmigen Quellen gehören häusliche, landwirtschaftliche und industrielle Abwässer, während Niederschlag, Grund- und Drainwasser, Erosion sowie Laubstreu als diffuse Quellen zu nennen sind. 1986 war der Anteil des häuslichen Abwassers am gesamten Phosphor-Eintrag mit 60% am Höchsten, hat sich allerdings über die Jahre durch den vermehrten Einsatz phosphatfreier Waschmittel stark vermindert. Der Anteil des landwirtschaftlichen Abwassers lag zu gleichem Zeitpunkt bei etwa 10%, derjenige der Erosion bei etwa 7% (SRU 1987).

Laut Bach et al. (1997) hat der Phosphor-Überschuss auf landwirtschaftlich genutzter Fläche bis etwa 1980 zu-, und seitdem bis 1995 kontinuierlich abgenommen.

Im Jahr 1999 weisen knapp 14% der 326 Untersuchungsregionen für Phosphor ein negatives Bilanzsaldo auf (siehe Abb. 26). Am deutlichsten zeigt sich dies im Kreis Wolfenbüttel mit etwa –8 kg P / ha. P-Bilanzüberschüsse von mehr als 20 kg / ha konnten vor allem in weiten Teilen Niedersachsens, Nordrhein-Westfalens sowie Bayerns ermittelt werden. Bei einer Betrachtung der Untersuchungsregionen mit maximalen P-Bilanzüberschüssen lassen sich Parallelen zu den Stickstoffdaten feststellen. Auch hier sind es die Kreise Vechta (70 kg P / ha), Cloppenburg (ca. 51 kg P / ha), Grafschaft Bentheim und Borken (beide ca. 37 kg P / ha) sowie Coesfeld (ca. 31 kg P / ha), die durch relativ hohe Bilanzsalden auffallen.

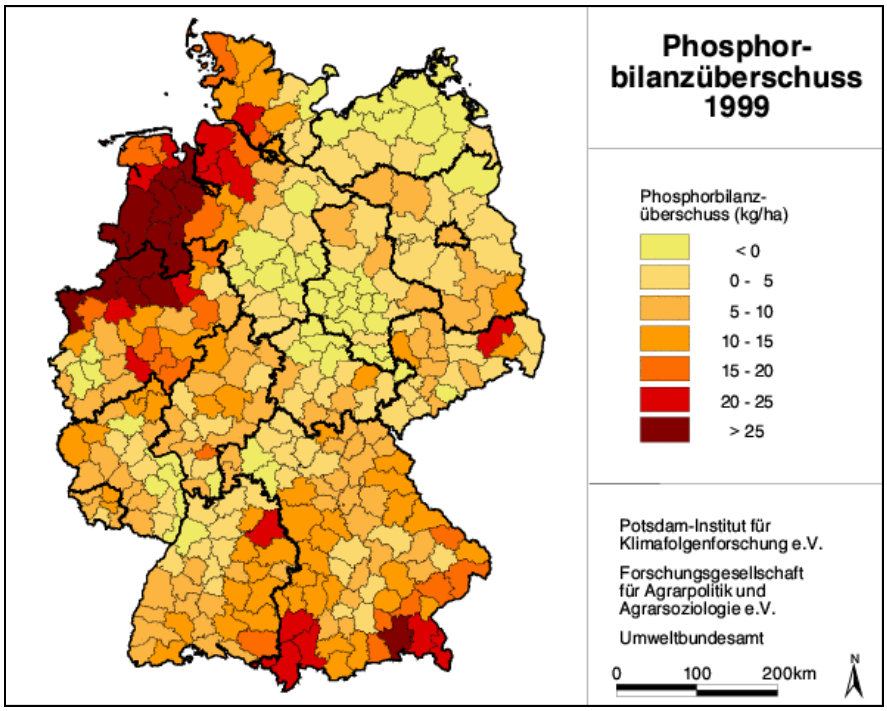



Abb.26: Darstellung des Phosphorbilanzüberschusses auf Kreisebene im Jahr 1999

Laut Angaben des BMVEL (BML 1996) ist auf Böden von Betrieben mit intensiver Tierhaltung die Versorgung mit sowohl Phosphor als auch Kalium meist bereits sehr hoch. Eine zusätzliche Düngung bringt in der Regel auf diesen Standorten keinen Mehrertrag. Zur Aufrechterhaltung des innerbetrieblichen Nährstoffkreislaufs wird daher im Rahmen der Düngeverordnung empfohlen, den Nährstoffbedarf von P und K in Höhe der Nährstoffabfuhr vom Feld mit den im Betrieb anfallenden Wirtschaftsdüngern abzudecken, jedoch eine weitere Nährstoffanreicherung im Boden zu vermeiden (BML 1996). Zur Abschätzung landwirtschaftlich bedingter Umweltwirkungen durch Phosphor und Kalium scheint vor diesem Hintergrund der Vergleich der P- und K-Bilanzsalden mit dem Anteil der Großvieheinheiten auf Kreisebene interessant (siehe Abb. 26 – 28). Hier sind vor allem den Kreisen Vechta, Cloppenburg, Grafschaft Bentheim, Borken und Unterallgäu besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

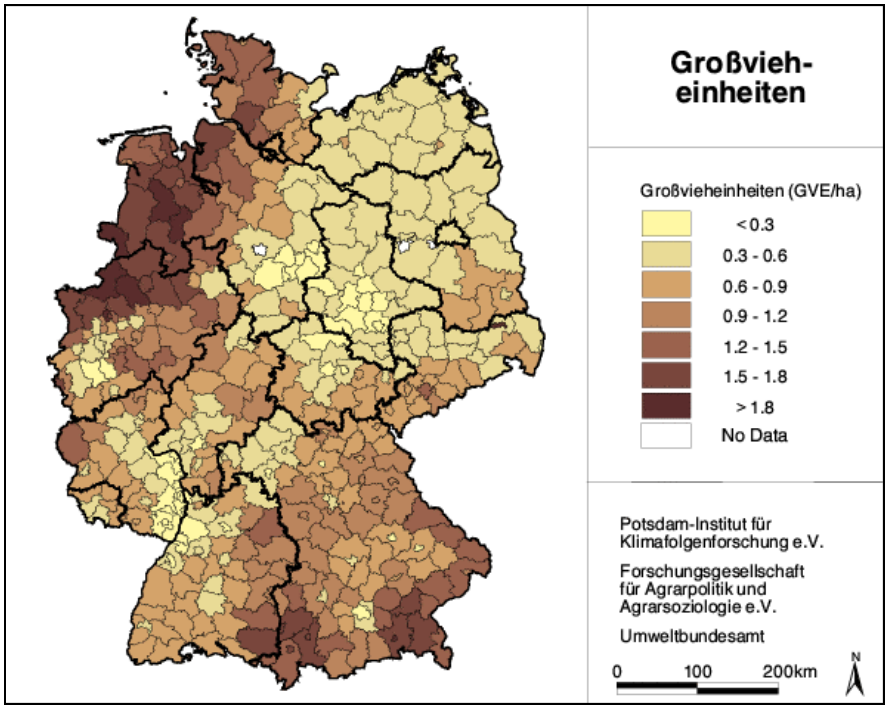



Abb. 27: Darstellung der Großvieheinheiten pro Hektar LF auf Kreisebene

#### 3.3.3.3 Kalium

Betrachtet man die Bilanzüberschüsse des Nährstoffs Kalium im Laufe der letzten fünfzig Jahre, so ist die hier festzustellende Entwicklung ähnlich der Phosphorbilanzüberschüsse. Dies spiegelt sich in der Höhe des über die Jahre eingesetzten Kaliums aus Mineraldünger wieder. Scheffer et al. (1998, S. 256 - 257) geben an, dass der Düngeverbrauch an Kalium nach dem 2. Weltkrieg in den alten Bundesländern von jährlich ca. 35 (1950) auf ca. 80 kg / ha (1980) angestiegen ist, um dann bis 1994/95 für Deutschland auf ca. 32 kg / ha zu sinken. Daraus wird für den Zeitraum von 1950 bis 1988 ein durchschnittlicher Gesamtüberschuss von 2200 kg K / ha für beide Teile Deutschlands abgeleitet.

Für das Jahr 1999 konnte im RAUMIS ein durchschnittlicher Bilanzüberschuss von etwa 25 kg K / ha für die landwirtschaftlich genutzten Flächen der Bundesrepublik Deutschland ermittelt werden. Wie bei Phosphor ergeben sich bei Kalium Untersuchungsregionen mit positivem und negativem Bilanzsaldo (siehe Abb. 28). Der Anteil der Regionen mit negativem Saldo liegt bei Kalium jedoch nur bei knapp 4%. Für den Erftkreis wurde in diesem Zusammenhang der niedrigste Wert mit –9 kg K / ha ermittelt. Die höchsten Bilanzüberschüsse konnten hingegen für die Kreise Leer (ca. 81 kg K / ha), Lindau (ca. 82 kg K / ha), Wesermarsch (ca. 86 kg K / ha) und Rosenheim (ca. 87 kg K / ha) festgestellt werden.

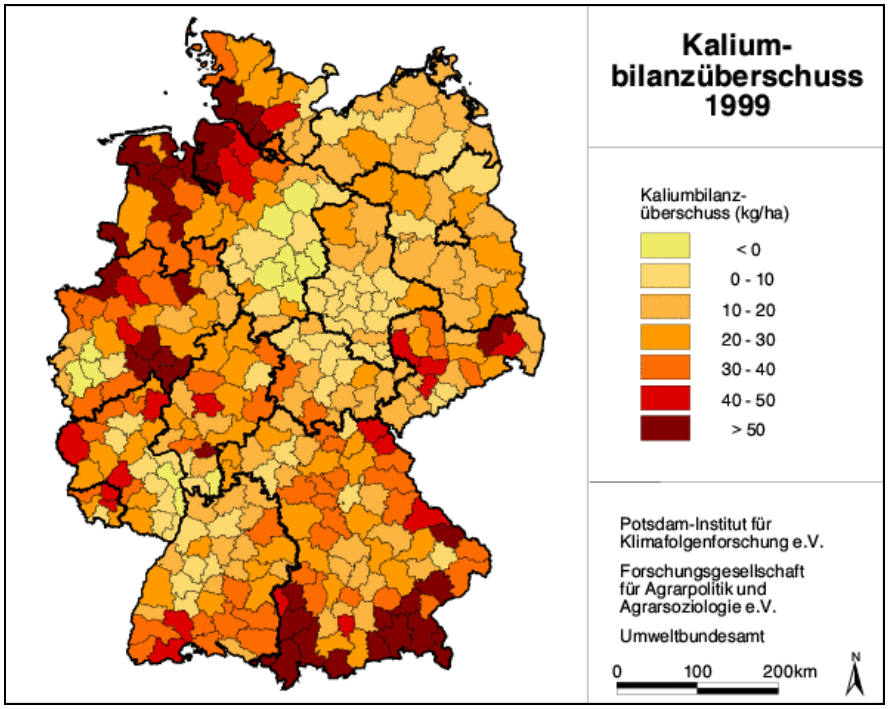



Abb. 28: Darstellung des Kaliumbilanzüberschusses sowie der Großvieheinheiten pro ha auf Kreisebene im Jahr 1999

Auch bei einer Betrachtung der geographischen Verteilung der Untersuchungsregionen mit hohen Bilanzsalden ist ein ähnliches Bild zu erkennen wie bei Stickstoff und Phosphor. Vor allem die Bundesländer Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern fallen durch relativ hohe Bilanzsalden auf, während in den neuen Bundesländern die Bilanzüberschüsse bei Kalium in der Regel deutlich niedrigere Werte erreichen.

### 3.3.4 Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Die Abbildung der durch Pflanzenschutzmitteleinsatz auf landwirtschaftlichen Flächen verursachten Umweltwirkungen in Form einer Zuordnung kalkulatorischer Kosten ist mit einer Fülle von Informationsdefiziten verbunden. Die hier ermittelten Ergebnisse sind insofern als eine Grobklassifizierung zu verstehen, in der Gebiete mit qualitativ hoher, mittlerer und niedriger Belastung ausgewiesen werden können. Die gewonnen Erkenntnisse sollen als Grundlage für weiterführende, detaillierte Studien dienen.

Kreise mit vergleichsweise geringen Aufwendungen finden sich im südlichen Bayern, im Nordosten Nordrhein-Westfalens sowie im nördlichen Niedersachsen (siehe Abb.29). Untersuchungsregionen mit einem relativ hohen monetären Pflanzenschutzmittelaufwand sind in den meisten Fällen durch den Anbau pflanzenschutzintensiver Produktionsverfahren gekennzeich-

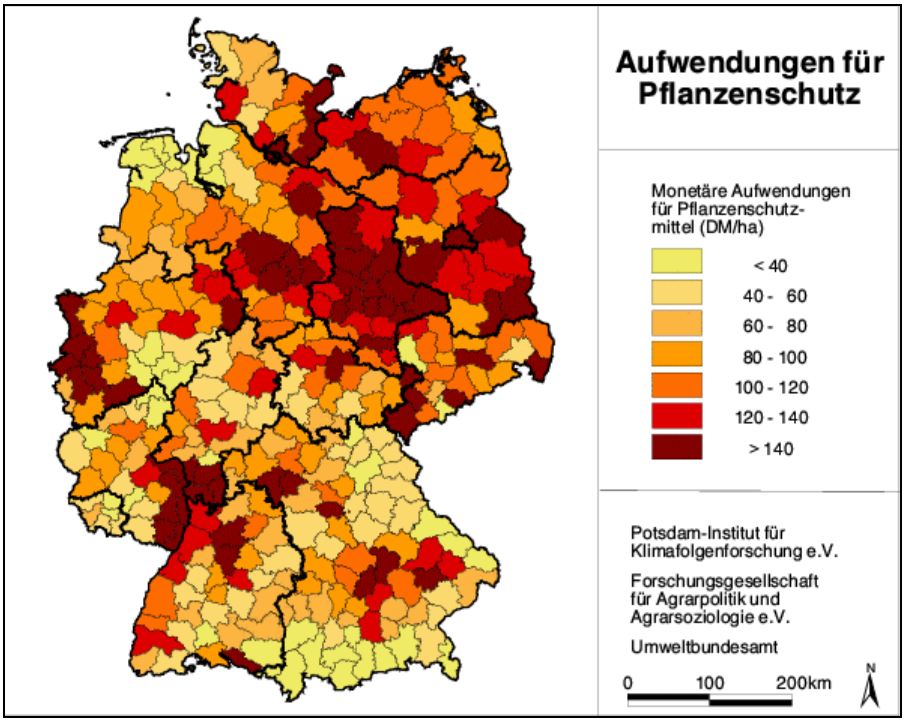



Abb. 29: Durchschnittliche monetäre Aufwendung für Pflanzenschutzmittel / ha und Jahr auf Kreisebene in der BRD

