

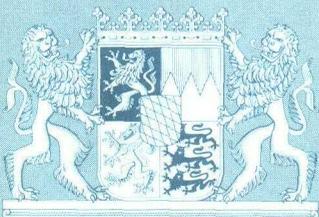
GLA

FACHBERICHTE

1

**Atlas der Erosionsgefährdung
in Bayern**

**Karten zum flächenhaften Bodenabtrag
durch Regen**



Bayerisches Geologisches Landesamt



GLA FACHBERICHTE

1

Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern

Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen

von
KARL AUERSWALD und FRANZ SCHMIDT

Herausgeber und Verlag:
Bayerisches Geologisches Landesamt, Heßstraße 128, D-8000 München 40

München 1986

2. unveränderte Auflage 1989

GLA-Fachberichte	1	74 S.	13 Abb.	16 Tab.	20 Karten	München 1986
------------------	---	-------	---------	---------	-----------	--------------

Zur neuen Schriftenreihe

Die technisch-industrielle Nutzung der Natur und ihrer Ressourcen sowie die daraus sich ergebenden Folgelasten erfordern von den Geowissenschaften zur Erhaltung und Sicherung der geoökologischen Lebensgrundlagen mehr und mehr eine gezielte und fachlich fundierte Problembearbeitung. Dem entsprechend haben sich die Akzente im Aufgabenfeld des Bayerischen Geologischen Landesamtes in den letzten Jahren erheblich verschoben. Die Sicherung des erdbürtigen Naturraumpotentials, d. h. der Naturgüter Relief, Boden, Grundwasser, tieferer Untergrund und mineralische Rohstoffe, steht mindestens gleichgewichtig neben der sorgsam abgewogenen Nutzung. Vorrangig bestimmt die Erarbeitung von Schutzkonzepten die Tätigkeit des Amtes.

Die Bearbeitung einschlägiger Fragen zum Schutz der Umwelt bedarf aktueller und ständig aktualisierter Daten und Informationen. Mit der hier neu eröffneten Schriftenreihe „Fachberichte“ möchte das Amt diesem Informationsbedarf Rechnung tragen und Ergebnisse, auch Zwischenergebnisse, Dokumentationen sowie aktuelle fachliche Stellungnahmen einer breiten Öffentlichkeit vorlegen. Die einzelnen Arbeiten spiegeln die Vielfalt des skizzierten Themenspektrums wider und verstehen sich als Diskussionsbeitrag für eine fachübergreifende Bearbeitung anstehender Probleme. Auch wissenschaftliche Aussagen sind zeitbezogen, d. h. sie geben Auskunft über Sachverhalte nach jeweiligem Kenntnisstand. Nicht zuletzt deshalb ist in dieser Schriftenreihe eine Fortschreibung der Fachdaten vorgesehen.

Diskussion bedarf des Widerspruchs. Begründeter Widerspruch ist erwünscht.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ziegler', with a long horizontal stroke extending to the right.

Dr. Josef H. Ziegler
Präsident

Erosionsatlas von Bayern

Karten zum flächenhaften Bodenabtrag durch Regen

	Seite
Vorwort	2
Gliederung	3
Zusammenfassung	4
Summary	5
1. Einleitung	6
2. Einführung in den Kartenteil	7
2.1 Zielsetzung und Grenzen des Erosionsatlas	7
2.2 Einflußgrößen der Bodenerosion und ihre Berücksichtigung in der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung	8
2.3 Leitfaden für den Gebrauch des Kartenteils	9
3. Regionale Bedeutung der erosionsbeeinflussenden Parameter	10
3.1 Regen-Erosivität	10
3.2 Boden-Erodierbarkeit	12
3.3 Hangneigung und Hangneigungseinfluß landwirtschaftlich genutzter Flächen	14
3.4 Hangneigung und Hangneigungseinfluß nichtlandwirtschaftlicher Flächen	16
3.5 Gebietstypische Hanglängen	18
3.6 Erosionswirksamkeit der Hanglänge	20
3.7 Einfluß der Fruchtfolge	22
3.8 Bodenverluste durch den Schmutzanhang der Zuckerrüben	24
3.9 Anteil der Ackerfläche	26
4. Regionale Unterschiede in der Erosionsdisposition	28
4.1 Natürliche Disposition auf der Gesamtfläche und auf landwirtschaftlichen Flächen	28
4.2 Anthropogene Disposition auf Ackerflächen	32
4.3 Anthropogene Disposition landwirtschaftlicher Flächen	34
4.4 Anthropogene Disposition der Gesamtfläche	36
5. Bodenabträge und Risikobeurteilung	38
5.1 Bodenabträge von Ackerflächen	38
5.2 Bodenabträge von landwirtschaftlichen Flächen	40
5.3 Mittlere Abträge der Gesamtfläche	42
5.4 Tolerierbare Bodenabträge landwirtschaftlicher Flächen	44
5.5 Erosionsrisiko landwirtschaftlicher Flächen und der Gesamtfläche	46
6. Methodischer Teil	50
6.1 Erfassungsmethodik	50
6.2 Datengrundlage	51
6.3 Auswertungsmethodik	57
6.4 Fehlerabschätzung	59
7. Bedeutung nicht berücksichtigter Einflußgrößen	61
7.1 Schutzmaßnahmen	61
7.2 Schneeschmelze	62
7.3 Vorfluterbelastung und Austräge aus Wassereinzugsgebieten	63
7.4 Erosionsdetailkarten zur Einzelfeldberatung	64
8. Index	66
8.1 Literatur	66
8.2 Programme	69
8.3 Mittlere Abträge bayerischer Landschaften	70
8.4 Mittlere Abträge bayerischer Landkreise	72
8.5 Einheiten der Standortkundlichen Landschaftsgliederung und Verzeichnis der auf den Karten verwendeten Abkürzungen	74
Beilage	
Deckfolie mit Gewässernetz und Grenzen der Standortkundlichen Landschaftsgliederung	

Zusammenfassung:

Mit Hilfe der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung wurden Karten erstellt, die die regionale Bedeutung der verschiedenen erosionsbeeinflussenden Parameter beleuchten und das zu erwartende Ausmaß des Bodenabtrags aufzeigen.

Zur Berechnung wurde ein Rasternetz aus ca. 13 000 Rasterflächen benutzt. Dieses Raster-system liefert für den wiedergegebenen Maßstab eine wesentlich höhere Auflösung als die existierenden Erosionsvorhersagekarten auf Rasterbasis.

Für jede Rasterfläche wurden die Basisdaten wie Hanglänge, Landnutzung oder Regenerosivität erhoben. Mit diesen Basisdaten kann eine Vielzahl von Karten erzeugt werden, die die unterschiedlichen Aspekte der Erosion wiedergeben. Die Basisdaten und die daraus berechneten Maßzahlen können neben der kartographischen Darstellung auch statistisch nach natürlichen und politischen Einheiten ausgewertet werden.

Die Karten dienen der Risikovorhersage, da sie die Belastbarkeit (tolerierbarer Bodenabtrag) und die Belastung (aktueller Bodenabtrag) in vergleichbaren Einheiten ($t/ha \cdot a$) einander gegenüberstellen.

Die Karten sollen insbesondere den Fachbehörden Informationen darüber liefern, in welchen Landschaften erosionsmindernde Maßnahmen notwendig sind, welche Einflußgrößen jeweils verantwortlich sind und wofür daher die zu ergreifenden Maßnahmen abzielen sollten.

Die wichtigsten Ergebnisse sind:

1. Die Hangneigung ist der wichtigste erosionsbeeinflussende Parameter. Der S-Faktor (= Hangneigungsfaktor) hat nicht nur ca. 300 mal mehr Gewicht als der R-Faktor (Regenerosivität), sondern die Hangneigung bestimmt auch den Einfluß der Hanglänge (L-Faktor), die Wirksamkeit von Erosionsvorsorgemaßnahmen (P-Faktor) und die Regenerosivität zu einem großen Teil. Im Hinblick auf die Möglichkeiten der Landnutzung und den betriebswirtschaftlichen Wert einer Fläche stellt die Hangneigung daher eine sehr wichtige Einflußgröße dar.
2. Die Regenerosivität umfaßt nur einen kleinen Wertebereich und zeigt unter allen Faktoren die geringste räumliche Variation.
3. Die am leichtesten erodierbaren Böden treten vor allem in den Lößgebieten auf. Ihre hohe Erodierbarkeit (K-Faktor) wird z. T. kompensiert durch die höheren tolerierbaren Bodenabträge (T-Wert) dieser tiefgründigen Böden.
4. Hochproduktive Reihenfrüchte werden häufig lokal konzentriert angebaut. Da gleichzeitig diese Reihenfrüchte den Boden nur wenig vor Bodenerosion schützen, treten hohe C-Faktoren (Einfluß der Fruchtfolge) vor allem in Gebieten mit intensivem Hopfen-, Zuckerrüben- und Gemüseanbau auf.
5. Der Einfluß des Menschen auf das Erosionsausmaß wird in den Faktoren C und L berücksichtigt. Dieses Maß zeigt, daß gerade die am leichtesten erodierbaren Böden besonders erosionsfördernd bewirtschaftet werden.
6. Dieses Maß zeigt ebenfalls, daß gerade die produktivsten, für den Menschen wertvollsten Böden am stärksten erosionsfördernd genutzt werden.
7. Die Bodenverluste durch flächenhafte Abtragung sind in Bayern sehr hoch. Von Ackerflächen werden im Mittel $8 t/ha \cdot a$ abgetragen. In den Schwerpunkten des Zuckerrübenanbaus können großflächig mehr als $2 t/ha \cdot a$ allein durch den Schmutzanhalt der Zuckerrüben verloren gehen. Im Mittel der landwirtschaftlichen Flächen (Acker und Grünland) werden $4 t/ha \cdot a$ abgetragen. Unter Grünland und Wald treten nur im Alpenraum höhere Bodenabträge durch flächenhafte Abspülung auf. Dies ist auf Entblößungen der Bodenoberfläche, z. B. durch Waldweide oder Schneeschurf, zurückzuführen.
8. Von 66 % der Ackerflächen, 50 % der landwirtschaftlichen Flächen und 40 % der Gesamtfläche wird mehr Boden abgetragen, als toleriert werden kann.
9. Die am stärksten gefährdeten Landschaften sind die Hopfenanbaugebiete (Hallertau), der Vordere Bayerische Wald, die Lößgebiete in Unterfranken (Ochsenfurter Gäu), das Tertiärhügelland und die Inn-Chiemsee-Salzach-Moräne.