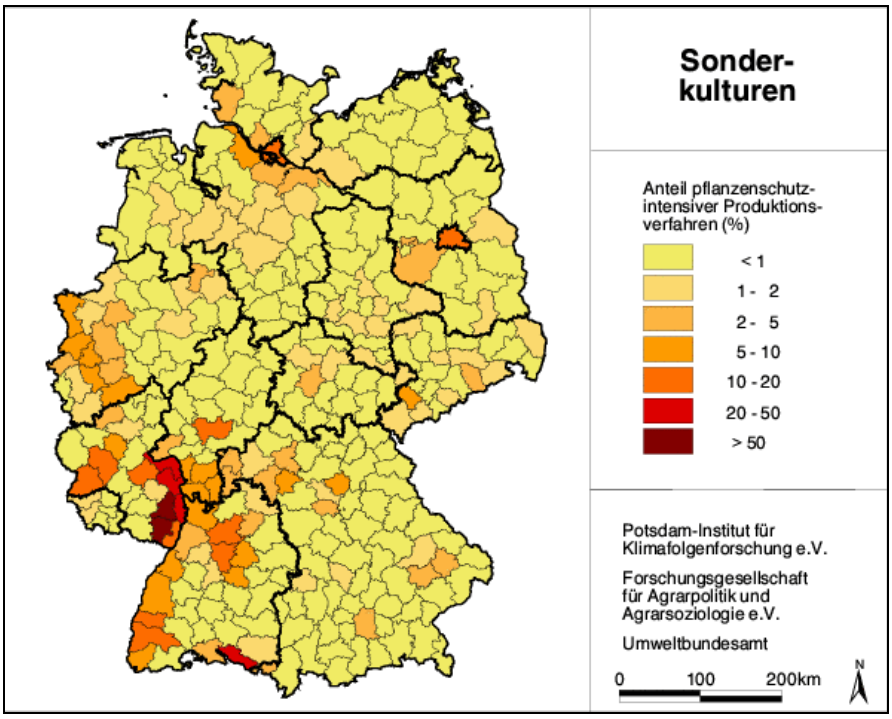



Abb. 30: Prozentualer Flächenanteil pflanzenschutzintensiver Produktions-verfahren (Rebland, Obst, Gemüse) an der gesamten Landwirtschaftsfläche je Kreis

net. Zur besseren Anschauung wurde deshalb in Abb. 30 der aggregierte prozentuale Flächenanteil der Produktionsverfahren Gemüse, Obst und Rebland an der gesamten Landwirtschaftsfläche ausgewiesen. Übereinstimmungen zu hohen Aufwendungen zeigen sich sehr schön in den typischen Weinanbaugebieten Mosel-Saar-Ruwer, Rheinhessen, Pfalz, Rheingau sowie Franken. Auch Kreise mit einem relativ großen Anteil an Obstanbau (Bodenseekreis, Stade, Dithmarschen) bzw. Gemüseanbau (Viersen, Erftkreis, Neuss, Kleve) sind gleichzeitig durch einen hohen monetären Pflanzenschutzmitteleinsatz gekennzeichnet.

Bei einer Auswertung der Daten ist allerdings zu beachten, dass Pflanzenschutzmittel für die oben genannten Sonderkulturen in der Regel teurer sind als die der herkömmlichen Produktionsverfahren und eine monetäre Aufwendung sich bereits aus diesem Grund deutlicher abbildet. Außerdem ist anzumerken, dass den Untersuchungsregionen mit pflanzenbaulichen Standortvorteilen und daher auch vergleichsweise hohen Erträgen (z.B. Magdeburger Börde) eine höhere Vorleistungsintensität mit entsprechend größeren monetären Pflanzenschutzmittelanwendung zugeschrieben wird. Lässt man die Gebiete mit hohem Anteil an Sonderkulturen (Wein-, Obst-, Gemüsebau) unberücksichtigt (Abb. 30), so ergeben sich bezüglich des großflächigen Einsatzes von Pestiziden im Ackerbau Schwerpunktgebiete, die weitgehend den landwirtschaftlichen Gunststandorten entsprechen, wie der Leipziger, Magdeburger und Hildesheimer Börde, der Straubinger Gäuboden usw.. Ausnahme bilden Landkreise mit Hopfenanbau, der in der Bodennutzungshaupterhebung nicht mehr als Sonderkultur aufgeführt wird und daher in die Ackerflächen mit eingeht. Auch bei geringem Anteil an der Ackerfläche sind die monetären Pflanzenschutzmittelaufwendungen für diese Kultur doch hoch, so dass einzelne Landkreise dadurch relativ hohe Aufwendungen aufweisen (z.B. Landkreise Neuburg-Schrobenhausen, Freising und Pfaffenhofen a. d. Ilm).

# 4. Diskussion

Ziel des Vorhabens war es, durch eine Verknüpfung von Agrarstatistikdaten mit Datensätzen der aktuellen Landbedeckung und der Bodeneigenschaften räumlich möglichst hochauflösende Karten der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf Bundesebene zu erstellen und flächendeckende Bewertungen hinsichtlich der Erosionsgefährdung durch Wasser, der Nährstoffbilanzen, des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und der Verdichtungsgefährdung vorzunehmen.

Die Analyse der zur Verfügung stehenden Agrarfachstatistikdaten ergab Unterschiede in den Flächenangaben, die im wesentlichen auf die unterschiedlichen Abschneidegrenzen in der Flächenerhebung (FlEhe) und der Bodennutzungshaupterhebung (BoHe) in Verbindung mit regional unterschiedlichen durchschnittlichen Betriebsgrößen zurückzuführen sind. Dies betrifft vor allem Gebiete mit überwiegend kleinen Betriebsgrößen, in denen viele Betriebe in der Bo-

He nicht erfasst werden. Eine weitere Ursache für Unterschiede ist in den unterschiedlichen Erhebungszeiten und in der betriebsbezogenen Erhebung in der BoHe gegenüber einer flächenbezogenen Erfassung in der FlEhe zu suchen. Dadurch werden Flächen außerhalb der Verwaltungseinheit des Betriebssitzes in der BoHe mit aufgeführt. Eine Analyse der statistischen Daten zeigte, dass zur Erfassung der Hauptklassen der Bodenbedeckung die Daten der Flächenerhebung am besten geeignet sind, mit Ausnahme der Werte für Acker und Grünland. Hier liefert die Bodennutzungshaupterhebung die besseren Ergebnisse. Sie wird auch für die Erfassung der Nutzung der Ackerflächen verwendet. Das Problem der Unterschiede in den Flächenangaben kann durch eine Neu-Skalierung der Angaben der BoHe umgangen werden. Dies kann durch eine Umrechnung der Flächenangaben in prozentuale Anteile der BoHe - Gesamtfläche geschehen. Diese Prozentangaben können dann mit den Flächenangaben der FlEhe verrechnet werden.

Der Abgleich der CORINE Karte mit den Daten der Flächenerhebung zeigte, dass in der CORINE Karte Ackerflächen erheblich überschätzt werden, während Grünland, Siedlungen sowie Wasserflächen unterschätzt werden. Durch GIS-gestützte Algorithmen zur Umwandlung von Flächen über Plausibilitäten konnte eine deutlich bessere Übereinstimmung in den Werten erzielt werden. Bei Betrachtung der Werte auf Landkreisebene zeigt sich jedoch, dass dieses Verfahren nur bei größeren Einheiten zu guten Übereinstimmungen führt. Bei Einheiten mit geringere räumlichen Ausdehnung, wie kreisfreien Städten und kleinen Landkreisen konnte vielfach kein befriedigendes Ergebnis erzielt werden. Gleichzeitig sind hier auch die Abweichungen in den Agrarfachstatistiken am größten. Die Erfassungsgrenze der CORINE - Karte von 25 ha gerade in Gebieten mit sehr starker kleinräumiger Variabilität, der Erhebungszeitraum dieser Karte und das weitgehende Fehlen von Gewässern und linienhaften Elementen setzt hier für das entwickelte Verfahren Grenzen. Es konnte gezeigt werden, dass der Informationsverlust durch die für die Berechnungen erforderliche Rasterung der CORINE - Karte dabei vernachlässigbar gering ist und somit als Fehlerquelle weitgehend ausgeschlossen werden kann. Landkreise mit großer Ausdehnung hingegen sind oft auch weniger stark kleinräumig strukturiert. Zusätzlich steigt die Wahrscheinlichkeit einer Kompensation der statistischen Abweichungen mit zunehmender Grundgesamtheit, die in diesem Falle durch die Flächenausdehnung der Verwaltungseinheiten repräsentiert wird. Es ist daher erwarten, dass durch eine Zusammenfassung von Landkreisen mit geringer räumlicher Ausdehnung zu größeren Einheiten ein besseres Ergebnis erzielt werden kann.

Das weitgehende Fehlen von Angaben zu den Verkehrsflächen erforderte auch eine Anpassung der Daten der Flächenerhebung, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen. Dies erschwert jedoch die routinemäßige Fortschreibung der statistischen Daten, da für jeden Erhebungszeitraum der Anteil der Verkehrsflächen außerhalb der Siedlungsflächen auf die übrigen Landbe-

deckungsklassen verteilt werden muss. Die verfügbaren Daten der Verkehrswege erlaubten hier nur eine grobe Abschätzung und dienten mehr zur Entwicklung einer geeigneter Methode, denn als tatsächliche Verbesserung der Datengrundlage. Die Alternative ist eine Tolerierung des dadurch entstehenden Fehlers in den absoluten Werten der Flächenangaben. Da dieser wie auch bei der Flächengröße hauptsächlich in ballungsraumnahen Gebieten eine Rolle spielt, in denen der Anteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen relativ gering ist, spielt auch dies nur eine relativ geringe Rolle für die Gesamtstatistik. Eine Aggregierung der Daten hat auch den Vorteil, dass die in manchen Teilen der Bundesrepublik Deutschland immer noch häufigen Änderungen der Verwaltungseinheiten leichter berücksichtigt werden können. Ferner werden damit auch die nicht unerheblichen Berechnungszeiten reduziert. Die kreisweise Zuweisung der Statistikdaten erfordert eine jeweils aktuelle digitale Karte der Verwaltungsgrenzen. Bei retrospektiven Analysen der Bodennutzung stellt sich hier das Problem der Verfügbarkeit derartiger Datensätze.

Bei der Abschätzung von Erosion und Verdichtung bestehen im wesentlichen zwei Probleme. Das eine ist die Verfügbarkeit hochauflösender digitaler Daten der Geländehöhe, die für die Berechnungen der Hangneigung und Hanglänge benötigt werden. Bisherige Erfahrungen zeigten, dass für eine Berechnung der Abtragsraten mit hinreichender Genauigkeit Geländedaten mit einer Mindestauflösung von 50 x 50 m erforderlich sind (Hennings, BGR, pers. Mitt. 2001). Da für die Durchführung dieses Vorhabens nur Daten in 1 x 1 km Auflösung zur Verfügung standen, können die darauf aufbauenden Ergebnisse nur als vorläufige Schätzung angesehen werden, da speziell die Hangneigung gerade in stark reliefiertem Gelände deutlich unterschätzt wird. In diesem Zusammenhang ist auch der Einfluss der Geländedaten auf die Flächenumwidmung zu erwähnen. Höherauflösende Geländedaten sollten in diesem Zusammenhang zu einer höheren Trennschärfe der Umwandlungsalgorithmen führen. Der Nachweis ob damit ein besseres Ergebnis erzielt werden kann steht allerdings noch aus.

Das zweite Problem stellt die Parametrisierung der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) und ausreichende Informationen für die Abschätzung der Verdichtungsgefährdung dar. Eine intensive Evaluierung verfügbarer Informationen via Literaturrecherche, Internet und telefonische Befragung von Fachbehörden und Experten führte nur zu sehr unbefriedigenden Ergebnissen. So musste für die Abschätzung der C-, P- und L-Faktoren im wesentlichen auf Daten aus dem Bundesland Bayern zurückgegriffen werden. Auch bezüglich der Fruchtfolgen standen außer für die Bundesländer Brandenburg und Bayern keine regional differenzierten Informationen zur Verfügung. Aufgrund der Datenverfügbarkeit wurden die Kulturarten zu Gruppen zusammengefasst.

Typische Fruchtfolgen und ihr Einfluss auf den Bodenabtrag wurden daher durch eine zufällige Verteilung der Kulturartengruppen auf die Ackerfläche unter Berücksichtigung ihrer Anteile an der

Anbaufläche zum Stichtag der Bodennutzungshaupterhebung berechnet. Verbesserungen könnten hier durch das Verwenden von Fruchtfolgen, möglicherweise unter Einbeziehung des Ertragspotentials der Böden erzielt werden, die jedoch eher für die Untersuchung der Variabilitäten innerhalb der Landkreise von Bedeutung sind. Einen größeren Einfluss auf das Ergebnis könnte jedoch eine differenziertere, mehr auf die einzelnen Kulturarten bezogene Parametrisierung der ABAG haben. Konnten die fehlenden Werte der Kulturtermine durch das Hinzuziehen bundesweiter Phänologiedaten zumindest teilweise abgefangen werden, so hat das Fehlen von Werten für den relativen Bodenabtrag (RBA), der Regenerosivität (RRA) einzelner Fruchtarten und Regionen einen nicht quantifizierbaren Effekt auf das Ergebnis. Bezüglich des R-Faktors konnte gezeigt werden, dass die verschiedene Verfahren (verschiedene Regressionsgleichungen und Isoerodenten-Karte nach Sauerborn, 1994) bezüglich der Ackerflächen zu sehr ähnlichen Ergebnissen führen, was angesichts der relativen Bedeutung des R-Faktors in der ABAG auf eine gewisse Robustheit des Verfahrens bezüglich seiner Parametrisierung schließen lässt.

Die Wirkung von bodenschonenden Bewirtschaftungs- (RBA - Werte) und Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktoren) können auf dieser Maßstabsebene nur über pauschale Annahmen untersucht werden, da für eine flächenscharfe Erfassung Daten auf Betriebsebene nötig wären.

Zusätzliche Informationen können als modifizierte Tabellen oder Karten relativ leicht in das entwickelte Verfahren eingebracht werden, so dass die Wirkung einer verbesserte Parametrisierung der ABAG, als auch verschiedene Varianten der Bodennutzung in ihrer Wirkung auf den Abtrag relativ einfach untersucht werden können.

Auch bezüglich der Abschätzung der Verdichtungsgefährdung der Böden stellt sich das Problem der Datenverfügbarkeit. Eine Kombination von Vorbelastung der Böden und Spurflächensummen scheint hier ein vielversprechender Weg einer Gefährdungsabschätzung auf der untersuchten Maßstabsebene zu sein.

Für die Böden der BÜK1000 stehen Informationen zur Vorbelastung zur Verfügung, jedoch fehlen ausreichende Informationen zu den Spurflächensummen einzelner Kulturarten und Bewirtschaftungsformen. Exemplarisch wurden die Möglichkeiten eines solchen Ansatzes anhand der Werte aus Zapf (1997) für Wintergetreide, Winterraps, Silomais, Kartoffeln und Zuckerrüben aufgezeigt. Verbesserungen wären eventuell auch durch eine Berücksichtigung der Daten zum Einsatz organischer Dünger pro Landkreis zu erzielen, was wiederum die Spurflächensummen beeinflusst (siehe Kap. 3.3.3). Von größerer Bedeutung für das Ergebnis wären jedoch regional differenzierte Informationen zu den Spurflächensummen pro Kulturart und Bewirtschaftungsform, sowie Informationen über die Bewirtschaftungsweisen selbst.

Somit stehen ausbaufähige Werkzeuge zur Abschätzung von Erosions- und Bodenverdichtungsgefährdung zur Verfügung, deren Einsatz zur Zeit hauptsächlich durch die Verfügbarkeit

kulturartenspezifischer Informationen, aber auch durch die räumlichen und inhaltlichen Auflösung der bundesweit verfügbaren Datensätze (Bodenkarte, Höhenmodell) limitiert ist, in jedem Falle jedoch eine Bewertung nutzungs- und bewirtschaftungsbedingter Änderungen in Form von relativen Trends erlauben. Inwieweit durch den Einsatz prozessbasierter Modelle wie beispielsweise der Modellsysteme EROSION 2D/3D (Schmidt et al. 1996), WEPP (Water Erosion Prediciton Project; Flanagan et al. 2001) oder EUROSEM (European Soil Erosion Modell; Morgan et al. 1998), bzw. durch eine Unterlegung der vorhandenen Algorithmen mit Ergebnissen derartiger Modellansätze eine Verbesserung der Ergebnisse erzielt werden könnte, müsste ebenfalls geprüft werden. Ansätze hierfür liefert zum Beispiel auch das europaweit angelegte PESERA Projekt (Pan European Soil Erosion Risk Assessment; http://pesera.jrc.it).

Die erzielten Ergebnisse lassen Schwerpunktgebiete mit erhöhtem Abtragsrisiko pro Einheitsfläche erkennen, die hauptsächlich in den Mittelgebirgsregionen zu finden sind, in denen jedoch der Anteil von Acker an der Gesamtfläche und damit die betroffene Gesamtfläche meist nur gering ist. Diese Gebiete weisen meist auch eine hohe Gefährdung durch Verdichtung auf, wobei in letzterem Fall hohe Anteile von Zuckerrüben, Mais und Kartoffeln an der Anbaufläche, sowie Böden mit hohen Vorbelastungsstufen auch in tieferen Lagen zu einem hohen Gefährdungspotential führen. Die für die Abschätzung der Verdichtungsgefährdung verwendeten Werte der Spurflächensummen sind im internationalen Vergleich eher im unteren Bereich anzusiedeln (Zapf 1997), so dass die Berechnungen das Gefährdungspotential eher unterschätzen, zumal nicht alle Kulturen bewertet werden konnten.

Betrachtet man die Nährstoffbilanzen und den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln, so ergeben sich hier andere Schwerpunkträume einer Bodengefährdung.

Bezüglich der Nährstoffbilanzen zeigte sich eine Verlagerung der Schwerpunkträume der Bilanzüberschüsse bei einem insgesamt abnehmenden Trend der Belastung. Am deutlichsten wird dies beim Stickstoff. Hier konzentriert sich die Belastung auf einige Schwerpunkträume, die hauptsächlich in Nordwest- und Südwestdeutschland zu finden sind. Weniger eindeutig ist das Bild bei Kalium und Phosphor. Hier überlagern sich offenbar die Wirkungen von Düngemitteleinsatz, Viehhaltung und anderen Einflussfaktoren. Unsicherheiten in der Bilanzierung entstehen hauptsächlich durch die pauschalen Annahmen für NPK Gehalte in organischen Düngern und den Verlusten bei der Ausbringung durch Ausgasung und anderer chemischer Prozesse. Insgesamt kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Werte gut abgesichert sind und auf der betrachteten Maßstabsebene als Grundlage für Entscheidungen bzgl. Maßnahmen zum Bodenschutz herangezogen werden können. Mit den vorhandenen Werkzeugen ist es auch möglich, Landnutzungsszenarien zu rechnen und die Bewertung ihrer Wirkung auf die Nährstoffbilanzen vorzunehmen. Die Einbindung des RAUMIS Modellsystems in Modelle, welche die Dynamik sowohl des europäischen als auch des Weltagrarmarktes beschreiben

(Cypris et al. 1997, Eurostat & IAP 1997), ermöglicht außerdem eine Anbindung der Bodennutzung an die Dynamik der Agrarmärkte. Aus den Projektionen können auf Kreisebene Entwicklungstrends der Acker- und Grünlandflächennutzung abgeleitet werden.

Grosse Unsicherheiten bestehen noch bei der Beurteilung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln. Die Erfassung des monetären Aufwandes in Verbindung mit der Bodennutzung erlaubt zwar qualitative Rückschlüsse auf eine mögliche Belastung, für eine quantitative Bewertung bedarf es jedoch umfangreicherer Informationen bezüglich der verwendeten Pflanzenschutzmittel und ihrer spezifischen wirkstoffbezogenen Eigenschaften. Arbeiten hierzu werden beispielsweise an der Universität Bonn durchgeführt (Sieber, IAP, Uni Bonn, pers. Mitt. 2002). Mit dem in diesem Vorhaben erzielten Ergebnissen ergibt sich für die Abschätzung der untersuchten Bodengefährdungspotentiale eine Limitierung der Aussagekraft der Indikatoren zur Bodenerosion durch Wasser, der Bodenverdichtung und der Wirkung von Pflanzenschutzmitteln durch die Verfügbarkeit geeigneter Hintergrundinformationen. Teilweise ist auch die räumliche Auflösung der zur Verfügung stehenden Eingangsdaten noch zu gering.

Trotz noch bestehender Unzulänglichkeiten in punkto Datenverfügbarkeit ist es jedoch beim erreichten Stand der Arbeiten auf jeden Fall möglich, relative Trends der Wirkung von Änderungen der Landnutzung und/oder der Bewirtschaftung zu berechnen und in ihrer Wirkung auf die Erosionsgefährdung durch Wasser und die Bilanzen für Stickstoff, Phosphor und Kalium zu bewerten. Sind entsprechende Informationen verfügbar, lässt sich dies in Zukunft auch relativ einfach für die Abschätzung der Bodenverdichtungsgefährdung erreichen. Durch Anbindung prozessbasierter Modelle zur Simulation der Erosion und des Verhaltens der Nährstoffe in der Umwelt lassen sich detailliertere Erkenntnisse zu den jeweiligen Gefährdungspotentialen gewinnen.

Damit können diese Größen als bodenschutzbezogene Umweltindikatoren in der nationalen und internationalen Berichterstattung genutzt werden (siehe auch Schramek et al. in Vorb.). Gerade die relativ einfache Berechnung ermöglicht dabei die großflächige Anwendung im bundes- oder auch europaweitem Maßstab und kann damit für die Ableitung von Trends, zur Maßnahmen und Erfolgskontrolle, der Ableitung von Handlungszielen und damit letztendlich für die Beratung von Entscheidungsträgern verwendet werden. Projektionen über zukünftige Entwicklungen sind damit ebenfalls möglich.

# 5. Zusammenfassung

Die Kenntnis der aktuellen Landnutzung ist von entscheidender Bedeutung für die Abschätzung nutzungsbedingter Gefährdungspotentiale des Schutzgutes Boden. Für eine Abschätzung von Risiken wurden Agrarstatistikdaten mit Datensätzen der Landbedeckung und der Bodeneigenschaften verknüpft. Als Ergebnis liegen räumlich hochauflösende digitale Karten der landwirtschaftlichen Bodennutzung auf Bundesebene vor, die für Bewertungen der Erosionsgefährdung durch Wasser, der Nährstoffbilanzen, des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln und der Verdichtungsgefährdung verwendet wurden. Alle Berechnungen wurden auf der Ebene der Landkreise durchgeführt. Dabei kann neben der potentiellen nun auch die nutzungsbedingte aktuelle Erosionsgefährdung erfasst werden.

Als Ergebnis wurden unterschiedliche Schwerpunkträume für Abtragspotential, Verdichtungsgefährdung sowie Nährstoffbilanzüberschüssen ausgewiesen. Das höchste Abtragsrisiko weisen die Gebiete der Mittelgebirge auf, da hier hohe Niederschläge in Verbindung mit größeren Hangneigungen sich ungünstig auswirken. Bezüglich der Verdichtungsgefährdung weisen Böden auf Festgesteinen und Flächen mit einem hohen Anteil an Hackfrüchten das höchste Risiko auf. Daher sind auch bezüglich der Verdichtungsgefährdung oftmals hohe Werte in den Mittelgebirgen zu finden. Die Ergebnisse der Stickstoffbilanzierungen ergaben eine Verlagerung der Schwerpunkträume der Bilanzüberschüsse in den letzten 20 Jahren, bei einem insgesamt abnehmenden Trend der Belastung. Die höchsten Belastungen konzentrieren sich auf einige Landkreise, die hauptsächlich in Nord- und Südwestdeutschland zu finden sind. Die Überschüsse bei Kalium und Phosphor zeigen ein ähnliches räumliches Muster wie der Stickstoff, doch überlagern sich hier auch die Wirkungen von Düngemitteleinsatz, Viehhaltung und anderen Einflussfaktoren. Eine Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmittel ist derzeit auf dieser Maßstabsebene noch nicht möglich. Der Indikator der monetären Aufwendungen erlaubt keine Einschätzung der eingesetzten Substanzen und damit keine Bewertung des Risikos.

Die Interpretation der errechneten absoluten Werte sollte vor allem bezüglich Bodenerosion und -verdichtung vor dem Hintergrund der Verfügbarkeit und Genauigkeit der Eingangsdaten und Informationen zur Bewertung der Landnutzung kritisch beurteilt werden. Mit Ausnahme der pflanzenschutzmittelbezogenen Indikatoren ist es jedoch in jedem der untersuchten Fälle möglich, relative Trends der Wirkung von Änderungen der Landnutzung und der Bewirtschaftung zu berechnen und in ihrer Wirkung zu bewerten.

# 6. Summary

Detailed information about current land use is very important for estimating soil related hazards due to land management. For estimating potential risks statistical land-cover and soil data were combined. As result digital maps of current land-use in high spatial resolutions are available now for the area of Germany. These maps were used to evaluate potential damages due to water erosion, soil compaction, nutrient surplus and application of pesticides on arable land. All calculations were performed on county level. Due to the availability of land-use maps not only potential soil erosion but also current erosion risk, which is affected by land management, can be estimated now.

Results show areas with high rates of erosion, soil compaction and nutrient surplus which are different for each risk potential. Highest erosion rates can be found in the low mountain ranges. High amounts of rainfall in combination with steep slopes are the reason for this. Risk of soil compaction is highest for soils on solid rock and areas where large parts of arable land are used to grow tuber crops. There is a partly coincidence between areas of high erosion and soil compaction risk because soils on solid rocks are mostly found in low mountain areas.

Calculations of nitrogen budgets of the cultivated land show a major change in areas affected by high nitrogen surplus within the last twenty years in combination with a general decrease in the absolute amounts as well. Highest rates can be found in a number of counties in northwestern and southwestern Germany. Spatial patterns of potassium and phosphorus surplus are quite the same compared to nitrogen, but there seem to be additional factors influencing the total balances per county such as the application of different fertilizers, amounts of livestock farming and others.

Risks due to the application of pesticides can not be evaluated at this spatial scale yet. The amount of money spent for pesticides per county and area of arable land is not a feasible indicator for estimating and evaluating the risks which might rise from the chemical substances which are applied.

Concerning the absolute values results of this project should always be considered in relation to the spatial resolution and the quality of the input data and the information which were available to evaluate the impacts of management practices and land-use.

But, apart from pesticides, relative trends in the impact of land-use changes and or land management can be evaluated which are feasible for monitoring and reporting.

# 7. Literatur


Auerswald K., Schmidt F. (1989): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen. GLA Fachberichte 1, München. 2. Auflage. 72 S.

Bach M., Frede H.-G., Lang G. (1997): Entwicklung der Stickstoff-, Phosphor- und Kalium-Bilanz der Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. Studie im Auftrag des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD), Frankfurt am Main.77 S.

Bach M., Huber A., Frede H.-G. (2000): Schätzung der Einträge von Pflanzenschutzmitteln aus der Landwirtschaft in die Oberflächengewässer Deutschlands. Im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA Forschungsbericht 295 24 034, UBA-FB 99-114, Berlin. 272 S.

Behrendt H., Huber P., Opitz D., Schmoll O., Scholz G., Uebe R. (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. UBA Forschungsbericht 296 25 515. UBA-FB 99-087, Berlin. 288 S.

BGBl (Bundesgesetzblatt) (1992): Gesetz über Agrarstatistiken (Agrarstatistikgesetz–AgrStatG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 03. Oktober 1992 (BGBl I S. 1633).

BGBl (Bundesgesetzblatt) (1998a): Gesetz über Agrarstatistiken (Agrarstatistikgesetz - AgrStatG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 1998 (BGBl. I S.1635).

BGBl (Bundesgesetzblatt) (1998b): Gesetz zum Schutz des Bodens (Bodenschutzgesetz) vom 17. März, 1998 (BGBL I S. 502).

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1996): Die neue Düngeverordnung. Verordnung über die Grundsätze der guten fachlichen Praxis beim Düngen. http://www.bml.de

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (1999): Das Pflanzenschutzgesetz. Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Bonn. 179 S.

BML (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten) (2000): Agenda 2000. Pflanzlicher Bereich Agrarumweltmaßnahmen. BML Bonn 60 S.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2001): Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung der Rechts des Naturschutzes und der Landschaftspflege und zur Anpassung anderer Rechtsvorschriften. Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. http://www.bmu.de/fset1024.htm

Brouwer F.M., Godeschalk F.E., Hellegers P.J.G.J., Kelholt H.J. (1995): Mineral balances at farm level in the European Union. Den Haag (draft report)

CORINE (Coordination of Information on the Environment) (1997): Technical and Methodological Guide for Updating CORINE Land Cover, EEA/JRC. Brussels.

Cypris C., Kleinhanss W., Kreins P., Manegold D., Meudt M., Sander R. (1997): Modellrechnungen zur Weiterentwicklung des Systems der Preisausgleichszahlungen. Arbeitsmaterial der Forschungsgesellschaft für Agrarpolitik und Agrarsoziologie e.V., Nr. 2, November 1997.

Dehio J. (1993): Analyse der agrar- und umweltrelevanten Auswirkungen von Auflagen und Steuern im Pflanzenschutzbereich. Studien zur Wirtschafts- und Agrarpolitik, Band 9. Verlag M. Wehle, Witterschlick/Bonn. 154 S.

DIN 19688 (2000): Deutsche Norm Bodenbeschaffenheit, Ermittlung der mechanischen Belastbarkeit und Verdichtungsempfindlichkeit von Böden; Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Entwurf; Juli 2000, 8 S:

DWD (Deutscher Wetterdienst) (2001): Klimastatusbericht 2000. Deutscher Wetterdienst Offenbach. Selbstverlag. 203 Seiten. http://www.ksb.dwd.de/

ESRI (Gesellschaft für Systemforschung und Umweltplanung mbH) (1993): ArcDeutschland 500, Version 1.0 Benutzerhandbuch, Kranzberg

EUROSTAT und IAP (Institut für Agrarpolitik der Universität Bonn) (1997): Auswirkungen einer weltweiten Liberalisierung der Märkte für Getreide, Ölsaaten und Hülsenfrüchte auf die Landwirtschaft der Europäischen Union. Amt für amtliche Veröffentlichungen der EG, Luxemburg.

Fischer P. (1996): Quantifizierung der Eintragspfade für Pflanzenschutzmittel in Fließgewässer. Boden und Landschaft. Schriftenreihe zur Bodenkunde, Landeskultur und Landschaftsökologie, Band 12. Justus-Liebig-Universität, Gießen.166 S.

Flanagan D.C., Ascough II J.C., Nearing M.A., Laflen J.M. (2001): Chapter 7: The Water Erosion Prediction Project (WEPP) Model. In R.S. Harmon and Doe III W.W., (Eds.): Landscape Erosion and Evolution Modeling. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA. 51 pp.