Summary:

The Universal Soil Loss Equation was used to produce a set of maps that display the influencing factors of soil loss through rainfall erosion in Bavaria.

The maps are based on a grid system with about 13 000 grid areas. For the depicted scale, the created grid system offers a better resolution, expressed in pixels per cm^2 of the final maps, than the existing erosion prediction maps.

For each of the grid areas, the basic data elements such as slope length, proportion of small grain or rainfall erosivity were defined. These basic data elements can be used to create a multitude of maps that depict the different aspects of erosion. The original and the derived data also can be analyzed statistically according to natural or political units.

The purpose of the maps is the risk assessment. The risk of a long term damage of the soil can be estimated by comparing the ability to take stress (soil loss tolerance) with the occurring stress (present soil loss).

This set of maps offers the technical authorities a worthwhile source of information for introducing and promoting erosion-reducing measures in the most endangered landscapes.

The most important findings were:

1. Slope steepness is the single most contributing parameter that influences soil loss to the greatest extent. The S-factor has not only about 300 times more weight than the R-factor (rainfall erosivity), but the degree of slope also determines the effect of slope length (L-factor) on erosion, the effectiveness of preventative measures (P-factor), and rainfall erosivity to a great extent. Therefore, the hilly areas have great disadvantages for farming.
2. Rainfall erosivity has not only a small range of values, it also shows the least spatial variation.
3. The highest soil erodibilities (K-factor) occur in areas of loessial soils. Their high K-factor is compensated to a certain degree by the higher soil loss tolerances (T-value) of these deep soils.
4. Highly productive crops like most of the erosion promoting row crops lead to a high specialization. Therefore high C-factors (influence of crops rotation) are typical, in the hops growing areas, in the sugar beet growing areas, and in the vegetable growing areas.
5. The farming practices, expressed in the factors C and L, that most promote soil erosion are found in areas of the most erodible soils.
6. These factors also show, that the farming practices that most promote soil erosion are actually being practiced on soils which, due to their high productivity, are most valuable to man.
7. Soil loss caused by sheet and rill wash is very high in Bavaria. $8 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ is the average loss from ploughed fields. In typical sugar beet growing areas more than $2 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ are lost only by the soil adhering to the harvested beet. On average of all agricultural land (ploughed and grass land), $4 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ are eroded. On forest and grass land high soil losses by sheet and rill erosion only occur in the Alps. This can be put down to the proportion of uncovered soil, for instance caused by grazing cattle or creeping snow.
8. On 66 %, 50 % and 40 % of the ploughed, agricultural, and whole land respectively, more soil is eroded than can be tolerated.
9. The most endangered landscapes are the hops growing districts, the hilly Bavarian forest, the loess area of Lower Franconia, the Tertiary upland hills, and the moraine of the Inn glacier.

1. Einleitung

In der Vergangenheit wurden Grund und Boden in erster Linie als Produktionsgrundlage für die land- und forstwirtschaftliche Erzeugung und als Standort für eine Bebauung gesehen. Heute erkennt man zunehmend, daß die Böden darüber hinaus wesentliche ökologische Aufgaben zu erfüllen haben. Diese Aufgaben beruhen vor allem auf dem hohen Puffervermögen der Böden für die meisten Substanzen, die im Kreislauf der Ökosysteme auftreten. Die vielfältigen Wirkungen und Zusammenhänge wurden nicht zuletzt dadurch erkannt, daß die Böden infolge einer zu intensiven Nutzung ihre Pufferfunktion in manchen Fällen nicht mehr voll erfüllen konnten. Auf Grund der wachsenden Kenntnis der Vielzahl wichtiger Bodenfunktionen stellte die Internationale Bodenkundliche Gesellschaft ihren Kongreß 1986 unter das Motto „Böden unter steigender Intensität und Vielfalt der Beanspruchung“. Diese steigende Intensität und Vielfalt wiegt umso schwerer, als die Ressource Boden sehr begrenzt ist. Nur 3% der festen Landoberfläche werden als hoch produktiv angesehen, nur 22% als produktiv (WOLMAN, 1986).

Für die landwirtschaftliche Betriebslehre stellt der Boden „ein Produktionsmittel mit eigener Erzeugungskraft“ dar (STEINHAUSER et al., 1978). Dabei haben die Ökonomen RICARDO und v. d. GOLTZ als seine wesentlichen Eigenschaften herausgestellt: seine Unbeweglichkeit, seine Unvermehrbarkeit und seine Unzerstörbarkeit (zit. STEINHAUSER et al., 1978).

Diese Unzerstörbarkeit gilt nur für den Grund, nicht aber für den Boden, was aus dem folgenden noch mehrfach ersichtlich werden wird. Daher wiegen die beiden übrigen betriebswirtschaftlichen Eigenschaften des Bodens besonders schwer, die Unbeweglichkeit und die Unvermehrbarkeit. Eine Zerstörung des Bodens kann wegen der Unvermehrbarkeit nicht rückgängig gemacht werden. Da zwei sonst gleiche Böden bei unterschiedlicher Entfernung zum Markt einen unterschiedlichen betriebswirtschaftlichen Wert haben, kann ein zerstörter Boden wegen der Unbeweglichkeit nicht durch die intensivere Nutzung eines weiter entfernt liegenden Bodens ersetzt werden. Eine Bodenzerstörung führt daher zu einem irreparablen, nicht kompensierbaren Schaden.

1952 wurde geschätzt, daß für jeden Erdbewohner etwas weniger als 1 ha Land zur Verfügung steht, um seine Bedürfnisse zu befriedigen. Vor allem durch den Anstieg der Bevölkerungszahlen steht heute jedem nur noch halb soviel zur Verfügung (WOLMAN, 1986). Während sich in der Versorgungssituation bei anderen Ressourcen wie Phosphat, Chrom, Uran oder Energie marktwirtschaftlich keine Versorgungsengpässe belegen lassen (ZWARTENDYK, 1986), stellt der Boden den für zukünftige Entwicklungen am stärksten limitierenden Faktor dar. Er ist entsprechend schonend zu behandeln. Die „World Soil Charter“ der FAO (1981) verlangt daher von den Regierungen, den Internationalen Organisationen und den Landnutzern allgemein, daß das Land im Hinblick auf einen langfristigen Vorteil und nicht mit einem an kurzfristigen Gewinnen orientierten Wirtschaftsziel zu nutzen ist.

Von allen Prozessen, die den Boden schädigen, wie Bodenversauerung, Schwermetalleintrag, Versalzung,

Versteppung, Strukturzerstörung, wurde von einer internationalen Expertengruppe die Bodenerosion als der Degradationsprozeß angesehen, der langfristig die Menschheit am stärksten bedroht (HAHN et al., 1986). In der zitierten Studie werden als wichtige, sofort einzuleitende Handlungen u. a. empfohlen:

- die wissenschaftliche Erforschung von Mechanismen und Zusammenhängen der Bodendegradation in ausgewählten Gebieten und
- die Weitergabe von Informationen aus dem Wissenschaftsbereich an die administrativen Entscheidungsträger. Trotz der bestehenden Wissenslücken reichen die vorliegenden Informationen in vielen Problemfällen aus, um wirkungsvolle Gegenmaßnahmen einleiten zu können.

Zu beiden Punkten soll der vorliegende Atlas der Erosionsgefährdung einen Beitrag leisten. In ihm wird die gebietstypische Gefährdung der Böden im landesweiten Überblick dargestellt. Die Karten bieten daher eine Planungsgrundlage für regionale und überregionale Fragen. Mit ihnen können Problemgebiete identifiziert werden, in denen die Bodenerosion in der Bodennutzung berücksichtigt werden muß und wo die Bodenerosion z. B. einen Schwerpunkt in der Ausbildung der Landwirtschaftsberater, bei der Schulung von Landwirten und in der Flurbereinigungsplanung darstellen sollte. Anhand der Einzeldarstellung der erosionsbeeinflussenden Parameter können die in einem bestimmten Gebiet hauptverantwortlichen Faktoren identifiziert werden. In den Erläuterungen wird versucht, die wichtigsten anthropogenen und natürlichen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen der einzelnen Einflußgrößen deutlich zu machen und so wichtige Mechanismen und Zusammenhänge aufzuzeigen.

Der Atlas der Erosionsgefährdung ist Bestandteil des Bodenkatasters Bayern, eines Bodeninformationssystems für Standortkunde, Boden- und Umweltschutz. Er steht hier im Rahmen der Auswertungskarten zur Risikobeurteilung, die durch rechnerische Verknüpfung z. B. von Immissions- und Nutzungsdaten mit entsprechenden Boden- und Geländedaten eine flächenhafte Aussage über die potentielle Gefährdung der Böden, z. B. auch durch Schadstoff- und Säureeinträge oder Verdichtung ermöglichen sollen (WITTMANN, 1986).