Freund B. (1992): Ökologie-Forum Hessen. Böden in Hessen. Die Nutzung der Hessischen Böden; Sonderdruck des Hessischen Ministeriums für Landesentwicklung, Wohnen, Landschaft, Forsten und Naturschutz; Wiesbaden; 15 S.

Fritsch U., Katzenmaier D., Menzel L. (1999): Land Use Scenarios for Flood Risk Assessment Studies. In: Ecole Polytechnique Federal de Lausanne (Ed.): 2nd Inter-Regional Conference on Environment-Water 99, Lausanne

GLA (Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen) (2000): Karte der Erosions- und Verschlämmungsgefährdung der Böden in Nordrhein-Westfalen des Geologischen Landesamtes Nordrhein-Westfalen. CD-ROM.

Gündra H., Jäger S., Schroeder M., Dikau R. (1995): Bodenerosionsatlas Baden-Württemberg ; Agrarforschung in Baden-Württemberg, Bd. 24; Stuttgart

Gutsche V., D. Rossberg D. (1997): Die Anwendung des Modells SYNOPS 1.2 zur synoptischen Bewertung des Risikopotenzials von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen für den Naturhaushalt. In: Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst, Nr. 49. Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. S. 273-285.

Gutsche V., Rossberg D. (2000): Bewertung von Pflanzenschutz – Strategien mittels Risikoindikatoren. In: Brauchen wir den chemischen Pflanzenschutz? Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 371, Parey Buchverlag, Berlin. S. 68-83.

Håkansson I., Reeder R.C. (1994): Subsoil compaction by vehicles with high axle load – extent, persistence and crop response; Soil & Tillage Research 29, 277-304

Hastings DA, Dunbar PK, (1999): Global Land One-kilometer Base Elevation (GLOBE) Digital Elevation Model, Documentation, Vol.1; National Oceanic and Atmospheric Administration, Report 34; Boulder, Colorado.

Hennings, V. (2000): Methodendokumentation Bodenkunde Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Sonderhefte Reihe G – Geologisches Jahrbuch Heft 1, 2. Auflage, 232 S.

Henrichsmeyer W., Cypris C., Löhe W., Meudt M., Sander R., Sothen F. von, Isermeyer F., Schefski A., Schleef K.-H., Neander E., Fasterding F., Helmcke B., Neumann M., Nieberg H., Manegold D., Meier T. (1996): Entwicklung des gesamtdeutschen Agrarsektormodells RAUMIS96. Endbericht zum Kooperationsprojekt. Forschungsbericht für das BML (94 HS 021), vervielfältigtes Manuskript, Bonn/Braunschweig. 358 S.

Hornsby A.G., Wauchope R.D., Herner A.E. (1996): Pesticide properties in the environment. Springer-Verlag New York, Inc. 227 p.

ILL (Institut für Länderkunde, Leipzig) (Hrsg.) (in Vorb.): Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland , Karte 2 „Potenzielle Erosionsgefährdung ackerbaulich genutzter Böden durch Wasser“; Spektrum Akademie. Verlag, Heidelberg , Berlin.

KA4 (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. verbesserte und erweiterte Auflage, E. Schweizerbart’sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart; 392 S.

Kappelmann K.-H. (1988): Nutzung freigesetzter Flächen. In: Angewandte Wissenschaft; Reihe A Heft 356.

Köster W. (1992): Nährstoffeinträge in landwirtschaftlich genutzten Böden und zukünftiger Bedarf an N-, P- und K-Mineraldünger bei ordnungsgemäßer Landbewirtschaftung. In: Rosenkranz D., Einsele G., Harreß H.-M.: Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser-. Berlin, Stand 4/92, S. 5030/1-23

Krysanova V., Becker A. (1997): Gekoppelte hydrologische und Wasserqualitätsmodellierung in meso- und großskaligen Einzugsgebieten. In: Modellierung des Wasser- und Stofftransports in großen Einzugsgebieten. Zusammenstellung der Beiträge des Workshops am 15. Dezember 1997 in Potsdam, PIK Report Nr. 43. Potsdam.

Lang S., Hurle K. (1997): Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in Oberflächengewässer durch Oberflächenabfluß. In: Pflanzenschutzmitteleinträge in Oberflächengewässer durch Oberflächenabfluß und Dränung. Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Berlin Dahlem, Heft 330, Parey Buchverlag, Berlin. S. 7-18.

LFU (Landesamt für Umweltschutz) (Hrsg.) (1995): Workshop Prognose von Bodenerosion; Landesanstalt für Umweltschutz; Abteilung 5 Boden, Abfall, Altlasten Referat 51 Bodenschutz, Karlsruhe, Juli 1995;
http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/bofaweb/berichte/mzb04/mzb0424.htm

Lillesand T.M., Kiefer R.W. (1987): Remote Sensing and image interpretation. John Wiley & Sons, New York.

Marks R., Müller M., Leser H., Klink H.-J. (1992): Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushalts. Zentralausschuß f. dt. Landeskunde (Hrsg.). Forschung zur dt. Landeskunde, Band 229: Selbstverlag Trier.

Meynen E., Schmithüsen. J., Gellert J., Neef E., Müller-Miny H., Schultze J.H. (1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bad Godesberg, Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung.

Morgan R.P.C, Quinton J.N., Smith R.E., Govers G., Poesen J.W.A., Auerswald K., Chisci G., Torri D., Styczen M.E. (1998): The European soil erosion model (EUROSEM): A process-based approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. Earth Surface Processes and Landforms 23, 527-544.

Müller U. (1997): Auswertungsmethoden im Bodenschutz Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssytems (NIBIS), 6. erweiterte und ergänzte

Auflage, Herausgegeben vom Niedersächsischen Landesamt fürBodenforschung, Hannover 1997.

Müller U., Degen C., Jürging C. (1992): Dokumentation zur Methodenbank des Fachinformationssystems Bodenkunde (FIS BODEN); Technische Berichte zum NIBIS, Heft 3, 5. überarbeitete Aufl.; Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover

Nause G. (1999): Programm und Organisation der Landwirtschaftszählung 1999. In: StBA, Wirtschaft und Statistik 03/1999, S. 179-188.

Nicklis M. (1991): Stickstoffeinsatz in der Landwirtschaft –Umweltwirkungen und umweltpolitische Maßnahmen-. Europäische Hochschulschriften V/1189, Frankfurt a.M.

Nieder R., Schollmayer B. (1988): Gemeindebezogene N-Bilanzen in NRW zur Abschätzung der potenziellen Nitratbelastung des Grundwassers durch landwirtschaftliche Nutzung. In: Miteilung der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft, Band 57, S. 83-88

PARCOM (Paris-Konvention zur Verhütung der Meeresverschmutzung) (1993): Dritte Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe zur Reduzierung der Nährstoffeinträge aus der Landwirtschaft – Anlage 1: PARCOM-Richtlinien für die Berechnung von Mineralbilanzen

Petrauschke B., Pesch K.-H. (1998): Nutzung der Bodenfläche in der Bundesrepublik Deutschland. Ergebnisse der Flächenerhebung 1997 nach Art der tatsächlichen Nutzung. In: Wirtschaft und Statistik 07/1998, S. 574-583, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.

Sauerborn P. (1994): Die Erosivität der Niederschläge in Deutschland – Ein Beitrag zur quantitativen Prognose der Bodenerosion durch Wasser in Mitteleuropa. - Bonner Bodenkundl. Abh., 13; Bonn.

Schäfer-Landefeld L., Brandhuber R. ( 2001): Regressionsmodelle zur Bestimmung der mechanischen Vorbelastung von Böden – Ein tragfähiges Konzept?; Bodenschutz 2, 48 – 52, Erratum Bodenschutz 3, 104

Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H.-P., Brümmer, G., Hartge, U., Schwertmann, U. (1998): Lehrbuch der Bodenkunde. 14. Aufl., Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 494 S.

Schmidt J., Werner M. v., Michael A., Schmidt W. (1996): Erosion 2D/3D; Ein Computermodell zur Simulation der Bodenerosion durch Wasser. Selbstverlag. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden, Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.

Schollmayer B., Nieder R. (1989): Gemeindebezogene Berechnung des möglichen N-Überhanges auf der LF in NRW. In: Miteilung der deutschen bodenkundlichen Gesellschaft, Band 59/II, S.1135-1136

Schramek J., Immel M., Peukert M.J., Thielmann G. (im Druck): Weiterentwicklung von nationalen Indikatoren für den Bodenschutz; FKZ 200 71 243; Umweltbundesamt, Berlin

Schwertmann U., Vogl W., Kainz M. (1987): Bodenerosion durch Wasser – Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen 2. Auflage Ulmer Verlag, Stuttgart 64 S.

SFB (Sonderforschungsbereich) 299 (Ed.) (1999): Landnutzungskonzepte für periphere Regionen. Arbeit- und Ergebnisbericht, Universität Giessen.

SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (1987): Umweltgutachten 1987. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart und Mainz. 674 S.

SRU (Rat von Sachverständigen für Umweltfragen) (2000): Umweltgutachten 2000. Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart. 685 S.

StBA (Statistisches Bundesamt) (1998): Wirtschaft und Statistik, Jahrgang 1998, Wiesbaden.

StBA (Statistisches Bundesamt) (1999): Wirtschaft und Statistik, Jahrgang 1999, Wiesbaden.

UBA (Umweltbundesamt) (1997): Nachhaltiges Deutschland –Wege zu einer dauerhaft-umweltgerechten Entwicklung.- Umweltbundesamt, Berlin

UBA (Umweltbundesamt) (1998): Jahresbericht 1997. Komag Berlin-Brandenburg, Berlin

UBA (Umweltbundesamt) (2001): Quantifizierung des Einflusses der Landnutzung und -bedeckung auf den Hochwasserabfluss in Flussgebieten; Umweltbundesamt Berlin, CD-ROM

von Werner M. (1995): GIS-orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten; Dissertation am Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin;
http://www.geog.fu-berlin.de/~erosion/diss_pdf.html

Wechsung F., Krysanova V., Flechsig M., Schaphoff S. (2000): May land use change reduce the water deficiency problem caused by reduced brown coal mining in the state of Brandenburg? Landscape and Urban Planning 730, 1-13.

Weingarten P. (1996): Grundwasserschutz und Landwirtschaft. In: Landwirtschaft und Umwelt, Band 13, Wissenschaftsverlag Vauk Kiel KG. 278 S.

Wendland F., Albert H., Bach M., Schmidt R. (Hrsg.) (1993): Atlas zum Nitratstrom in der Bundesrepublik Deutschland; Rasterkarten zu geowissenschaftlichen Grundlagen, Stickstoffbilanzgroessen und Modellergebnissen; Springer Verlag Berlin, 96 S.

Wischmeier W. H., Schmith D. D. (1978): Predicting Rainfall Erosion Losses. - A Guide to Conservation Planning. U. S. Dept. of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.

Zapf R. (1997): Mechanische Bodenbelastung durch die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion in Bayern. - Bodenkultur und Pflanzenbau, Heft 7/97 (Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau), München. 33 S.

Zebisch, M und Kenneweg, H. (2001): Landscape Response to External Driving Forces. In: Mander, Ü., Printsmann, A., et al., (Hrsg.): IALE European Conference 2001: Development of European Landscapes - Conference Proceedings. Institute of Geography University of Tartu.

## 8. Danksagung

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle recht herzlich bei einer Reihe von Wissenschaftlern und Fachbehörden bedanken, die durch ihre freundliche Unterstützung wesentlich zum Gelingen dieses Vorhabens beigetragen haben. Unser Dank gilt

- Herrn Prof. Dr. Gutsche, Biologische Bundesanstalt, Kleinmachnow für das freundliche und sehr informative Gespräch zum Thema Pflanzenschutzmittel.
- Herrn Eckelmann und Herrn Dr. Hennings, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover für die Bereitstellung der bodenbezogenen Daten und die sehr hilfreiche fachliche Beratung
- dem Deutschen Wetterdienst für die Bereitstellung der Temperatur und Phänologiedaten
- Dr. Frank Wendland, KFA Forschungszentrum Jülich für die freundliche Überlassung der Bodengütedaten
- dem Bundesamt für Naturschutz für die Bereitstellung der Karte der naturräumlichen Einheiten und
- Herrn Dr. Enzian, Biologische Bundesanstalt, Kleinmachnow für die Unterstützung in Fragen bezüglich der Fachstatistiken und der Landnutzung
- allen studentischen Hilfskräften, insbesondere Frau Kathrin Poser und Frau Nadine Mentze für ihren unermüdlichen Einsatz bei der Datenrecherche und -prüfung und der Kartenerstellung

## Anhang 1: Definition und Abgrenzung der Landwirtschaftlich genutzten Fläche

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche definiert sich über „Flächen, die zur Erzeugung pflanzlicher landwirtschaftlicher Produkte genutzt werden. Hierzu rechnen die Flächen der folgenden Nutzungsarten:

Ackerland, Dauergrünland, Gartenland, Obstanlagen, Baumschulen, Rebland sowie Korbweiden-, Pappelanlagen und Weihnachtsbaumkulturen außerhalb des Waldes.

Das Ackerland umfasst Flächen, auf denen landwirtschaftliche Feldfrüchte angebaut werden.

Zum Dauergrünland rechnen Grünlandflächen, die ohne Unterbrechung durch andere Kulturen zur Futter- oder Streugewinnung oder zum Abweiden bestimmt sind, einschließlich der Grünlandflächen mit Obstbäumen, bei denen der Obstanbau nur die Nebennutzung darstellt.

Zum Gartenland zählen Gartenflächen, auf denen für den eigenen Bedarf Gartengewächse (Obst, Gemüse, Zierpflanzen) oder Kartoffeln unter anderem angebaut werden, sowie das Grabeland auf dem Acker außerhalb der Fruchtfolge.

Obstanlagen sind ertragfähige und noch nicht ertragfähige Anlagen von Obstbäumen und -sträuchern ohne Unterkultur oder als Hauptnutzung mit Unterkultur.

Baumschulen umfassen Flächen zur Aufzucht und Vermehrung von Gehölzen, einschließlich der für das Frühjahr vorbereiteten Neuanlagen sowie der Forstbaumschulen.

Zum Rebland rechnen die mit Weinreben bestockten Flächen, einschließlich der Rebschulen, Rebschnittgärten und Junggärten, sowie die Rebbrache.

...

Nicht enthalten ist die nicht mehr genutzte landwirtschaftliche Fläche. Vorübergehend stillgelegte Flächen (Stilllegungsprogramm) zählen ebenfalls zur LF, nicht jedoch dauerhaft nicht mehr genutzte Äcker, Wiesen, Weiden, Obst- und Rebanlagen (Sozialbrache).

Zur nicht mehr genutzten landwirtschaftlichen Fläche rechnen aus sozialen, wirtschaftlichen o.ä. Gründen nicht mehr bestelltes Ackerland, nicht mehr gemähtes oder beweidetes Dauergrünland, nicht genutztes Rebland und nicht genutzte Obstanlagen ("Sozialbrache"), jedoch nicht die Schwarzbrache auf dem Acker innerhalb der Fruchtfolge und die zur Wiederbestockung vorgesehene Rebbrache, die unter den jeweiligen Nutzungsarten erfasst werden.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche wird in der Agrarstatistik nach dem Betriebsprinzip erhoben und nachgewiesen, das heißt jeweils nach dem Ort des Betriebssitzes. Die Flächennachweisungen - vor allem für kleinere Gebietseinheiten (Gemeinde, Kreis) - lassen daher keinen

unmittelbaren Rückschluss auf die tatsächliche Nutzung der Katasterfläche der jeweiligen Gebietseinheit zu. Aufgrund der Verwendung des Betriebsprinzips bei diesen Erhebungen werden auch die in den Nachbarstaaten der Bundesrepublik Deutschland belegenen Flächen einbezogen, die von Betrieben mit Betriebssitz im Inland bewirtschaftet werden, nicht aber im Inland belegene Flächen, die von Betrieben mit Betriebssitz im Ausland bewirtschaftet werden.

Im Unterschied zur landwirtschaftlich genutzten Fläche enthält die landwirtschaftliche Nutzfläche (Statistik des Schlepperbestandes) auch die nicht mehr genutzte landwirtschaftliche Fläche, die privaten Parkanlagen, Ziergärten und Rasenflächen, nicht aber die Pappelanlagen und Weihnachtsbaumkulturen außerhalb des Waldes.“ (http://www-zr.statistik-bund.de/def/def0758.htm, 05.09.2001)

## Anhang 2: Untere Erfassungsgrenzen für land- und forstwirtschaftliche Betriebe

Festlegung unterer Erfassungsgrenzen für land- und forstwirtschaftliche Betriebe (LW-zählung) mit Aktualisierung des AgrStatG von 1998 (Quelle: verändert nach StBA 1999, S.184)

| **Landwirtschaftlich genutzte Fläche Waldfläche oder Tierbestände oder Spezialkulturen** | **1991** | **1999** |
|---|---|---|
| Mindestgröße LF | 1 ha | 2 ha |
| Tierbestände [1)] (Stück): Rindvieh | 8 jeden Alters | 8 jeden Alters |
| Schweine | 8 jeden Gewichts | 8 jeden Gewichts |
| Schafe | 50 jeden Alters | 20 jeden Alters |
| Lege- und Junghennen | 200 | 200 |
| Gänse, Enten, Perlhühner | 200 | 200 |
| Schlacht-, Masthähne und –hühner | 200 | 200 |
| Oder Spezialkulturen [1)] bestocktes Rebland | 30 Ar Rebfläche | 30 Ar bestockte Rebfläche |
| Obstanlagen | 30 Ar | 30 Ar |
| Hopfen | 30 Ar | 30 Ar |
| Tabak | 30 Ar | 30 Ar |
| Baumschulen | 30 Ar | 30 Ar |
| Freiland-Gemüseanbau | 30 Ar | 30 Ar |
| Freiland-Blumen/Zierpflanzen | 10 Ar | 30 Ar |
| Unter Glas-Blumen/Zierpflanzen | 1 Ar (Erwerbszwecke) | 3 Ar (Erwerbszwecke) |
| Heil- und Gewürzpflanzen | 1 Ar | 1 Ar |
| Mindestgröße Waldfläche | 1 ha | 10 ha |

[1)]Jeder bzw. jede der aufgeführten Tierbestände oder Spezialkulturen begründen Auskunftspflicht als Betrieb

## Anhang 3: Änderung der Nutzungsartenzuweisung im Rahmen der Flächenerhebung

Flächenerhebung in tieferer Gliederung (nur Landwirtschaft). Änderung der Nutzungsartenzuweisung

| **Nutzungsartenverzeichnis FlEhe 1992** | | **Nutzungsartenverzeichnis FlEhe 1996** | | **Änderung Nutzungsartenzuweisung** |
|---|---|---|---|---|
| Nutzungsarten schlüssel | Nutzungsartengruppe Nutzungsart | Nutzungsartenschlüssel | Nutzungsarten gruppe Nutzungsart | |
| 600 | Landwirtschaftfläche | 600 | Landwirtschaftfläche | |
| 610 | Ackerland | 610 | Ackerland | |
| 620 | Grünland | 620 | Grünland | |
| 630 | Gartenland | 630 | Gartenland | Ausgliederung Obstanbauflächen (1992 nicht einzeln ausgewiesen) |
| 640 | Weingarten | 640 | Weingarten | |
| 650 | Moor | 650 | Moor | |
| 660 | Heide | 660 | Heide | |
| 670 | Lw. Mischnutzung | | | Nutzungsartenbezeichnung. gestrichen |
| | | 670 | Obstanbaufläche | Neuaufnahme einer Nutzungsartenbezeichnung |
| 680 | Lw. Betriebsfläche | 680 | Lw. Betriebsfläche | |
| 690 | Brachland | 690 | Brachland | |
| 6 | Rest Landwirtschaftsfläche | 6 | Landwirtschaftsfläche nicht weiter untergliedert | Neue Nutzungsartenbezeichnung |

Quelle: verändert nach Wirtschaft und Statistik (07/1998), S. 576

## Anhang 4: Nomenklatur der CORINE Landbedeckungskarte

| Code | Definition der CORINE - Klasse |
|---|---|
| **1.** | BEBAUTE FLÄCHEN |
| **1.1** | STÄDTISCH GEPRÄGTE FLÄCHEN |
| **1.1.1** | Durchgängig städtische Prägung<br>Flächen mit Bebauungsstruktur. Gebäude, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung nehmen den größten Teil der Fläche ein. Grünflächen nichtlinearer Struktur und offene Flächen sind die Ausnahme. Mindestens 80% der Gesamtfläche |

| | |
|---|---|
| | sind versiegelt. |
| **1.1.2** | Nicht durchgängig städtische Prägung<br><br>Flächen mit Bebauungsstruktur. Neben Gebäuden, Hauptverkehrsstraßen und Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung treten inselhaft Grünflächen und offene Flächen von signifikanter Größe auf. Der Versiegelungsgrad der Gesamtfläche liegt unter 80%. |
| **1.2** | INDUSTRIE-, GEWERBE- UND VERKEHRSFLÄCHEN |
| **1.2.1** | Industrie- und Gewerbeflächen<br><br>Flächen mit künstlicher Bodenbedeckung (betoniert, geteert, asphaltiert oder verfestigt) ohne Vegetation machen den größten Teil der betreffenden Flächen aus, die auch Gebäude und Grünflächen umfassen. |
| **1.2.2** | Straßen-, Eisenbahnnetze und funktionell zugeordnete Flächen<br><br>Straßen, Eisenbahnlinien mit dazugehörigen Anlagen (Bahnhöfe, Schuppen, Bahndämme). Mindestbreite: 100 m. Bahndämme, Straßenränder und Verkehrsbegleitgrün gehören ebenfalls dazu. |
| **1.2.3** | Hafengebiete<br><br>Infrastruktur von Hafengebieten, Kaianlagen, Werften und Yachthäfen. |
| **1.2.4** | Flughäfen<br><br>Infrastruktur von Flughäfen: Start- und Landebahnen, Gebäude und funktionell zugeordnete Flächen. |
| **1.3** | ABBAUFLÄCHEN, DEPONIEN und BAUSTELLEN |
| **1.3.1** | Abbauflächen<br><br>Tagebauflächen zur Gewinnung von Kies, Steinen (Kiesgruben, Steinbrüche) und anderen Rohstoffen. Dazu gehören auch mit Wasser gefüllte Kiesgruben, jedoch nicht Flächen von Gewässerläufen, die zur Kiesgewinnung genutzt werden. Einzubeziehen sind funktionell zugeordnete Flächen. |
| **1.3.2** | Deponien und Abraumhalden<br><br>Offene Deponien für Siedlungs- und Industriemüll sowie Abraumhalden. |
| **1.3.3** | Baustellen<br><br>Flächen, auf denen gebaut, Boden abgetragen und Erdarbeiten vorgenommen werden. |
| **1.4** | KÜNSTLICH ANGELEGTE, NICHT LANDWIRTSCHAFTLICH GENUTZTE GRÜNFLÄCHEN |
| **1.4.1** | Städtische Grünflächen<br><br>Grünflächen innerhalb der städtisch geprägten Flächen. Dazu gehören Parkanlagen und Friedhöfe mit Vegetation. |
| **1.4.2** | Sport- und Freizeitanlagen<br><br>Campingplätze, Sportplätze, Freizeitparks, Golfplätze, Pferderennbahnen, Kleingartenanlagen usw. Dazu gehören auch Parkanlagen außerhalb der städtisch geprägten Flächen. |
| | |
| **2.** | LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN |
| **2.1** | ACKERFLÄCHEN |
| **2.1.1** | Nicht bewässertes Ackerland<br><br>Flächen zum Anbau von Getreide, Gemüse, Futterpflanzen, Industriepflanzen und Hackfrüchten sowie brachliegende Flächen, einschließlich Blumen-, Baum- (Baumschulen) und |

| | |
|---|---|
| | Gemüsekulturen (einschließlich Erwerbsgartenbau) im Freilandbau, unter Glas oder Folie. Flächen zum Anbau von Arznei-, Aroma- und Gewürzpflanzen. |
| **2.1.2** | Regelmäßig bewässertes Ackerland<br><br>Ständig oder regelmäßig bewässerte Kulturen unter Verwendung einer vorhandenen Infrastruktur (Bewässerungskanäle, Entwässerungsnetze). Die meisten dieser Kulturen könnten ohne künstliche Bewässerung nicht angebaut werden. Nicht dazu gehören Flächen mit gelegentlicher Bewässerung. |
| **2.1.3** | Reisfelder<br><br>Für den Reisanbau angelegte Flächen, die mit Bewässerungskanälen durchzogen sind. Die Oberfläche ist in der Regel mit Wasser bedeckt. |
| **2.2** | DAUERKULTUREN |
| **2.2.1** | Weinbauflächen<br><br>Mit Weinreben bestockte Flächen. |
| **2.2.2** | Obst- und Beerenobstbestände<br><br>Parzellen mit Obstbäumen und -sträuchern. Anbau einzelner oder mehrerer Obstsorten. Obstbäume in Verbindung mit Wiesenflächen. Hierzu gehören auch Kastanien- und Walnußbäume. |
| **2.2.3** | Olivenhaine<br><br>Flächen mit Olivenbäumen. |
| **2.3** | GRÜNLAND |
| **2.3.1** | Wiesen und Weiden<br><br>Dichter Grasbewuchs durchsetzt mit Blumen, überwiegend Gräser, nicht im Fruchtwechsel. Hauptsächlich Weideflächen, aber auch Flächen, auf denen das Futtergras mechanisch geerntet wird. Dazu gehören Dauer- und Wechselweiden sowie künstlich angelegte Weiden einschließlich Bereichen mit Hecken. Kennzeichen dieser Flächen ist ihre intensive landwirtschaftliche Nutzung. |
| **2.4** | LANDWIRTSCHAFTLICHE FLÄCHEN HETEROGENER STRUKTUR |
| **2.4.1** | Einjährige Kulturen in Verbindung mit Dauerkulturen<br><br>Wechselkulturen (Ackerflächen oder Grünland) in Verbindung mit Dauerkulturen auf ein und derselben Fläche. |
| **2.4.2** | Komplexe Parzellenstrukturen<br><br>Ein Nebeneinander kleiner Parzellen unterschiedlicher Prägung: verschiedene Ackerflächen (2.1.X), Dauerkulturen (2.2.X) und Wiesen und Weiden (2.3.1), wobei die Teilflächen unter der Erfassungsgrenze von 25 ha liegen. Die Bodenbedeckungsklassen der Positionen 2.1.X, 2.2.X und 2.3.1 nehmen jeweils weniger als 75% der Gesamtfläche ein. |
| **2.4.3** | Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe<br><br>Von der Landwirtschaft genutzte Flächen, unterbrochen von Flächen natürlicher Bodenbedeckung. Der Anteil der Landwirtschaftlichen Flächen (2.X.X) und der Anteil der Wälder und naturnahen Flächen (3.X.X) liegt jeweils unter 75% der Gesamtfläche. |
| **2.4.4** | Land- und forstwirtschaftliche Flächen<br><br>Einjährige Kulturen oder Weideland unter forstwirtschaftlich genutztem Baumbestand. |
| | |
| **3.** | WÄLDER UND NATURNAHE FLÄCHEN |

| | |
|---|---|
| **3.1** | WÄLDER |
| **3.1.1** | Laubwälder<br>Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Laubbaumarten bedecken mehr als 75% der Gesamtfläche. |
| **3.1.2** | Nadelwälder<br>Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; Nadelbaumarten bedecken mehr als 75% der Gesamtfläche. |
| **3.1.3** | Mischwälder<br>Flächen mit überwiegendem Baumbewuchs, die aber auch mit Büschen und Sträuchern durchsetzt sein können; weder Laub- noch Nadelbaumarten überwiegen. Ihr jeweiliger Anteil an der Gesamtfläche liegt unter 75%. |
| **3.2** | STRAUCH- UND KRAUTVEGETATION |
| **3.2.1** | Natürliches Grünland<br>Ertragsames Grünland. Oft in hügeligem Gelände. Häufig mit Gestrüpp, Fels- und Heideflächen durchsetzt. Extensiv genutzte Grünflächen. Oft in schwer erreichbarem Gelände; Grünflächen in Waldgebieten. |
| **3.2.2** | Heiden und Moorheiden<br>Niedrige und dichte Vegetation. Überwiegend Büsche, Sträucher und Kräuter (Heidekraut, Dorngestrüpp, Besenginster, Stechginster, Goldregen usw.). |
| **3.2.3** | Hartlaubbewuchs<br>Buschiger Hartlaubbewuchs. Dazu gehören Macchia und Garrigue. Macchia: dichte Vegetation, zusammengesetzt aus zahlreichen kleinen Bäumen und Sträuchern, die auf sauren Silikatböden im Mittelmeerraum auftritt. Garrigue: lückenhafte buschige Vegetation auf Kalkplateaus im Mittelmeerraum. Dazu gehören häufig Kermeseichen, Wacholder, Erdbeerbaum, Lavendel, Thymian, weiße Zistrose usw. Einzelstehende Bäume können auftreten. |
| **3.2.4** | Wald-Strauch-Übergangsstadien<br>Busch- oder Krautvegetation mit einzelnen Bäumen. Die Flächen können entweder aus Waldflächen durch allmähliche Degenerierung oder durch natürliche Verjüngung des Waldes entstanden sein. |
| **3.3** | OFFENE FLÄCHEN OHNE / MIT GERINGER VEGETATION |
| **3.3.1** | Strände, Dünen und Sandflächen<br>Strände, Dünen sowie Küsten- oder Festlandflächen mit Sand oder Geröll. |
| **3.3.2** | Felsflächen ohne Vegetation<br>Geröllhalden, Klippen, Felsen, anstehendes Gestein. |
| **3.3.3** | Flächen mit spärlicher Vegetation Trockensteppen, alpine und polare Tundra, Erosionsflächen. |
| **3.3.4** | Brandflächen<br>Flächen, auf denen es kürzlich gebrannt hat und die zum größten Teil noch schwarz sind. |
| **3.3.5** | Gletscher und Dauerschneegebiete<br>Von Gletschern und Dauerschnee bedeckte Flächen. |
| | |
| **4.** | FEUCHTFLÄCHEN |