Neben den auf den Karten genannten Bearbeitern trugen noch mehrere Personen in größerem Umfang zur Entstehung des Atlas der Erosionsgefährdung bei. Im Bayerischen Geologischen Landesamt waren dies A. Böhm, X. Keller, A. Petschl und G. Stimmelmeyer, die wesentlich an der Datenerfassung beteiligt waren. Bei den EDV-Arbeiten halfen M. Ahmed und H. Mielke, die Druckvorbereitungen leitete K. Wolniczak und die kritische Durchsicht des Manuskripts besorgten O. Drexler und O. Wittmann. Am Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen half F. Riegel bei der graphischen Datenverarbeitung. H. Weinmann vom Landesamt für Umweltschutz plottete Karten und Druckvorlagen. Durch H. Franz vom Bayerischen Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung wurden die Zahlen der Gemeindebodennutzungserhebung zur Verfügung gestellt. U. Schwertmann, Lehrstuhl für Bodenkunde der TU München, beriet in Fragen der Erosionsmodellierung und steuerte die neuesten am Lehrstuhl erarbeiteten Daten bei.

2. Einführung in den Kartenteil

2.1 Zielsetzung und Grenzen des Erosionsatlas

Das Problem Bodenerosion ist so vielschichtig, daß auch ein Atlas zur Bodenerosion nur wenige Teilaspekte behandeln kann. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, soll zunächst dargelegt werden, worauf sich seine Aussagen beziehen.

Die erste Einschränkung besteht hinsichtlich des **Maßstabes**. Es sollen Aussagen für ganz Bayern gemacht werden. Dabei ist die Vielschichtigkeit der Bodenerosion durch die Darstellung der verschiedenen Einflußgrößen und ihres systematischen Zusammenwirkens aufzuzeigen. Für diese Aufgabe kamen nur Übersichts-karten in Frage.

Die kleinste Einheit, die die gewählte Erhebungs- und Auswertungsmethode auflöst, umfaßt ein Gebiet von ca. 5 km². Die verwendeten Faktoren bzw. berechneten Abträge stellen nicht das Mittel dieser Rasterflächen dar, sondern sie geben die Verhältnisse auf typischen Schlägen innerhalb dieser Raster wieder. Da sehr viel des von den Hängen abgetragenen Bodenmaterials am Hangfuß liegen bleibt, würde eine Bilanz der Raster wesentlich niedrigere Bodenverluste ausweisen. Der Darstellungsmaßstab und der Aussagemaßstab stimmen daher nicht überein; denn in der Darstellung werden große Gebiete (nämlich 5 km²) zusammengefaßt, aber die Aussage bezieht sich immer auf die Verhältnisse typischer Bewirtschaftungseinheiten, also i. d. R. auf Schläge in einer Größenordnung von wenigen Hektar. Als Bezugsgröße wurde der Einzelschlag gewählt, da einerseits die Produktivitätsverluste und andere flächenbezogene, mikroökonomische Schäden Einzel-felder betreffen und andererseits auch eine wirkungsvolle Verminderung der Erosion Maßnahmen auf Einzel-feldern verlangt. Der Nachteil dieser Darstellungsform ist, daß sie eine Bilanzierung nicht zuläßt. Die Summe aller Bodenverluste der Raster ist keineswegs der Gesamtbodenverlust in Bayern. Die Summe gibt höchstens einen Hinweis darauf, in welcher Größenordnung Bodenmagerungen innerhalb Bayerns zu erwarten sind.

Je nach Maßstab ergeben sich unterschiedliche Aspekte der Erosion. Es verändert sich sowohl die Zielgruppe der Anwender als auch die von ihnen aus den Ergebnissen abzuleitenden Konsequenzen. Um zu zeigen, daß auch ein kleinerer als der für die Übersichts-karten gewählte Maßstab interessante Aussagen zur Bodenerosion ermöglicht, wurde ein Kapitel 7.3 angefügt. Es erläutert exemplarisch, mit welchen Veränderungen hinsichtlich des Modells und der ableitbaren Erkenntnisse zu rechnen ist, wenn sich die Betrachtung auf noch größere Einheiten, nämlich Wassereinzugsgebiete, bezieht.

Für andere Fragestellungen ist dagegen ein größerer Maßstab notwendig. Kapitel 7.4, das zwei einzelne Acker-schläge einer Erosionsdiagnose unterzieht, soll demonstrieren, wie weit die räumliche Auflösung erfolgen kann und welche detaillierten Aussagen dadurch möglich werden.

Auch hinsichtlich des betrachteten **Zeitraumes** gilt eine strenge Einschränkung. Die Karten gelten für die

gegenwärtige Nutzung und geben den langfristig, d. h. im Mittel mehrerer Jahre zu erwartenden Bodenabtrag an. Über Einzelereignisse werden keine Aussagen gemacht, sondern nur über die mittlere Wirkung vieler Ereignisse.

Die Karten stellen eine Analyse der aktuellen, erosionsrelevanten Verhältnisse dar, da sie eine Planungsgrundlage liefern sollen. Es sind keine Karten enthalten, die den Erosionsgrad der Böden dokumentieren. Der Erosionsgrad resultiert aus der Summe der Erosionsprozesse in der Vergangenheit und ist damit ganz wesentlich von der Dauer der ackerbaulichen Nutzung abhängig. Die Summe der in der Vergangenheit abgelaufenen Erosionsprozesse muß auch auf Grund von Nutzungsänderungen nicht mit den aktuellen oder den zu erwartenden Verhältnissen übereinstimmen. Ein planerischer Handlungsbedarf kann daher nicht aus dem Erosionsgrad sondern nur aus den heutigen Bewirtschaftungsverhältnissen abgeleitet werden.

Eine weitere Einschränkung ergibt sich hinsichtlich der betrachteten **Prozesse**. Es wird nur ein, wenn auch der in Bayern wichtigste, Prozeß der Bodenerosion dargestellt, nämlich der flächenhafte Bodenabtrag durch Wasserabspülung. Die Mehrzahl der Erosionsprozesse bleibt damit unberücksichtigt. So werden keine Aussagen über die Bodenverluste durch Wind (Deflation) getroffen. Auch Humusschwund und Moorsackung, die z. T. ebenfalls als Erosion bezeichnet werden, gingen in die Karten nicht ein. Die Formen linearer Erosion, z. B. Grabenreißen oder Flußbetterosion blieben ebenso unberücksichtigt wie Hangrutschungen oder die mehr alpinen Abtragsprozesse des Schneeschurfs, der Muren und anderer Wege der Blaikbildung. Diese besonderen Erosionsformen gingen nur insoweit ein, wie sie den flächenhaften Bodenabtrag durch Wasser beeinflussen. Auf den durch diese Erosionsvorgänge geschaffenen vegetationsfreien Arealen kann die erosive Kraft der Niederschläge ansetzen und zu Bodenabspülungen führen.

Der Terminus „Erosion“ wird also wie im angelsächsischen Sprachraum als Überbegriff für Bodenabtrag durch Wasser gebraucht. Geomorphologisch richtig wäre für die betrachteten Prozesse der Begriff „Denudation“, da Erosion i. e. S. für den linienhaften Abtrag geprägt wurde (WILHELMY, 1981). Ebenfalls verkürzend wird im folgenden mit „Erosionsatlas“ der „Atlas der Erosionsgefährdung durch flächenhaften Bodenabtrag durch Regen“ bezeichnet.

Fazit: Der Erosionsatlas berücksichtigt also den Bodenabtrag, der von fallenden Regentropfen ausgelöst wird und dessen wesentliches Transportmedium der Oberflächenabfluß ist. Die räumliche Bezugsgröße der verschiedenen Karten ist der für die Teilgebiete typische Acker-, Grünland- oder Waldstandort. Die zeitliche Bezugsgröße sind die langfristig, d. h. im Mittel mehrere Jahre vorherrschenden Bedingungen.

Ausnahme: Ein Erosionsprozeß, der nicht unter diese Definition fällt, wurde zusätzlich aufgenommen: Der mit den Zuckerrüben als Schmutzanhang abgefahrene Boden wird berücksichtigt, da dieser Prozeß als typische Erosionsform des intensiven Ackerbaus ebenfalls zu einem flächenhaften Bodenverlust führt.

2.2 Einflußgrößen der Bodenerosion und ihre Berücksichtigung in der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung

Im Idealfall beruht eine wissenschaftliche Aussage auf der exakten Messung eines Sachverhaltes. Dieser Idealfall kann meist nicht eingehalten werden. Häufig sind Aussagen über zukünftige Entwicklungen notwendig. Diese können nur auf Grund von Beobachtungen in der Vergangenheit getroffen werden. Ebenfalls häufig sind Aussagen über weite Gebiete oder viele verschiedene Zustände notwendig. Auch in diesen Fällen können die Aussagen nur an einer begrenzten Zahl von Einzelflächen entwickelt und dann auf größere Einheiten übertragen werden. Als wichtiges Hilfsmittel des Wissenschaftlers dienen Modelle, um Erfahrungen an Einzelfällen, die in der Vergangenheit gewonnen wurden, auf eine große Zahl von Fällen und auf zukünftige Entwicklungen zu übertragen. Um nach dem vorliegenden Stand der Kenntnis fundierte Prognosen zu erstellen, werden, seit ROBERT MALTHUS 1798 seinen „Essay on the principle of population“ veröffentlichte, auch mathematische Modelle verwendet. In Modellen versucht man die einem Sachverhalt zugrunde liegenden Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe von physikalisch oder chemisch exakten Gleichungen zu beschreiben. In vielen Fällen sind die Beziehungen jedoch so kompliziert, daß die mathematische Beschreibung aller auftretenden Wirkungen und Wechselwirkungen nicht mehr überschaubar ist. In diesen Fällen muß man auf einfachere Gleichungssysteme zurückgreifen, die das Zusammenwirken mehrerer Faktoren nicht exakt, aber hinreichend genau beschreiben.