| | |
|---|---|
| **4.1** | FEUCHTFLÄCHEN IM LANDESINNERN |
| **4.1.1** | Sümpfe<br>Tief liegende Flächen, die normalerweise im Winter überflutet und ganzjährig mit Wasser gesättigt sind. Auch landwirtschaftlich genutzte Flächen, die der vorgenannten Definition genügen, sind hier zuzuordnen. |
| **4.1.2** | Torfmoore<br>Naßfeuchte Flächen, deren Boden vorwiegend aus Torfmoos und unvollständig abgebauten pflanzlichen Stoffen besteht. Torfmoore werden abgebaut oder nicht abgebaut. |
| **4.2** | FEUCHTFLÄCHEN AN DER KÜSTE |
| **4.2.1** | Salzwiesen<br>Unmittelbar über der Linie des mittleren Hochwassers liegende Flächen, die regelmäßig von Salzwasser überspült werden. Sie sind häufig einem Sedimenationsprozeß unterworfen; allmähliches Vordringen von Halophyten. |
| **4.2.2** | Salinen<br>Noch betriebene oder stillgelegte Flächen zur Salzgewinnung. Bereiche der Marschküste, auf denen durch Verdunstung Salz gewonnen wird. Diese Bereiche sind durch ihre Einteilung und ihre Dammanlage eindeutig von den übrigen Marschgebieten zu unterscheiden. |
| **4.2.3** | In der Gezeitenzone liegende Flächen<br>Flächen mit Schlamm, Sand und Felsen, die sich zwischen den Niveaus des mittleren Hoch- und mittleren Niedrigwasserstands befinden und somit bei Ebbe trockenfallen; in der Regel ohne Vegetation. |
| | |
| **5.** | WASSERFLÄCHEN |
| **5.1** | WASSERFLÄCHEN IM LANDESINNERN |
| **5.1.1** | Gewässerläufe<br>Natürliche oder künstlich angelegte Gewässerläufe, die dem Wasserabfluß dienen. Dazu gehören auch Kanäle. Mindestbreite: 100 m. |
| **5.1.2** | Wasserflächen<br>Natürliche oder künstliche Wasserflächen. |
| **5.2** | MEERESGEWÄSSER |
| **5.2.1** | Lagunen<br>Salz- oder Brackwasserzonen im Küstenbereich, die vom Meer durch eine Landzunge oder ähnliche topographische Formen getrennt sind. Diese Wasserflächen können mit dem Meer an wenigen Stellen in Verbindung stehen. Diese Verbindung kann entweder ständig oder nur periodisch zu bestimmten Zeiten im Jahr bestehen. |
| **5.2.2** | Mündungsgebiete<br>Teil der Flußmündung (Trichtermündung), der dem Einfluß des Meeres ausgesetzt ist. |
| **5.2.3** | Meere und Ozeane<br>Der an den mittleren Niedrigwasserstand angrenzende Bereich des offenen Meeres. |
| | |
| **9.9.9** | Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes |

Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden

## Anhang 5: Klassen der BÜK1000

Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1 000 000

Kurzlegende:

**Leitbodentypen** und **Ausgangsgesteine,** gegliedert nach Gruppen von Bodengesell-schaften in Anlehnung an HAASE & SCHMIDT (1975) und ROESCHMANN (1986).

| | |
|---|---|
| **Böden der Küstenregion und Moore** | |
| 1 | **Podsol-Regosol / Lockersyrosem** aus trockenen Sanden |
| 2 | **Wattboden** im Gezeitenbereich der Nordsee |
| 3 | **Kalkmarsch** aus marinen Ablagerungen |
| 4 | **Kleimarsch** aus brackischen Ablagerungen |
| 5 | **Kleimarsch** aus fluviatilen Ablagerungen |
| 6 | Niedermoorboden |
| 7 | Hochmoorboden |
| **Böden der breiten Flußtäler, einschließlich Terrassenflächen und Niederungen** | |
| 8 | Auenboden / Gley aus lehmigen bis tonigen Auensedimenten |
| 9 | Gley-Tschernosem aus kalkhaltigen, tonig-schluffigen Ablagerungen in Flußtälern der Schwarzerdegebiete |
| 10 | **Auenboden** / **Gley** aus sandigen bis lehmigen Flußsedimenten |
| 11 | **Auenboden** / **Gley** aus sandigen bis tonigen Flußsedimenten in kleinflächigem Wechsel |
| 12 | **Gley** der sandigen Urstromtäler und Niederungen |
| 13 | **Pararendzina** / **Auenpararendzina** aus kalkhaltigen, sandig-lehmigen Hochflut- und Auenablagerungen |
| 14 | **Parabraunerde** aus schluffig-lehmigen Deckschichten auf eiszeitlichen Schotterplatten |
| 15 | **Parabraunerde** aus lößbedeckten, lehmig-sandigen Terrassenablagerungen |
| 16 | **Podsol-Baunerde** aus sandigen Terrassenablagerungen |
| 17 | **Podsol / Braunerde-Podsol / Gley-Podsol** aus sandigen Flußablagerungen |
| **Böden des wellig-hügeligen Flachlandes und der Hügelländer** | |
| 18 | Braunerde / Parabraunerde / Pararendzina aus lößvermischten Tertiärablagerungen |
| 19 | Parabraunerde / Fahlerde / Pseudogley-Parabraunerde aus Geschiebelehm |
| 20 | Parabraunerde-Tschernosem / Parabraunerde aus Geschiebemergel oder Beckenablagerungen |
| 21 | Braunerde / Parabraunerde / Pararendzina aus lehmig-sandigen, kalkhaltigen Moränenablagerungen |
| 22 | **Pseudogley** aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm |
| 23 | **Pseudogley** aus lehmig-sandigem Geschiebemergel |
| 24 | **Pseudogley-Tschernosem** aus Geschiebelehm mit lehmig-sandiger Deckschicht |
| 25 | **Podsol-Parabraunerde / Podsol-Fahlerde** aus sandigen Deckschichten über Geschiebe- |

| | |
|---|---|
| | lehm |
| 26 | Fahlerde / Bänderparabraunerde / Braunerde aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm |
| 27 | **Pararendzina / Regosol / Bänderparabraunerde** im engräumigen Wechsel aus sandigen bis lehmigen Bildungen der Endmoränen |
| 28 | Podsolierte Pseudogley-Braunerde / Pseudogley-Fahlerde aus Geschiebedecksand über Geschiebelehm |
| 29 | Braunerde-Pseudogley / Podsol-Pseudogley aus sandigen Deckschichten über Geschiebelehm |
| 30 | **Braunerde / Pseudogley** aus kalkhaltigen, lehmig-sandig-kiesigen, lößvermischten Moränenablagerungen |
| 31 | **Braunerde-Podsol / Podsol-Braunerde** aus trockenen, nährstoffarmen Sanden |
| 32 | **Braunerde / Bänderparabraunerde** aus nährstoffreichen Sanden |
| 33 | **Eisenhumuspodsol / Podsol-Regosol** aus trockenen, nährstoffarmen Sanden |
| 34 | **Regosol / Lockersyrosem** aus trockenen, nährstoffarmen Sanden |
| **Böden der Lößgebiete** | |
| 35 | **Pararendzina** aus Löß im Wechsel mit **Rendzina** aus Mergel- und Kalkstein |
| 36 | **Tschernosem** der Mitteldeutschen Trockengebiete aus Löß |
| 37 | **Tschernosem / Braunerde** aus Löß im Wechsel mit **Rendzina** aus Mergel und Kalkstein |
| 38 | **Tschernosem / Pseudogley-Tschernosem** aus Löß über Ton- und Mergelgesteinen |
| 39 | **Tschernosem** aus Löß und lößähnlichen Schluffablagerungen |
| 40 | Tschernosem-Parabraunerde / Parabraunerde-Tschernosem aus Löß oder Lößlehm |
| 41 | **Tschernosem-Parabraunerde** / **Parabraunerde** aus sandigen Lößdecken über Schmelzwassersedimenten oder Geschiebelehm |
| 42 | **Parabraunerde / Fahlerde / Pseudogley** aus Löß oder Lößlehm über verschiedenen Gesteinen |
| 43 | **Parabraunerde-Pseudogley** aus Löß oder Lößlehm über verschiedenen Gesteinen |
| 44 | **Parabraunerde / Fahlerde / Braunerde-Pseudogley** aus lößvermischten Verwitterungsprodukten verschiedener Silikatgesteine |
| 45 | **Braunerde / Parabraunerde / Fahlerde** aus sandvermischtem Löß oder Lößlehm |
| 46 | **Parabraunerde / Fahlerde / Braunerde** aus Sandlöß über Sand oder Lehm |
| 47 | **Braunerde / Pseudogley** aus basaltgrushaltigem Lößlehm |
| 48 | Pseudogley / Braunerde / Parabraunerde aus Löß oder Lößlehm |
| **Böden der Berg- und Hügelländer sowie der Mittelgebirge, aus Festgesteinen, deren Verwitterungsmaterial und Umlagerungsdecken** | |
| 49 | **Rendzina / Braunerde-Rendzina / Pararendzina** aus Hangschutt über Kalk-, Mergel- und Dolomitgesteinen im Wechsel mit **Flacher Braunerde über Terra fusca / Flacher Parabraunerde über Terra fusca** aus schluffig-tonigen Umlagerungsprodukten der Kalksteinverwitterung |
| 50 | **Braunerde** und **Terra fusca** aus Umlagerungsprodukten der Kalk-, Mergel- und Dolomitstein-Verwitterung sowie **Rendzina** aus Kalkstein |

| | |
|---|---|
| 51 | **Pelosol-Braunerde / Pelosol-Pseudogley** aus Verwitterungsprodukten von Mergel- und Tongesteinen |
| 52 | **Braunerde** aus Mergelgesteinen und kalkhaltigen Schottern |
| 53 | **Braunerde** aus basischen und intermediären magmatischen Gesteinen |
| 54 | **Braunerde** aus basenreichen Tuffen |
| 55 | **Braunerde** aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen |
| 56 | **Braunerde** / **Braunerde-Pseudogley** aus lößvermischten Verwitterungsprodukten von kristallinen Schiefern, Sandstein, Quarzit und sauren bis intermediären magmatischen Gesteinen |
| 57 | **Podsol-Braunerde** aus sauren magmatischen und metamorphen Gesteinen |
| 58 | **Braunerde / Podsol-Braunerde** aus Schluff-, Sand- und Tonsteinen |
| 59 | **Braunerde / Podsol-Braunerde** aus harten Ton- und Schluffschiefern mit Anteilen von Grauwacke, Sandstein, Quarzit und Phyllit |
| 60 | **Podsol-Braunerde** aus harten Ton- und Schluffschiefern, Grauwacken und Phyllit |
| 61 | **Podsolige Braunerde** aus basenarmen quarzitischen Sandsteinen und Konglomeraten |
| 62 | **Podsolige Braunerde** aus lößhaltigen Deckschichten über Sandstein und Quarzit |
| 63 | **Braunerde-Podsol / Podsol** aus basenarmen Sandsteinen und Quarziten |
| 64 | **Pseudogley / Podsol-Pseudogley** aus lößvermischten, grusig-lehmigen Deck- schichten über Sandstein und Quarzit |
| 65 | Braunerde / Podsol-Braunerde / Braunerde-Rendzina / Parabraunerde im engräumigen Wechsel aus Tonschiefer, Grauwacken und Kalkgesteinen sowie Lößlehm über verschiedenen Gesteinen |
| 66 | **Rendzina / Pararendzina / Ranker / Podsol-Braunerde / Pelosol-Braunerde / Parabraunerde / Pseudogley** im engräumigen Wechsel aus Kalk- und Mergelgesteinen, Sand-, Schluff- und Tonsteinen sowie Lößlehm über verschiedenen Gesteinen |
| 67 | Flache Braunerde über Fersiallit- / Ferrallit-Relikten der tertiären Bodenbildung |
| **Böden des Hochgebirges** | |
| 68 | Böden der montanen und subalpinen Höhenstufen der Alpen aus Kalk- und Dolomitgesteinen (z.B. **Rendzina**, **Kalkbraunerde**) sowie aus kalkfreien Silikatgesteinen (z.B. **Ranker**, **Podsol-Braunerde**, **Pseudogley**) |
| 69 | Rohböden (**Syrosem**) der alpinen, subnivalen und nivalen Fels- und Frostschuttgebiete |
| **Anthropogen veränderte Böden, Siedlungsgebiete und Gewässerflächen** | |
| 70 | Versiegelte Flächen in größeren Städten |
| 71 | Technogen gestaltete Böden und große Abbauflächen |
| 72 | Gewässer |

Quelle: Legende zur BÜK1000; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2001)

## Anhang 6: Schema der GIS gestützten Flächenumwidmung

Kurzprotokoll der Vorgehensweise bei den Flächenumwidmungen entsprechend Kap. 3.2 und Tab. 4 im Text

Basis = GRIDs mit einer räumlichen Auflösung von 250 x 250 m

Alle Berechnungen wurden pro Landkreis durchgeführt (439 Kreise)

1. CORINE-Karte gridden und Grid reklassifizieren

- Siedlungsflächen (100 – 199) → 100
- Wald (311 – 313) → 310
- Wasser (500 – 599) → 500

2. Flächenerhebung mit Hilfe der Bodennutzungshaupterhebung disaggregieren

- Flächenerhebung enthält nur landwirtschaftliche Fläche insgesamt, es werden aber für die Umwidmung Angaben zur Acker-Grünland Verteilung benötigt
- Darum wurde der prozentuale Anteil von Acker, Grün- und Gartenland an der landwirtschaftlichen Fläche in der Bodennutzungshaupterhebung errechnet und auf die Flächenerhebungsdaten übertragen

-> INFO-file **flae-neu.dat**

3. Anpassen der ausserhalb von Siedlungen liegenden Verkehrsflächen

- in der Flächenerhebung gibt es die Objektklasse Verkehr, die sich auf Verkehrsflächen inner- und außerhalb von Siedlungen bezieht
- in CORINE tauchen Verkehrsflächen außerhalb von Siedlungen nicht gesondert auf (aufgrund der gröberen Auflösung)
- daraus ergibt sich eine Diskrepanz zwischen Flächenerhebung und CORINE, v.a. bei den Hauptlandnutzungsklassen Acker, Grünland und Wald --> in CORINE sind dort die sie zerschneidenden Verkehrsflächen mit enthalten, in der Flächenerhebung werden sie separat geführt
- darum versuchten wir mit folgendem Vorgehen, die außerhalb von Siedlungen liegenden Verkehrsflächen der Flächenerhebung auf diese Hauptlandnutzungsklassen aufzuschlagen:
    - Bahn und Strassen aus Arc500 (ESRI 1993) mit CORINE (Siedlung – nicht Siedlungskarte) verschnitten
    - Berechnung des prozentualen Anteils von Verkehrsflächen inner- und außerhalb von Siedlungen
    - Aufteilen der Verkehrsfläche in der Flächenerhebung in Anteil innerhalb und Anteil außerhalb von Siedlungen
    - Der Anteil der außerhalb von Siedlungen liegenden Verkehrsflächen wurde dann auf die 3 Hauptflächennutzungen Acker, Grünland und Wald anteilig aufgeschlagen (z.B. 5% Waldanteil enthält 5% der Verkehrsflächen)

4. Acker, Grünland und Wald zu Siedlungsflächen umwidmen

- Acker, Grünland und Wald (sofern von CORINE um mindestens 5% überbewertet ) sowie Mischpixel (242 und 243) können zu Siedlungsfläche umgewidmet werden
- Voraussetzung: in Kreis wird Siedlungsfläche unterschätzt (um mindestens 5%) und in einem 3*3 Fenster besteht die Mehrzahl der Zellen aus Siedlungsfläche (focalmajority)
- CORINE aktualisieren

**-> siedlung.aml**

5. Wald aktualisieren

- Wenn im Kreis Wald um mehr als 5% unterschätzt wird, können Mischpixel (243) und Wald-Strauch-Pixel, in Wald umgewidmet werden

**->wald.aml**

6. Mischklassen umwidmen

6.a Corine Klasse 411

- Wenn 411+412 > Moorfläche (Flächenerhebung) → 411-Überschuss umwidmen zu Grünland
- Wenn 411+412 < Moorfläche (Flächenerhebung) → 411 zu Moor
- CORINE aktualisieren

Zusätzlich:

- Pro Kreis: 411+412-Fläche - Moorfläche (FlEhe) (411-Maske, 412-Maske, 411+412-Maske)
- Pro Kreis: wenn CORINE Moor unterschätzt → 411 zu 412 umwidmen
- Grids erstellen: je Kreis Überschuss Moorfläche in CORINE
- 411-Maske, Zellen Grundwasserflurabstand zuweisen→ grundwasserfernste 411-Zellen in Grünland umwidmen

**->moor.aml**

6.b Nicht umgewidmete Zellen der Klassen 242 und 243

- Unterscheidung Acker – Grünland mit Maximum Likelihood
- Grid in Stack:
  bodzahl250 (Bodenzahlen aus Nitratstromatlas, Wendland et al. 1993)
  slope250 (Hangneigung aus 1 x 1 km Höhenmodell; Hastings & Dunbar 1999)
  aspect250 (Aspekt aus 1 x 1 km Höhenmodell)
  hoe250 (Höhe N.N. aus 1 x 1 km Höhenmodell)
  gwfa –lba250 (Grundwasserflurabstand/mittlerer Grundwassertiefstand aus BÜK1000; BGR)
  tmit250 Jahresmitteltemperatur (DWD)
- Damit CORINE aktualisieren, Qualitätsprüfung durch Erstellen von Statistiken und Vergleich mit Flächenerhebung

**-> misch.aml**

7. Umwidmung Acker - Grünland

| | Bewertung in Marks | Hangneigung (Grad) | GWFA(dm) | Tmit |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | > 15 | 0 – 2 | < 6° |
| 0-100 | 1-3 | 7-15 | 2-8 | >6 – 8° |
| 100 | Ab 4 | < 7 | > 8 | >8° |

Quelle: Marks et al., S. 145, Bewertung des biotischen Ertragspotentials
GWFA = Grundwasserflurabstand

Bei Berücksichtigung der Bodengütezahlen sollten eher die schlechtesten 5% / 10% für die Umwidmung in Grünland je Kreis/Bundesland, statt pauschaler Angabe für gesamte BRD verwendet werden

- Bewertung der Bodenwertzahlen: Pro Kreis werden die minimale und maximale Bodenwertzahl (BWZ) herausgesucht und auf 0 bzw. 100 gesetzt

**->bod-eval.aml**

- BWZ zwischen beiden Maxima werden linear auf Werte zwischen 0 und 100 skaliert
- Einzelne Kriterien (Bodenwertzahlen, mittlere Jahrestemperatur, GWFA, Hangneigung) bewerten, dann ein Evaluierungsgrid erstellen mit dem jeweiligen Minimalwert, dieser ist dann für Umwidmung maßgebend

**->eval.aml**

- Bei der Umwidmung von Acker und Grünland wird zunächst pro Kreis festgestellt, ob Acker oder Grünland unter- oder überschätzt werden. Dementsprechend erfolgt die Umwidmung (siehe Tabelle)

**-> umw.aml**

8. Verteilung der Fruchtfolgen auf die Fläche

- Zunächst wird der Hopfen auf die Ackerfläche verteilt. Grundlage ist der prozentuale Anteil des Hopfens an der Ackerfläche in der Bodennutzungshaupterhebung aus dem Jahr 1977 (dies ist das letzte Jahr, zu dem uns Daten über den Hopfen vorliegen). Dazu erfolgte eine Beurteilung der Leitbodenassoziationen hinsichtlich ihrer Eignung für den Hopfenanbau. Als geeignet angesehen wurden leichte, tiefgründige, grundwasserferne Böden ohne Vernässungserscheinungen. Als weiteres Kriterium wurde die Hangneigung herangezogen: Hopfenanbau wird nur bis zu einer Hangneigung von 6° betrieben. Die Hopfenanbauflächen in den betroffenen Kreisen werden auf den geeigneten Böden zufällig verteilt. Hopfenflächen bekommen in CORINE den Wert 207 zugewiesen.

**-> hopfen.aml**

- Die Fruchtfolgen werden kreisweise zufällig auf die Ackerflächen verteilt. Dazu wird ein neues item an die .vat der Ackermaske für Deutschland herangehängt (fru). Die zugewiesenen Zahlen bedeuten folgendes:
  1 Wintergetreide

2 Sommergetreide
3 Winterblattfrüchte
4 Sommerblattfrüchte
5 Brache

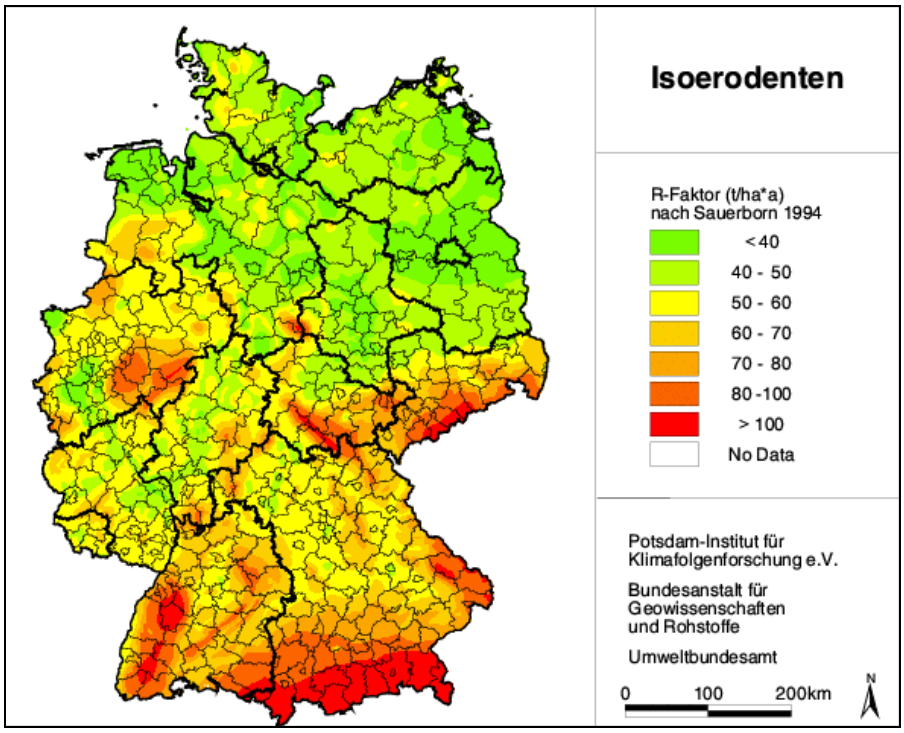
Für den ‚Zufallsgenerator' im aml werden Prozentzahlen für die Fruchtfolgen benötigt, und zwar bezogen auf die noch nicht zugewiesenen Zellen.

Dann wird ein neues CORINE Grid erstellt, worin die 211er Pixel (Acker) in die einzelnen Fruchtfolgen umgewidmet werden:

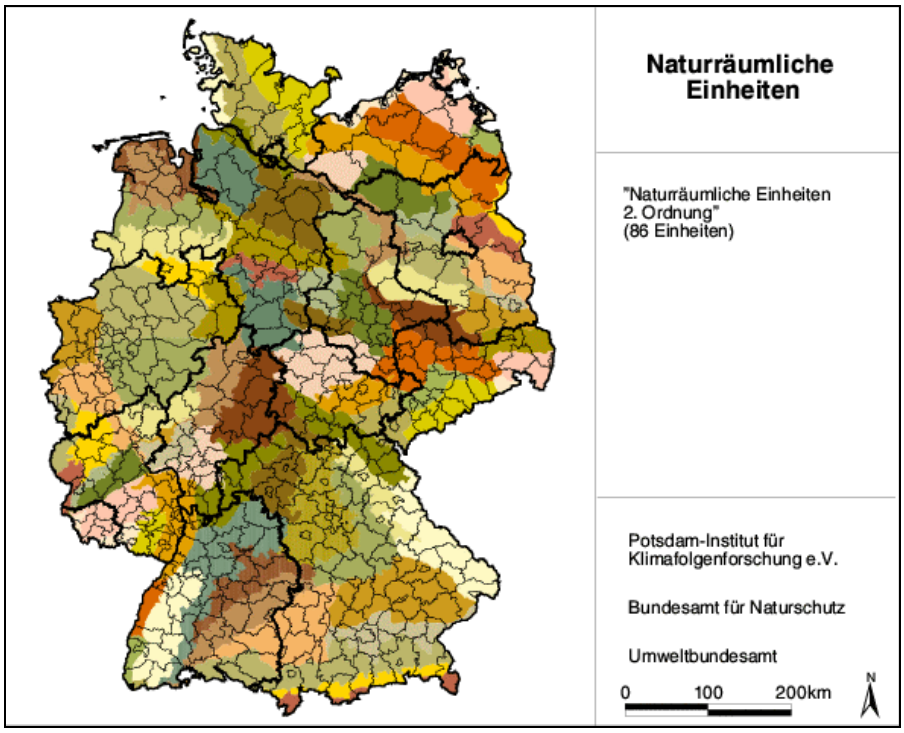
Fru = 1 zu 201
Fru = 2 zu 202
Fru = 3 zu 203
Fru = 4 zu 204
Fru = 5 zu 205

**-> frufo.aml**

## Anhang 7: Isoerodentenkarte (Sauerborn 1994)




## Anhang 8: Naturraumeinheiten



## Anhang 9: Täglicher relativer Bodenabtrag durch Regen (RRA Werte)

Kumulativer relativer Bodenabtrag (%) durch Regen (RRA Werte) aus Schwertmann et al. (1987)

| Tag | Jan. | Feb. | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug. | Sep. | Okt. | Nov. | Dez. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.01 | 0.12 | 0.73 | 1.5 | 4.6 | 15.0 | 43.7 | 63.8 | 84.6 | 94.2 | 97.4 | 98.9 |
| 2 | 0.01 | 0.12 | 0.74 | 1.5 | 4.8 | 15.9 | 44.2 | 64.3 | 85.0 | 94.2 | 97.4 | 98.9 |
| 3 | 0.01 | 0.13 | 0.74 | 1.5 | 4.9 | 16.2 | 45.0 | 65.4 | 85.4 | 94.5 | 97.5 | 98.9 |
| 4 | 0.02 | 0.13 | 0.74 | 1.5 | 5.3 | 17.9 | 45.6 | 66.9 | 85.5 | 94.6 | 97.5 | 98.9 |
| 5 | 0.03 | 0.15 | 0.74 | 1.5 | 5.7 | 18.1 | 46.2 | 67.7 | 85.7 | 94.7 | 97.5 | 98.9 |
| 6 | 0.03 | 0.16 | 0.74 | 1.6 | 6.0 | 18.6 | 46.9 | 68.4 | 86.0 | 94.7 | 97.6 | 98.9 |
| 7 | 0.03 | 0.16 | 0.77 | 1.7 | 6.2 | 19.7 | 47.9 | 68.7 | 86.5 | 94.7 | 97.6 | 98.9 |
| 8 | 0.03 | 0.17 | 0.77 | 1.7 | 6.3 | 21.0 | 48.3 | 69.2 | 87.1 | 94.7 | 97.6 | 99.0 |
| 9 | 0.05 | 0.37 | 0.77 | 1.8 | 7.1 | 22.7 | 48.7 | 70.2 | 87.1 | 94.8 | 97.7 | 99.1 |
| 10 | 0.05 | 0.42 | 0.77 | 1.9 | 7.2 | 24.1 | 49.0 | 71.0 | 88.0 | 95.3 | 97.7 | 99.2 |
| 11 | 0.05 | 0.45 | 0.79 | 2.0 | 7.3 | 24.8 | 49.4 | 71.4 | 88.6 | 95.5 | 97.7 | 99.2 |
| 12 | 0.07 | 0.49 | 0.85 | 2.1 | 7.4 | 25.0 | 50.2 | 72.7 | 89.0 | 95.5 | 97.7 | 99.2 |
| 13 | 0.07 | 0.49 | 0.85 | 2.1 | 7.8 | 25.3 | 50.3 | 73.9 | 89.5 | 95.6 | 97.8 | 99.2 |
| 14 | 0.07 | 0.49 | 0.86 | 2.1 | 8.3 | 26.1 | 50.9 | 75.2 | 89.9 | 95.6 | 97.8 | 99.3 |
| 15 | 0.07 | 0.49 | 0.86 | 2.1 | 8.9 | 26.7 | 51.5 | 75.3 | 90.2 | 96.0 | 97.9 | 99.4 |
| 16 | 0.07 | 0.49 | 0.87 | 2.2 | 9.1 | 27.6 | 53.0 | 75.8 | 90.4 | 96.1 | 97.9 | 99.5 |
| 17 | 0.07 | 0.49 | 0.89 | 2.2 | 9.5 | 28.0 | 54.2 | 77.6 | 91.1 | 96.1 | 97.9 | 99.6 |
| 18 | 0.08 | 0.49 | 0.92 | 2.7 | 10.2 | 28.3 | 54.8 | 78.1 | 91.1 | 96.4 | 97.9 | 99.6 |
| 19 | 0.08 | 0.49 | 0.93 | 2.7 | 10.7 | 31.0 | 55.5 | 78.7 | 91.7 | 96.4 | 98.0 | 99.6 |
| 20 | 0.08 | 0.53 | 1.03 | 2.8 | 10.9 | 32.0 | 55.8 | 79.5 | 91.8 | 96.7 | 98.4 | 99.6 |
| 21 | 0.08 | 0.55 | 1.09 | 2.9 | 11.2 | 33.5 | 56.9 | 80.4 | 91.9 | 96.7 | 98.7 | 99.6 |
| 22 | 0.08 | 0.57 | 1.10 | 3.0 | 11.8 | 34.5 | 57.3 | 81.1 | 92.2 | 96.7 | 98.7 | 99.6 |
| 23 | 0.08 | 0.58 | 1.11 | 3.2 | 11.9 | 36.5 | 58.7 | 81.7 | 92.3 | 96.8 | 98.8 | 99.6 |
| 24 | 0.08 | 0.58 | 1.12 | 3.5 | 12.2 | 37.3 | 60.1 | 82.3 | 93.2 | 96.8 | 98.9 | 99.6 |
| 25 | 0.09 | 0.58 | 1.26 | 3.6 | 12.5 | 38.3 | 60.3 | 82.7 | 93.4 | 96.9 | 98.9 | 99.6 |
| 26 | 0.10 | 0.61 | 1.27 | 3.8 | 13.0 | 38.5 | 61.0 | 83.0 | 93.4 | 96.9 | 98.9 | 99.7 |
| 27 | 0.10 | 0.70 | 1.27 | 3.9 | 13.3 | 40.5 | 61.6 | 83.2 | 93.7 | 97.0 | 98.9 | 99.8 |
| 28 | 0.10 | 0.72 | 1.38 | 4.3 | 14.0 | 41.8 | 62.0 | 83.7 | 93.8 | 97.1 | 98.9 | 99.9 |
| 29 | 0.11 |  | 1.47 | 4.4 | 14.3 | 42.1 | 62.7 | 84.1 | 94.0 | 97.3 | 98.9 | 99.9 |
| 30 | 0.12 |  | 1.48 | 4.5 | 14.6 | 42.8 | 63.7 | 84.1 | 94.1 | 97.3 | 98.9 | 100.0 |
| 31 | 0.12 |  | 1.49 |  | 14.8 |  | 63.7 | 84.3 |  | 97.3 |  | 100.0 |