Auch bei einem Erosionsereignis treten so viele Kräfte auf, daß die physikalische Beschreibung der Wirkungen aller einzelnen Regentropfen vom Aufprall auf den Boden bis zur Endstation Vorfluter heute nicht möglich ist. Mittlerweile wurde eine Vielzahl von vereinfachten Modellen entwickelt, die je nach Aufgabestellung eingesetzt werden können, um die Wirkungen der Regentropfen vorherzusagen. In Südafrika wird das Modell SLEMSA (Soil Loss Estimator for Southern Africa; ELWELL, 1979) verwendet. Zur Berechnung der Abflüsse und Bodenverlagerungen ganzer Wasserscheiden eignet sich ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation; BEASLEY & HUGGINS, 1980). Die Berechnung der Verlagerung von Boden, Wasser, Nährstoffen und Pestiziden ist mit CREAMS möglich (Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems; KNISEL, 1980). Ein erweitertes Modell, mit dem u. a. auch die Produktivitätsverluste durch den Bodenabtrag berechnet werden können, ist EPIC (Erosion-Productivity Impact Calculator; WILLIAMS et al., 1982). Auch für so spezielle Erosionssituationen wie den Abtrag von unbefestigten Straßen existieren Modelle (ROSED: Road Sediment model; BURROUGHES & SUNDBERG, 1982). Eine Zusammenfassung weiterer Erosionsmodelle wurde von STOCKING (1984) und von FOSTER (1980) veröffentlicht.

Das am besten erprobte und am weitesten verbreitete Erosionsmodell ist die Universal Soil Loss Equation USLE (WISCHMEIER & SMITH, 1965). In den 50er Jahren erhielt die Gleichung von Wischmeier und Smith ihre endgültige Gestalt und löste die bis dahin übliche „slope practice method“ ab (PIERRE & WISCHMEIER,

1960). Ihre Urform basiert auf Daten von 250 000 Erosionsmessungen, die in den USA an 45 Beobachtungsstationen in 23 Staaten gesammelt wurden (WISCHMEIER, 1962). Auch heute werden diese Ergebnisse noch durch viele weltweite Messungen ergänzt, um die USLE weiter abzusichern und universeller einsetzen zu können. Mittlerweile wird sie weltweit zur Abtragsprognose verwendet, u. a. in der Tschechoslowakei (PASÁK et al., 1983), in den Niederlanden (BERGSMA, 1980), in Belgien (BOLLINE et al., 1980), in Westafrika (ROOSE, 1977), in Südafrika (CROSBY et al., 1983) und in vielen anderen Ländern. In Bayern wird die USLE seit 1979 angewendet (SCHMIDT, 1979). Sie wird im deutschen Sprachraum Allgemeine Bodenabtragsgleichung ABAG genannt. USLE bezeichnet daher im folgenden speziell die amerikanische Fassung mit den in den USA gültigen Faktorenwerten. ABAG steht für die deutsche Fassung und damit auch für die überwiegende Zahl der Fälle, in denen die amerikanischen und die deutschen Faktorenwerte identisch sind.

So einfach, wie das Modell von MALTHUS, das nur vom Faktor Zeit abhängt, läßt sich der komplizierte Prozeß „Erosion“ nicht beschreiben. WISCHMEIER & SMITH (1965) benötigten 6 Faktoren, um die Wirkungen der vielen bei Bodenerosionsereignissen ablaufenden Teilprozesse hinreichend genau zu berechnen. Diese 6 Faktoren berücksichtigen:

- die Wirkung von Regen und Oberflächenabfluß (R-Faktor),
- die Erodierbarkeit des Bodens (K-Faktor),
- die Wirkung der Hanglänge (L-Faktor),
- die Wirkung der Hangneigung (S-Faktor),
- die Wirkung der Bedeckung und Bewirtschaftung der Fläche (C-Faktor) und
- die Wirkung von Schutzmaßnahmen (P-Faktor).

Der Abtrag A in $t/ha \cdot a$ eines Feldes im langjährigen Mittel berechnet sich demnach aus:

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

Jeder einzelne Faktor stellt wiederum ein Submodell dar. Die notwendigen Eingangsdaten müssen einfach zu ermitteln sein. Für den S-Faktor ist die Ausgangsgröße die Hangneigung. Die Bodenerodibilität ist dagegen keine einfach zu ermittelnde Größe. In dem Submodell der Erodibilität muß daher wieder der gleiche Weg beschritten werden: die Beschreibung eines komplizierten Sachverhalts durch ein Modell aus einfacher zu bestimmenden Werten. Im Fall der Erodibilität sind dies u. a. die Korngrößenzusammensetzung des Bodens und sein Gehalt an organischer Substanz. In ähnlicher Weise sind alle anderen Faktoren aufgebaut. Welche Überlegungen im einzelnen eine Rolle spielen, wird, soweit notwendig, in den Einführungen zu den betreffenden Karten erläutert. Einige der wichtigsten Gleichungen, die den Faktoren zugrunde liegen, sind im Methodischen Teil (Kap. 6.) angeführt. Die genaue Beschreibung des Modells findet sich bei WISCHMEIER & SMITH (1978) und bei SCHWERTMANN et al. (1981).

2.3 Leitfaden für den Gebrauch des Kartenteils

Im folgenden Kartenteil werden jeweils verschiedene Aspekte der Bodenerosion auf einer Seite kartographisch dargestellt und auf der gegenüberliegenden Textseite kurz erläutert. Zur leichteren Orientierung des Lesers wurde i. d. R. unterschieden in einen **Einführungsteil**, in dem die der Karte zugrunde liegenden theoretischen Überlegungen erläutert werden, und in einen **Interpretationsteil**, in dem auf die regionalen Verhältnisse in Bayern Bezug genommen wird. Zur leichteren geographischen Orientierung sind die Grenzen der standortkundlichen Landschaftsgliederung (WITTMANN, 1983) mit den entsprechenden Nummern auf der beigelegten **Deckfolie** wiedergegeben. Die zugehörigen Namen der numerierten Landschaftseinheiten sind im Anhang zusammengefaßt. Dieser Anhang enthält auch die Erläuterung der in den Legendentexten verwendeten Abkürzungen.

Die Deckfolie enthält neben den Landschaftseinheiten ein genaueres **Gewässernetz** als das auf den Karten wiedergegebene. Die Flüsse dienen der leichteren Orientierung und bieten in vielen Fällen einen ersten Hinweis auf die Ursachen der in den Karten erkennbaren Strukturen.

An den Interpretationsteil können sich weitergehende Erläuterungen anschließen, die meist unter der Rubrik **Ausblick** zusammengefaßt sind.

Der auf einer Karte wiedergegebene Parameter wurde seiner Ausprägung entsprechend immer in eine von 6 farblich unterschiedlich ausgelegten Klassen eingeteilt. Prinzip bei der **Farbgebung** war immer, daß Dunkelgrün für die geringste Gefahrenstufe verwendet wurde, Dunkelrot für die höchste Gefahrenstufe. Dies wird an Hand der 1. Karte, der Karte der Regenerosivität (Kap. 3.1), näher erläutert. Die Abgrenzung der Klassen wird jeweils in der Legende angegeben. Die prozentuale Häufigkeit jeder Klasse wird in einem **Säulendiagramm** wiedergegeben. Bei der Interpretation dieser Diagramme ist zu beachten, daß trotz unterschiedlicher Klassenbreiten eine einheitliche Säulenbreite gewählt wurde.

Außerdem wird der **Mittelwert** für den dargestellten Karteninhalt ausgewiesen. Welche Art der Mittelwertbildung verwendet wurde, ist dem vorangestellten Kürzel zu entnehmen. Zur genaueren Erläuterung sei auf Kap. 6.3 (Auswertungsmethodik) verwiesen.

Die Karten berücksichtigen häufig nur einen Teil der Fläche Bayerns, z. B. nur Ackerflächen oder landwirtschaftliche Flächen. Gebiete, in denen die wiedergegebenen Flächen mit weniger als 10 % der Gesamtfläche vorkommen, bleiben weiß. Auf welche Flächen sich die Kartenaussage bezieht und welcher Schwellenwert verwendet wurde, ist unter dem Stichwort **Datengrundlage** in Kurzform zu finden.

Die Erläuterungen zu den Karten können nur Anregungen zur Interpretation liefern. Sie sind auch wegen der Beschränkung auf eine Seite z. T. ergänzungsbedürftig. Außerdem sollen die Karten und die zugehörigen Erläuterungen einem breiten Benutzerkreis Informationen bieten. Daher werden in den Erläuterungen zu den Karten nicht alle Details und Problempunkte des Mo-

dells, der Kartenerstellung und der statistischen Auswertung angesprochen. Die in den Kapiteln 6. (Methodischer Teil) und 7. (Nicht berücksichtigte Einflußfaktoren) gegebenen Informationen sind daher auch als Ergänzung und Vertiefung der Erläuterungen zu den einzelnen Karten zu verstehen.