## Anhang 10: Recherche zum Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Telefonische Recherche

Dipl.-Ing. agr. Stefan Sieber, Institut für Agrarpolitik (IAP), Universität Bonn

Dipl.-Ing. agr. Bernhard Osterburg, Institut für Betriebswirtschaft, Agrarstruktur und ländliche Räume, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig und

Dipl.-Ing. agr. Jörg Schramek, Institut für Ländliche Strukturforschung (IfLS), Frankfurt

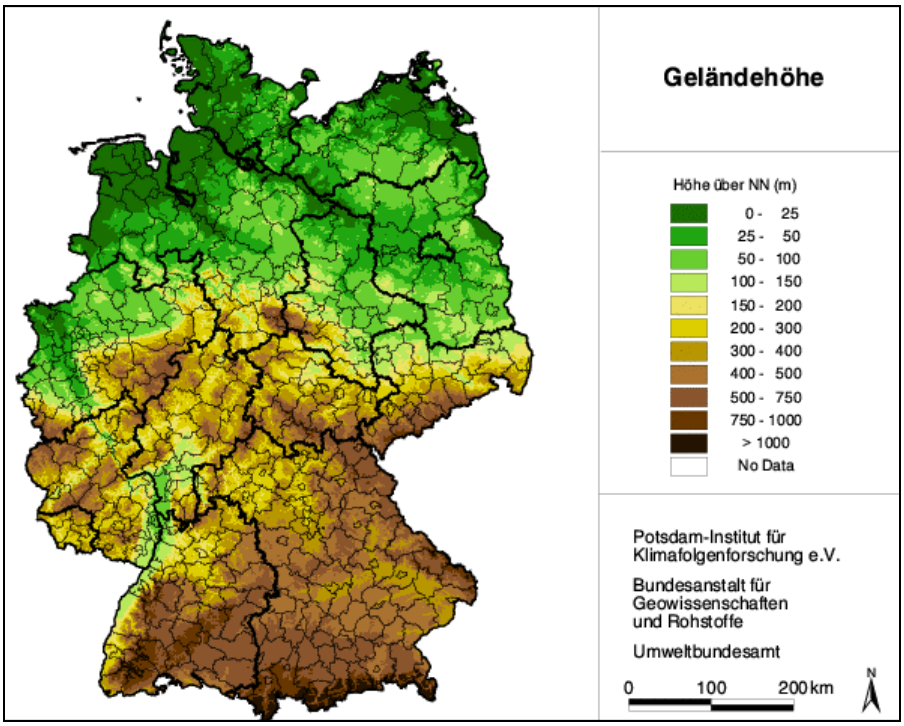
Von allen drei Kontaktpersonen wurde übereinstimmend empfohlen, sich für weitere Informationen an Herrn Prof. Dr. Volkmar Gutsche von der Biologischen Bundesanstalt (BBA) in Kleinmachnow zu wenden. Näheres findet sich im Abschnitt „Direktes Expertengespräch".

Herr Osterburg gab weiterhin an, dass eine modellhafte Kopplung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen an landwirtschaftliche Kulturarten in der FAL einmal angedacht war, bislang jedoch noch nicht durchgeführt wurde.

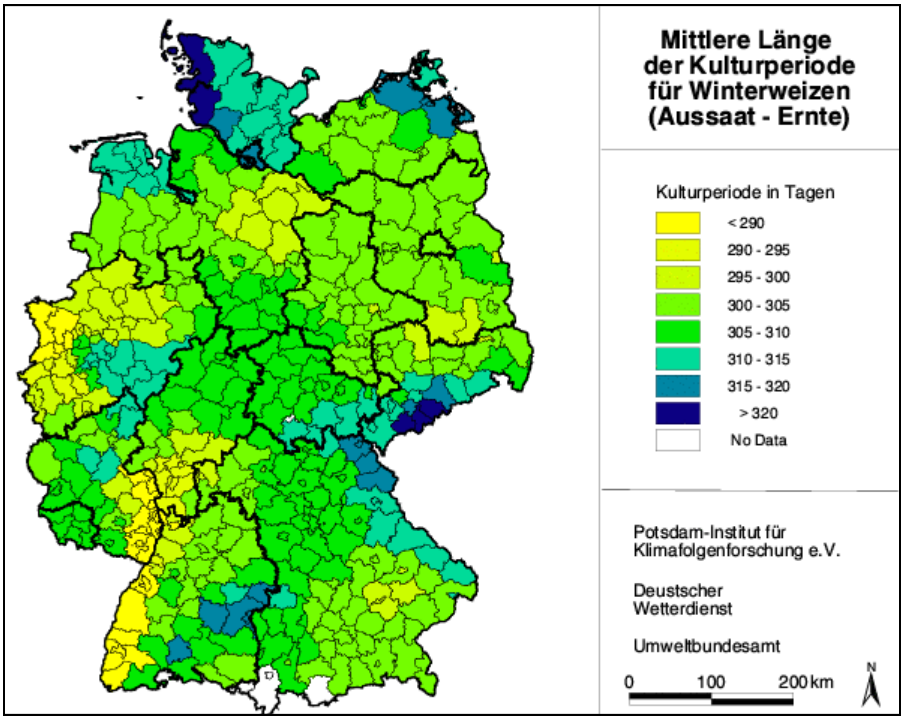
Herr Schramek teilte mit, dass in der Literatur die Art der angebauten Ackerkultur als indirekter Indikator für die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes angeführt wird. Ihm seien jedoch bislang noch keine Arbeiten bekannt, in denen Wirkstoffe und Applikationsmengen den verschiedenen Kulturarten zugeordnet wurden.

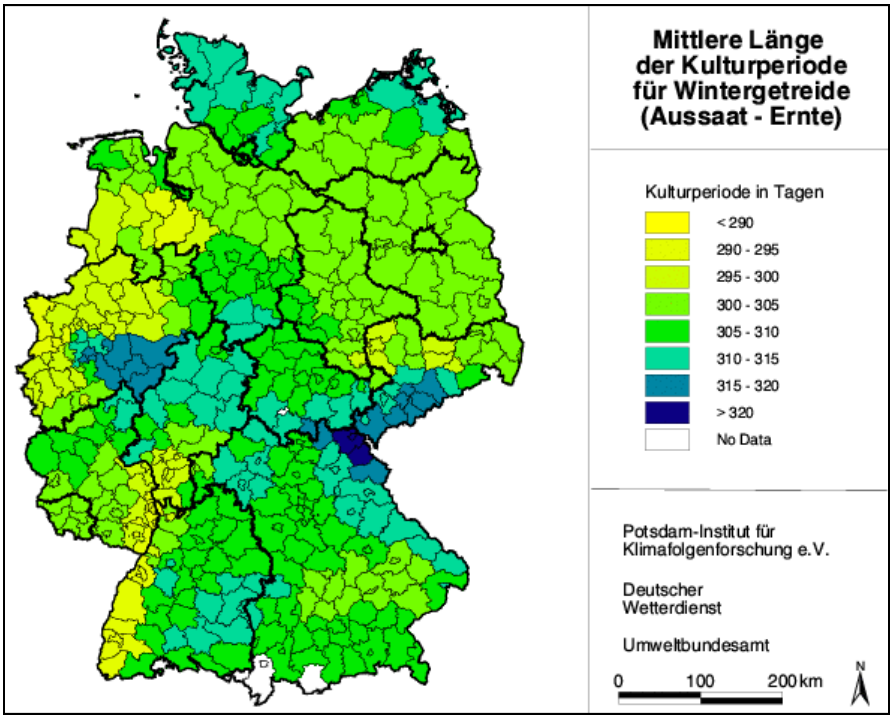
Allen drei Personen sei an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich für ihre freundliche Auskunftsbereitschaft gedankt.

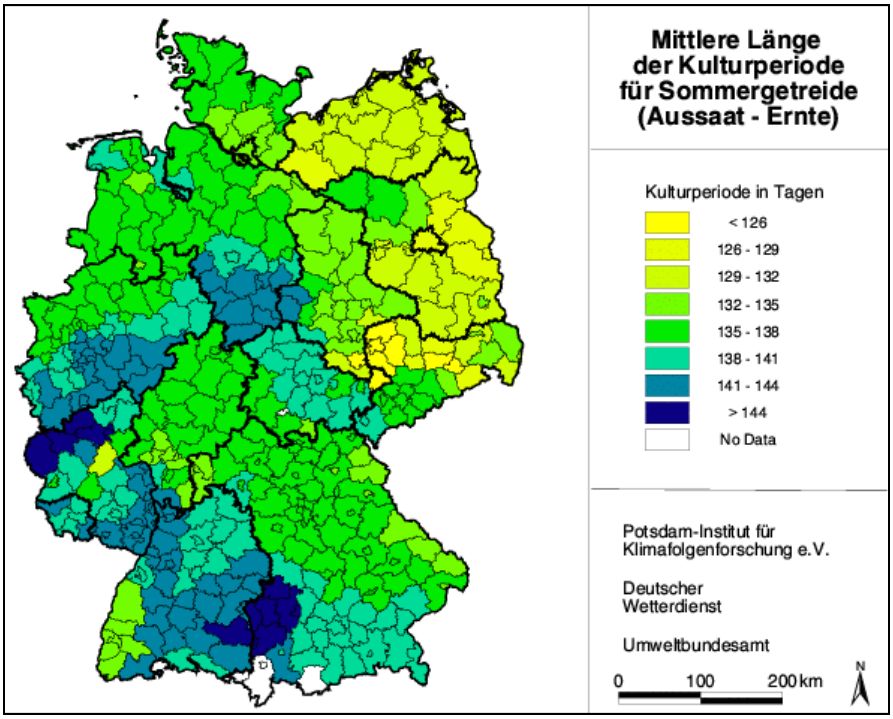
## Anhang 11: Digitales Höhenmodell der BRD (1 x 1km)

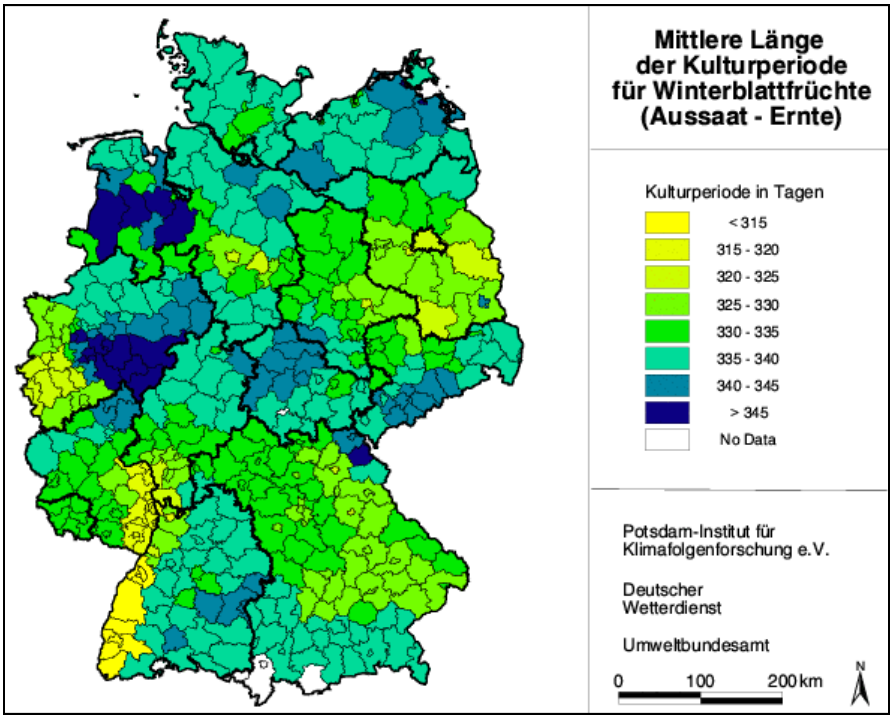


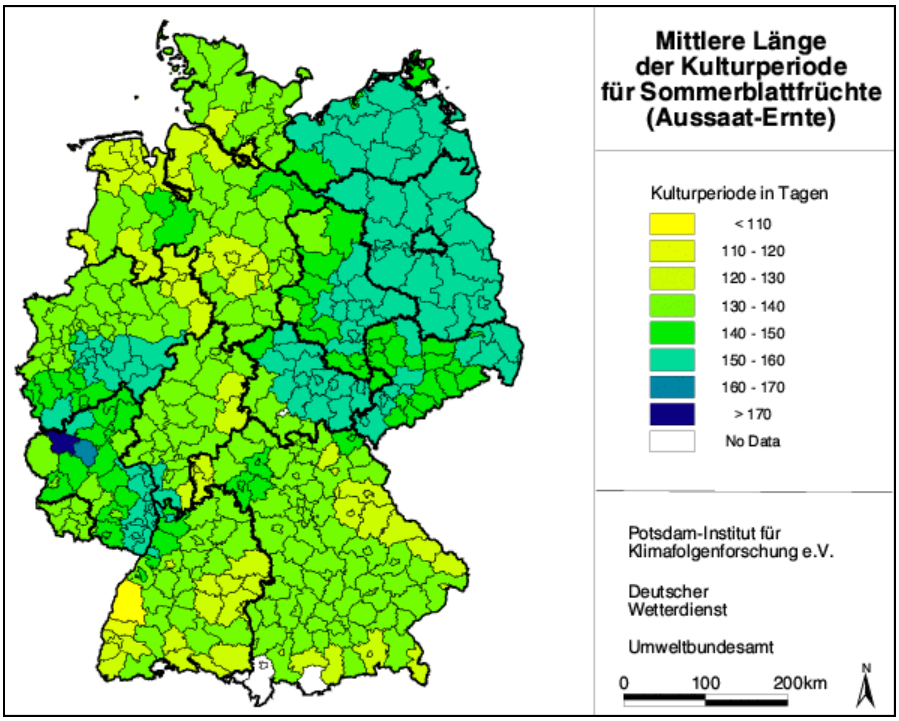

## Anhang 12: Vegetationsperioden der Kulturartengruppen




Mittlere Länge der Kulturperiode für Wintergetreide (Aussaat - Ernte)
Kulturperiode in Tagen
< 290
290 - 295
295 - 300
300 - 305
305 - 310
310 - 315
315 - 320
> 320
No Data
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
Deutscher Wetterdienst
Umweltbundesamt
0 100 200 km
N


Mittlere Länge der Kulturperiode für Sommergetreide (Aussaat - Ernte)
Kulturperiode in Tagen
< 126
126 - 129
129 - 132
132 - 135
135 - 138
138 - 141
141 - 144
> 144
No Data
Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung e.V.
Deutscher Wetterdienst
Umweltbundesamt
0 100 200 km
N




Mittlere Kulturperioden (Aussaat bis Ernte) für Winterweizen und die Kulturartengruppen Winter-, Sommergetreide und Winter-, Sommerblattfrüchte gemittelt pro Landkreis (Daten: DWD)

Die Karten sind aus Gründen der Verdeutlichung der regionalen Unterschiede nicht einheitlich klassifiziert.