Im Text werden zusätzlich zu den Karten z. T. **Tabellen** und **Abbildungen** verwendet. Die Numerierung der Tabellen und Abbildungen stimmt mit der Nummer des Kapitels überein, in dem sie eingefügt sind. Dies soll bei Querverweisen ein leichtes Auffinden ermöglichen. Enthält ein Kapitel mehrere Tabellen oder Abbildungen, so sind sie durch einen der Kapitelnummer nachgestellten Buchstaben unterschieden.

3. Regionale Bedeutung der erosionsbeeinflussenden Parameter

3.1 Regen-Erosivität

Einführung: Mit Regenerosivität wird die gemeinsame Wirkung zweier Teilprozesse bezeichnet, die Aggregatzerstörung durch aufprallende Regentropfen und der Transport der Bodenteilchen durch den Oberflächenabfluß. Die aggregatzerstörende Wirkung der Regentropfen ist umso stärker, je höher die kinetische Energie des Niederschlages ist. Die von der Tropfengrößenzusammensetzung und der Menge des Niederschlages abhängige kinetische Energie ist daher ein Subfaktor der Regenerosivität. Der transportierende Abfluß wird umso höher sein, je mehr die Niederschlagsrate die Versickerungsrate übersteigt. Die Niederschlagsrate bestimmt daher den 2. Subfaktor. Regen mit großen Tropfen und hohen Intensitäten, wie sie für Sommergewitter typisch sind, haben daher eine hohe Erosivität. Leichte „Landregen“ sind nur erosiv, wenn sie lang andauern. Die Maßeinheit der Regenerosivität ergibt sich daher als das Produkt der Energie je Flächeneinheit mit der Niederschlagsmenge je Zeiteinheit.

Farbgebung: In allen vorliegenden Karten wurde der Karteninhalt in 6 Farbklassen eingeteilt. Dunkelgrün stellt jeweils die geringste Gefährdungsstufe dar. In der Reihe über Gelb bis Dunkelrot nimmt die Gefährdung zu. Die grün ausgewiesenen Flächen zeichnen sich in diesem Fall durch eine geringe Erosivität aus, während auf den rot ausgedehnten Flächen die Niederschläge im Mittel der Jahre erosiver sind.

Da die Erosivität im starken Maß von der Menge der Niederschläge abhängt, ergibt sich ein ungewohntes, aber sachlich gerechtfertigtes Bild: Die trockenen Gebiete, in Klimakarten häufig durch gelbe bis rote Farben gekennzeichnet, zeichnen sich durch eine geringe Regenerosivität aus. Sie wurden daher in dieser Karte grün ausgeschieden.

Grüne und blaue Farben werden in Niederschlagskarten dagegen für niederschlagsreiche Gebiete verwendet. Da hohe Niederschläge aber mit einer hohen Erosivität einhergehen, mußten in der Karte der Regenerosivität gelbe bis rote Farben für niederschlagsreiche Gebiete verwendet werden.

Interpretation: Die Auswertung der Regenschreibermessungen von 18 Wetterstationen ergab, daß die Varianzbreite der R-Faktoren in Bayern verhältnismäßig gering ist, zumindest im Vergleich zu anderen Ländern, wie z. B. den USA (ROGLER & SCHWERTMANN, 1981). Das Ausmaß der Erosion kann sich unter sonst gleichen Bedingungen durch die unterschiedlichen Niederschlagscharakteristika etwa verdreifachen.

Nicht nur der Wertebereich der Regenerosivität ist klein, auch die räumliche Differenzierung ist gering.

Die Farbenverteilung der Karte läßt grob die geomorphologischen Gegebenheiten Bayerns und damit auch die Abhängigkeit der Niederschläge von der Höhenlage erkennen. Deutlich heben sich die höheren

Lagen ab. So werden die höchsten R-Faktoren im Alpenraum und im Bayerischen Wald vorgefunden, in Gebieten also, in denen die Erosion durch größere Hangneigungen zusätzlich gefördert wird. Den gleichen Trend zeigen der Spessart, die Rhön und der Frankenwald. Die Höhendifferenzierungen im Schichtstufenland lassen sich mit dieser Klasseneinteilung nicht so deutlich nachvollziehen.

Wegen der Luv-Wirkung am jeweiligen Anstieg liegt der dazugehörige höhere R-Wert immer etwas weiter westlich. Diese Zusammenhänge kann man gut erkennen westlich des Steigerwaldes – südöstlich von Würzburg – und westlich des Albanstieges – entlang von Rezat-Rednitz. Im Donautal südöstlich von Regensburg, dem Staubereich des Bayerischen Waldes, sind diese Beziehungen nicht ganz so ausgeprägt.

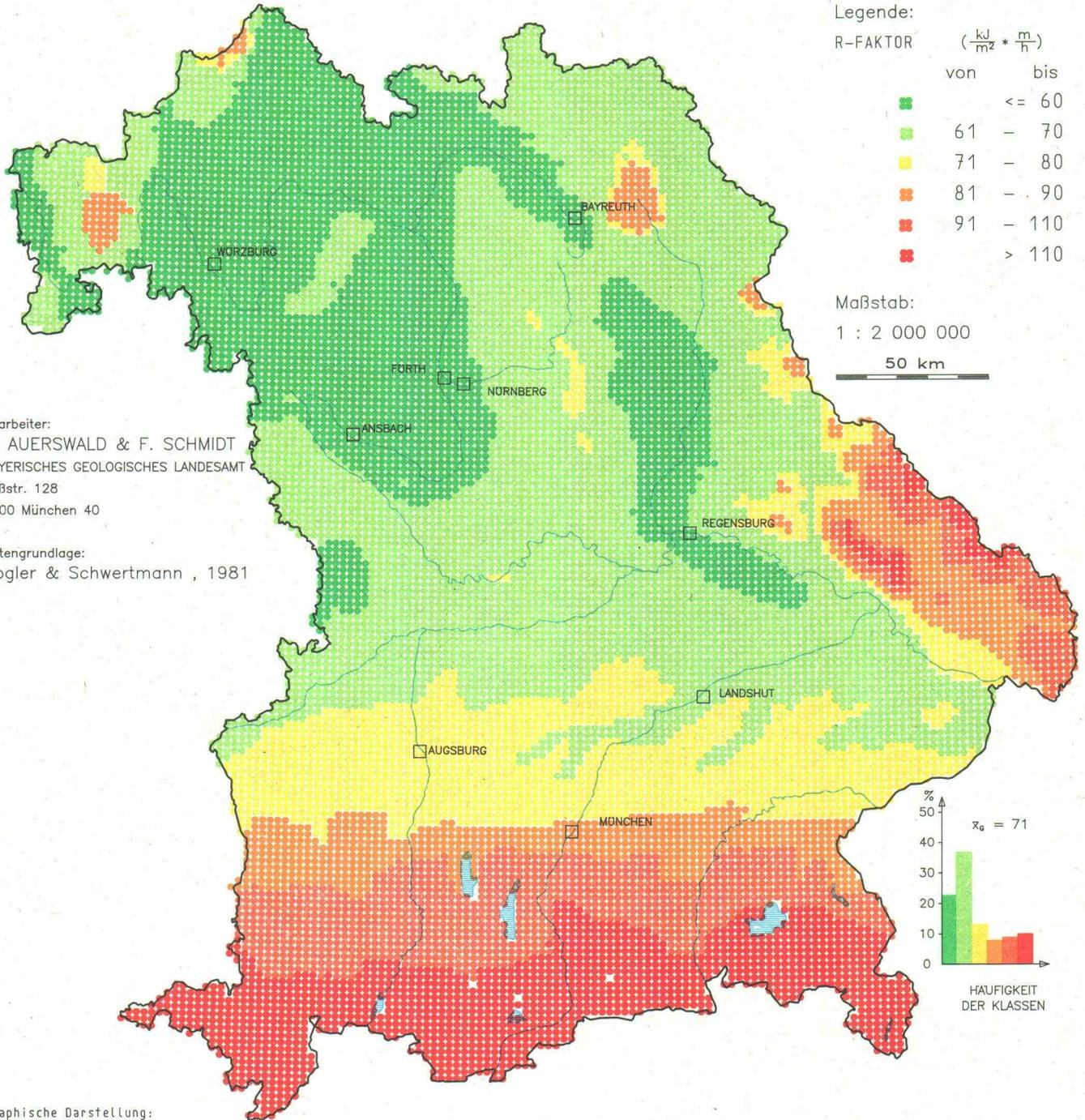
Sehr gut zeichnen die R-Faktoren in Südbayern die Höhenstufen nach Süden zu den Alpen hin nach. Beinahe bandförmig steigen sie dabei an. Im Tertiärhügelland prägen sich die etwas niederschlagsärmeren Täler von Glonn, Amper und Isar, aber auch von Vils und Rott als Gebiete geringerer Regenerosivität durch. Ebenso lassen sich tiefere Lagen erkennen, wie z. B. das Ammerseebecken oder das Ries.

Der abschwächende Einfluß von Regenschatten ist in Nordbayern deutlich. Als Beispiele seien aufgezählt: die Bereiche östlich des Spessart, am Obermain und vor allem die Naab-Vils-Senke und die Regensenke im Bayerischen Wald.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER REGEN-EROSIVITÄT

MÜNCHEN 1986



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
Rogler & Schwertmann, 1981

Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

3.2 Bodenerodierbarkeit

Einführung: Böden sind dann besonders erosionsanfällig, wenn die Regentropfen leicht Teilchen abschlagen können, die dann vom Oberflächenabfluß verfrachtet werden. Die aggregatzerstörende Wirkung der Regentropfen entfaltet sich besonders bei Böden, die entweder steinfrei sind und daher nicht durch aufliegende Steine geschützt werden oder wenig verkittende Substanzen enthalten. Verkittend wirken Ton und Humusstoffe. Die aggregatzerstörende Wirkung, die zur Verschlammung der Böden führt, schädigt daher vor allem schlecht strukturierte, ton- und humusarme, steinfreie Böden.

Starker Oberflächenabfluß bildet sich auf schlecht durchlässigen Böden. Er kann viel Material transportieren, wenn die vom Regen abgelösten Teilchen nicht groß und schwer sind wie beim Sand. Hochdurchlässige, grobsandige Böden sind daher wenig erodierbar. Besonders leicht abgetragen werden dagegen schluffreiche Böden, deren Aggregate leicht zerteilt werden können, wobei die Teile auf Grund ihrer Größe und ihres Gewichtes gut transportierbar sind, zumal auf diesen Böden wegen der Verschlammung hohe Oberflächenabflüsse auftreten.

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich eine bodenartenspezifische Neigung der Böden zur Verlagerung, die Bodenerodierbarkeit. Sie wird durch den K-Faktor quantifiziert. Er gibt an, wieviel Boden in t/ha · a von einer standardisierten Fläche (9 % Hangneigung, 22 m Hanglänge) bei einer Regenerosivität von 1 abgetragen wird. Daher ergibt sich die etwas komplizierte Maßeinheit des K-Faktors als Produkt aus t/ha · a und dem Kehrwert der Maßeinheit der Regenerosivität.

Interpretation: Das Bodenausgangsmaterial erklärt zum großen Teil den unterschiedlichen K-Faktor der dazugehörigen Böden. So handelt es sich bei den stark gefährdeten Flächen fast immer um Böden aus Löß und Lößlehm. Die Planschwirkung der Regentropfen führt bei diesen Böden zu einem raschen Verschlammern. Im Abflußwasser, das in der Regel dann deutlich die Lehmfarbe annimmt, wird ein Großteil des wenig aggregierten Bodens abgeführt. Neben den Bodenverlusten, die den einzelnen Landwirt betreffen, sind in Lößgebieten sehr häufig die Kommunen belastet, wenn bei Erosionsereignissen Straßen, Gräben und Kläranlagen mit Bodenabsätzen verfüllt werden. In folgenden Landschaften dominieren Böden mit hohen K-Faktoren: die südliche Fränkische Platte mit Schwerpunkten um Schweinfurt, Kitzingen, Ochsenfurt und Uffenheim sowie Markt-Heidenfeld; der Dungau mit Regensburg, Straubing und Plattling; die Donaulb nördlich von Ingolstadt und fast das gesamte Tertiärhügelland mit nach Süden anschließender Altmoräne.

Diese Flächen repräsentieren gleichzeitig die Böden mit der höchsten natürlichen Fruchtbarkeit (vgl. KNICKMANN & WURM, 1956). Dies führte zu einer sehr frühen Kulturnahme und zeigt sich heute in der überdurchschnittlich hohen Bewirtschaftungsintensität. Auf diesen Böden kommt es daher bereits sehr lange zu einer anthropogenen Verstärkung der Erosion. Böden, die durch Erosionserscheinungen noch nicht

oder nur wenig verändert sind, nehmen nur einen geringen Flächenanteil ein. In einem intensiv untersuchten Ausschnitt des Tertiärhügellandes fanden MAIER & SCHWERTMANN (1981) nur auf 18 % der Fläche geringe oder keine Erosionserscheinungen. Der kumulative Abtrag auf den erodierten Flächen wurde auf 5 000 bis 11 000 t/ha geschätzt.

Böden mit geringeren Schluff- und höheren Sand- bzw. Tongehalten bieten den erosiven Kräften wesentlich mehr Widerstand. Bei den Sandböden ist es vor allem die hohe Durchlässigkeit, die den Abfluß reduziert, bei den Tonböden eine relative Unempfindlichkeit gegenüber der Splashwirkung der Regentropfen. Gebietsweise kommt der Steingehalt erosionsmindernd hinzu, bei Moorböden der hohe Gehalt an organischer Substanz.

Niedrige K-Faktoren treten daher im Keupergebiet auf: Sowohl im Gipskeuper (tonig) als auch im Sandsteinkeuper überwiegen die grünen Punkte. In den Mittelgebirgsböden sind die höheren Skelettanteile für die recht geringe Erodierbarkeit verantwortlich. Hierzu bieten der Bayerische Wald, die Rhön und der Frankenthal typische Beispiele. Gut erkennbar heben sich aber auch die Schotterböden – z.B. die Münchner Schotterebene und das Jungmoränengebiet ab; auch Moorflächen wie das Donaumoos, Dachauer und Erdinger Moos und verschiedene Filze im Inneren Bayerischen Wald haben niedrige K-Werte.

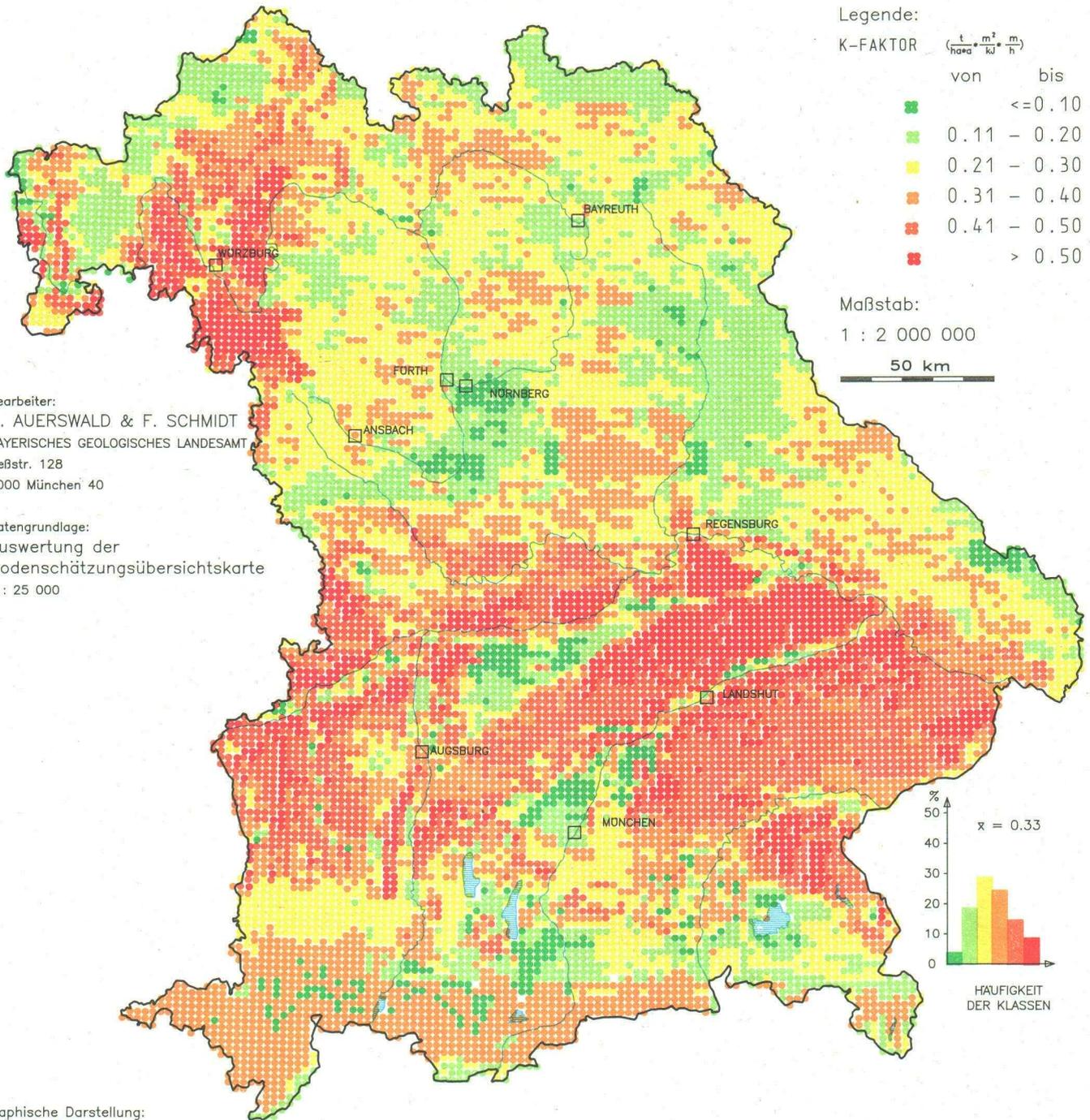
Wo orangefarbene Punkte vorliegen, lassen die Böden im allgemeinen eine Lößbeteiligung an der Bodenbildung erkennen. Sie stehen daher auch in der Bodenerodierbarkeit zwischen den sehr leicht erodierbaren Lößböden und den gering erodierbaren Sand- bzw. Tonböden mit geringer Lößkomponente. Als typischer Vertreter solcher lößbeeinflusster Landschaften seien genannt: der Falkensteiner Vorwald mit südlichem Vorwaldrand, die Mittlere und Südliche Frankenalb, die Regensenke, die Cham-Further-Senke.

Die große geologische und pedologische Vielfalt Bayerns wird auf dieser Karte recht deutlich, vor allem aber der großflächige Einfluß von schluffreichen Deckschichten, die in vielen Gebieten den Ackerbau überhaupt erst ermöglichen. Die Erodibilität ist eine vom Menschen relativ gering beeinflussbare Eigenschaft der Böden. Nur der Gehalt an organischer Substanz, die Aggregation und die Wasserleitfähigkeit können langfristig durch Bewirtschaftungsmaßnahmen günstig oder ungünstig verändert werden.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER BODENERODIBILITÄT

MÜNCHEN 1986



3.3 Hangneigung und Hangneigungseinfluß landwirtschaftlich genutzter Flächen

Einführung: Mit zunehmender Hangneigung steigt die Turbulenz des Oberflächenabflusses sehr stark an. Dadurch kommt das Transportmedium Wasser in die Lage, wesentlich mehr Feinmaterial pro Liter zu transportieren. Dies hat zur Folge, daß mit zunehmender Hangneigung der Abtrag wesentlich schneller zunimmt als der Abfluß (WISCHMEIER, 1976 b).

Auf Feldern, die in einem sehr erosionsanfälligen Zustand mit wenig geschützter Bodenoberfläche vorliegen, z. B. nach der Saatbettbereitung, können die Regentropfen viel transportierbare Bodenteilchen ablösen. Der den Bodenabtrag begrenzende Teilprozeß unter diesen erosionsfördernden Bedingungen ist der Transport, da der Regen i. d. R. mehr Feinmaterial ablöst als der Abfluß transportieren kann. Daher nimmt mit zunehmender Hangneigung, die die Transportkapazität erhöht, der Bodenabtrag sehr stark zu. Darüber hinaus steigt mit zunehmender Hangneigung auch noch die hangabwärtsgerichtete Verlagerung der durch den Aufprall der Regentropfen hochgeschleuderten Bodenteilchen an.

Der durch beide Einflüsse verursachte überproportionale Anstieg der Erosion bei zunehmender Hangneigung wird im S-Faktor der ABAG ausgedrückt. Während die mittlere Hangneigung (ausgedrückt in %) der niedrigsten und der höchsten ausgeschiedenen Neigungsklasse sich ca. um den Faktor 100 unterscheiden, beträgt dieser Unterschied für den S-Faktor 1 000.

Der S-Faktor gibt an, um wieviel der Bodenabtrag eines beliebig geneigten Feldes abweicht von dem Bodenabtrag der unter sonst gleichen Bedingungen bei einer Hangneigung von 9 % zu erwarten wäre. Der S-Faktor ist daher wie alle folgenden Faktoren eine dimensionslose Relativzahl.

Interpretation: Die Karte weicht deutlich von der Karte der mittleren Hangneigungen von RICHTER (1965) ab, da nicht die mittleren GebietsHangneigungen ausgewiesen sind, sondern nur die typischen Hangneigungen der landwirtschaftlichen Flächen. In Landschaften mit einem höheren Anteil an flach reliefiertem Gelände, wie im Gebiet südlich der Donau, werden vorzugsweise die weniger geneigten Flächen landwirtschaftlich genutzt. Trotz relativ hoher Gebietsreliefenergien, wie z. B. im Alpenraum, weisen daher die landwirtschaftlichen Flächen vergleichsweise geringe Hangneigungen auf.

In Landschaften, die eine ausgeglichene Verteilung der Hangneigung aufweisen und in denen daher flache Teilstücke für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung nicht ausreichend zur Verfügung stehen, müssen auch relativ steile Flächen landwirtschaftlich genutzt werden. Dies wird u. a. in der Rhön, im Bayerischen Wald und im Frankenwald deutlich.

Besonders klar gegliedert zeigt sich das Gebiet südlich der Donau. Die breiten Täler der alpinen Hauptflüsse Lech, Isar, Inn zeichnen sich durch extrem geringe Hangneigungen aus. Aber auch die übrigen Täler im Tertiärhügelland sind deutlich zu verfolgen (Vils, Rott, Amper, Große und Kleine Laaber). Das Paartal und das

Donaumoos mit seinen tief nach Süden reichenden Ausläufern lassen sich ebenso nachvollziehen wie die flußbegleitenden Hoch- und Niederterrassen im Dekenschottergebiet.

Die große Fläche der Münchner Schotterebene mit ihren Moorgebieten im Norden, das relativ wenig reliefierte Rosenheimer Becken und die Erdinger Altmoräne sind in die niedrigsten Hangneigungsstufen eingeordnet. Auch kleinere Strukturen mit geringer Neigung lassen sich im Südbayerischen Raum noch erkennen: Die Becken der Oberbayerischen Seen, Ammer-, Starnberger- und Chiemsee, und im Osten die Pockinger Heide, eine Niederterrassenfläche des Inns. Der Dungau zwischen Regensburg und Plattling zählt ebenfalls zu diesen Landschaften. In Nordbayern liegen nur in der Untermainebene großräumig ähnliche Verhältnisse vor.

Das Vils-Rott-Ursprungsgebiet bietet ein gutes Beispiel für eine flach reliefierte Wasserscheidenlandschaft. Als nordbayerische Parallele mag der Nordteil der Hollfelder Mulde gelten, die in der Nördlichen Frankenalb zwischen Main und Pegnitz liegt.

Schwach geböschte Agrarflächen kennzeichnen auch den Naab-Vils-Bereich mit Weidener Bucht und Bodenwöhrer Senke sowie das fränkische Keupergebiet und die Gäugebiete etwa im Raum Ochenfurt-Uffenheim. In die Alb ist die ebenfalls sehr schwach reliefierte Rieslandschaft eingesenkt. Flach geböschte landwirtschaftliche Fluren kennzeichnen auch die Südliche Frankenalb, die überwiegend dem Relieftyp Flächenalb zugeordnet wird. In der Kuppenalb der Mittleren und Nördlichen Frankenalb werden demgegenüber auch stärker geneigte Flächen landbaulich bewirtschaftet. Deutlich hebt sich der Donaudurchbruch bei Kelheim als Unterbrechung des sonst breiten, flachen Donautales ab.

Bis auf Teilbereiche der Nördlichen Fränkischen Platten (um Rodach) und die Selb-Wunsiedler Bucht zeichnen sich die nördlichen und nordöstlichen Mittelgebirgsregionen Bayerns durch größere Hangneigungen auf landwirtschaftlichen Flächen aus. Dies gilt z. T. auch für die stark zertalten Tributärsäume längs der großen Sohlentäler des Tertiärhügellandes. Dazu zählen besonders die nördlichen Tributärsäume von Inn, Isar und Donau, aber auch die Isener Altmoräne und die Gebiete um Griesbach, Mengkofen, Pilsting und Mainburg.



ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER HANGNEIGUNGSKLASSEN
LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986

Legende:

HANGNEIGUNGSKLASSEN

- 0 + 0.5
- 1 + 1.5
- 2 + 2.5
- 3 + 3.5
- 4 + 4.5
- ≥ 5.0

Maßstab:

1 : 2 000 000

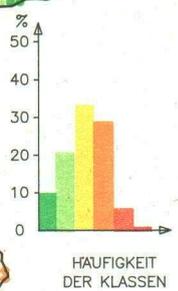
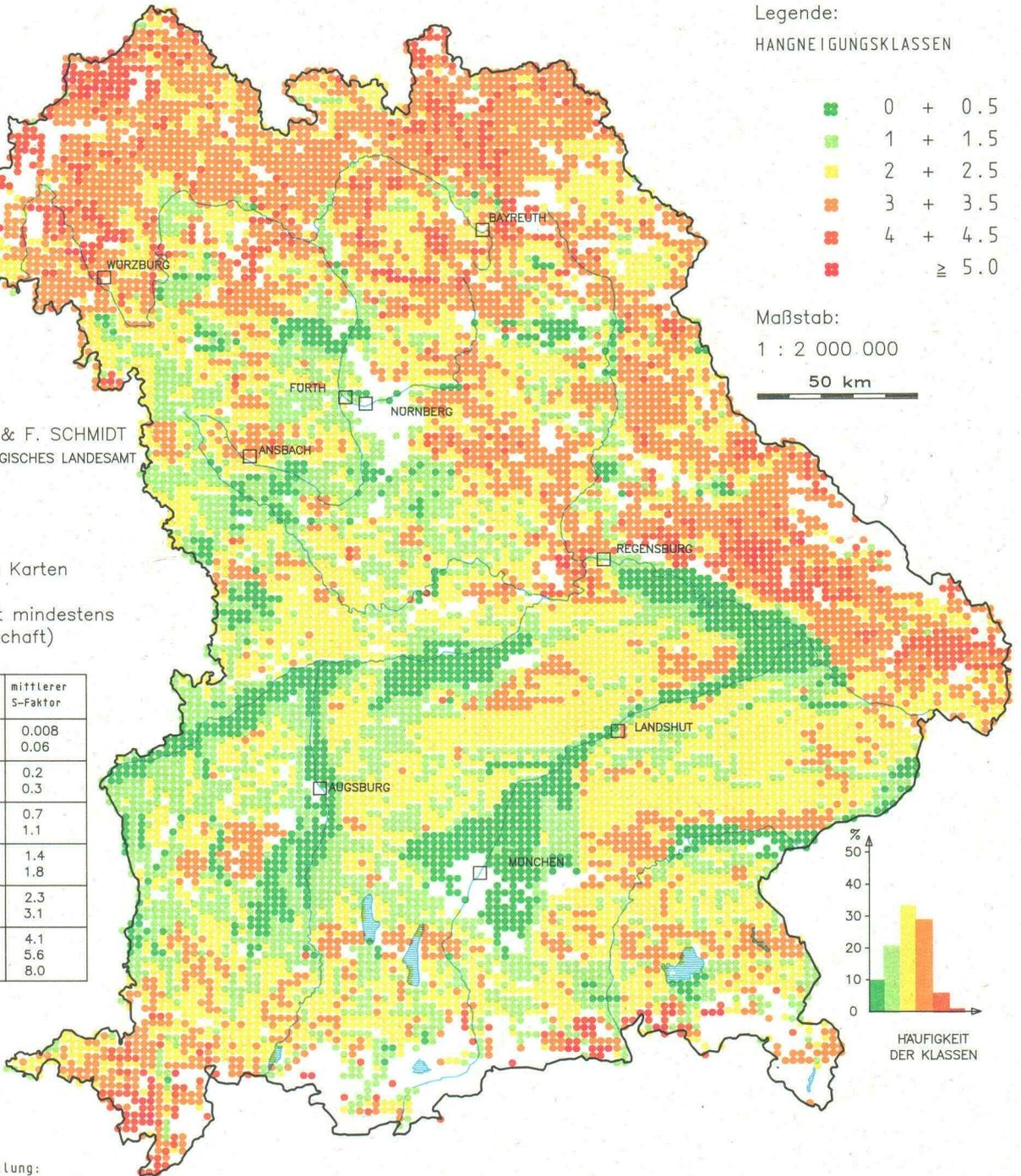
50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
Topographische Karten
1 : 25 000
(nur Raster mit mindestens
10 % Landwirtschaft)

Klasse	mittlere Neigung(%)	mittlerer S-Faktor
0 0.5	0.4 1.4	0.008 0.06
1 1.5	3 4	0.2 0.3
2 2.5	6 9	0.7 1.1
3 3.5	11 13	1.4 1.8
4 4.5	16 19	2.3 3.1
5 5.5	23 29	4.1 5.6
6	36	8.0



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

3.4 Hangneigung und Hangneigungseinfluß nichtlandwirtschaftlicher Flächen

Gegenüber der vorhergehenden Karte der landwirtschaftlichen Flächen fallen nicht mehr die breiten Täler der alpinen Flüsse und der Donau ins Auge. Da nur Raster mit mindestens 10 % nichtlandwirtschaftlicher Nutzung wiedergegen sind, bilden nur noch die flußnahen Auwälder einen schmalen Saum entlang dieser Flüsse. Auf Grund der vorzüglichen landwirtschaftlichen Eignung dieser Täler sind sie ansonsten weitgehend waldfrei. Erst auf den steilen Talflanken stockt wieder Wald.

Die Häufigkeitsverteilung ist deutlich zu den größeren Hangneigungen hin verschoben. Während im Alpenraum eine sehr große Differenzierung in der Hangneigung der landwirtschaftlichen einerseits, und der nichtlandwirtschaftlichen Flächen andererseits, zu beobachten ist, unterscheiden sich die beiden nutzungstypischen Hangneigungsklassen in den Mittelgebirgen weniger stark. Dies wird besonders deutlich im Bayerischen Wald, im Spessart und der Rhön, teilweise im Frankenwald. Weniger ausgeprägt sind diese Zusammenhänge in der Nördlichen Fränkischen Alb, am Steigerwaldrand und in der Schwäbisch-Bayerischen Jungmoränenlandschaft. Eine einzige, gebietstypische Hangneigung vermag nicht, diese landschaftsspezifischen, nutzungsrelevanten Unterschiede herauszuarbeiten. Sie würde daher den Fehler in der Erosionsprognose wesentlich vergrößern. Der erhöhte Aufwand bei der Datenerfassung mit jeweils einer Neigungsklasse für landwirtschaftliche Flächen und für nichtlandwirtschaftliche Flächen pro Rasterfläche ist daher gerechtfertigt.

Die nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen weisen im Mittel eine doppelt so große Hangneigung auf wie die landwirtschaftlichen Flächen (Tab. 6.2 d). Die Steilheit des Geländes begrenzt häufig die landwirtschaftliche Nutzung wegen der Schwierigkeiten im Maschineneinsatz. Allerdings treten auch Fälle auf, in denen die Landwirtschaft die stärker geneigten Teilstücke bevorzugt, während die flacheren waldbaulich genutzt werden. Dies war bei 357 Rastern (= 2,7 %) der Fall. Dies ist nicht so sehr an Landschaftseinheiten gebunden, sondern vor allem an das mehr oder weniger flächenhafte Auftreten von Böden mit Wasserüberschuß.

Von den 69 standortkundlichen Landschaftseinheiten 1. Ordnung (WITTMANN, 1983) trat dieser Fall bei 50 Einheiten (72 %) auf mindestens einer Rasterfläche auf, allerdings nur bei 8 Einheiten (12 %) mit mehr als 10 Rasterflächen. Absolut die meisten dieser Raster liegen auf den Südlichen Fränkischen Platten (15,4 %) und in der Oberbayerischen Jungmoräne (16,8 %). Innerhalb der Landschaftseinheiten wiesen relativ den größten Anteil an diesen Flächen das Oberpfälzer Becken- und Hügelland (8,9 % der Fläche), das Keuperbecken und die Keuperabdachung (8,5 %) und die Allgäuer Jungmoräne (7,0 %) auf. Allerdings erreicht das Phänomen der vertauschten Nutzung im Keuperbecken und im Deckenschottergebiet nicht die flächenhafte Bedeutung, die der Anteil der Staunässeböden in diesen Landschaften erwarten ließe.

Die Hangneigung der landwirtschaftlichen Flächen lag im Mittel dieser Raster um 3,3 Hangneigungsprozent höher als die der nichtlandwirtschaftlichen Flächen.

Die mittlere Hangneigung landwirtschaftlicher Flächen beträgt im Durchschnitt der Rasterflächen 7,5 %. Die Hangneigungsdifferenz führte im Mittel zu einem um 0,5 höheren S-Faktor auf den landwirtschaftlichen Flächen.

Sofern nicht althergebrachte Besitzverhältnisse die landwirtschaftliche Nutzung der steileren Teilstücke erklären, dürfte, wie bereits angedeutet, die Mehrzahl der Fälle auf den Wasserhaushalt dieser Standorte zurückzuführen sein. Eine Ausnahme hiervon sind die Fränkischen Platten, auf denen die Steillagen wegen des für den Weinanbau vorteilhaften Wärmehaushaltes landwirtschaftlich genutzt werden. Im Keuperbecken und auf der Keuperabdachung eignen sich flach geneigte Geländeteile wegen der Verlehmung von Altflächenresten oder wegen anstehender Tonschichten z. T. weniger für eine landwirtschaftliche Nutzung als die sandigen Hänge. In der Allgäuer und Oberbayerischen Jungmoräne sind wegen der hohen Niederschläge leicht hängige Lagen vom Wasser- und Wärmehaushalt her manchmal etwas günstiger zu bewerten. Viele der sehr flachen Standorte liegen häufig auf Hoch- oder Übergangsmooren, Seetonen oder anderen Vernässungsflächen. Sie werden oft überhaupt nicht oder nur waldbaulich genutzt.

Die nichtlandwirtschaftlichen Flächen belegen zu einem ebenso hohen Prozentsatz die niedrigste Hangneigungsklasse wie die landwirtschaftlichen Flächen (Tab. 6.2 d). Dies deutet ebenfalls darauf hin, daß die extrem flachen Gebiete häufig eine ungünstige Wasserversorgung aufweisen und daher oft waldbaulich genutzt werden. Im mittleren Hangneigungsbereich überwiegen die landwirtschaftlichen Flächen und erst ab Hangneigungsklasse 3,5 (= 13 %) dominiert der Anteil der nichtlandwirtschaftlich genutzten Areale. Dies deutet darauf hin, daß erst ab dieser Hangneigung das Gefälle als Einschränkung für die landwirtschaftliche Bewirtschaftung gesehen wird. Die gleichen Schlußfolgerungen sind aus der Beziehung zwischen Hangneigung und Hanglänge zu ziehen (vgl. Kap. 3.5). Erst ab Neigungsklasse 4,5 nehmen die durch die Schlageinteilung gegebenen Hanglängen stark ab, was auf Nutzungsbehinderungen hindeutet. Diese Beobachtungen stimmen mit den dem Agrarleitplan zugrunde liegenden Überlegungen überein. Der Agrarleitplan faßt alle Hangneigungen unter 12 % zusammen, sieht also keinen neigungsbedingten Unterschied bei Flächen innerhalb dieser Spanne hinsichtlich ihrer landwirtschaftlichen Eignung.

Die Nutzungsverteilung, die Hanglängenverteilung und die Einteilung des Agrarleitplanes sind offensichtlich überwiegend auf landtechnische und arbeitswirtschaftliche Überlegungen zurückzuführen, denn unter Berücksichtigung der Erosion müßte hier stark differenziert werden. Bei Hangneigungen von 10 % werden die tolerierbaren Bodenabträge bereits häufig überschritten. Eine Bewirtschaftung dieser Flächen muß daher Nutzungsbeschränkungen, teure Erosionsschutzmaßnahmen oder einen langfristigen Verlust an Bodenproduktivität in Kauf nehmen. Damit sind aber auch betriebswirtschaftlich die unterschiedlich geneigten Flächen unterhalb von 12 % nicht gleichzusetzen.

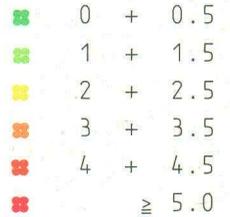
ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER HANGNEIGUNGSKLASSEN NICHT LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986

Legende:

HANGNEIGUNGSKLASSEN



Maßstab:

1 : 2 000 000

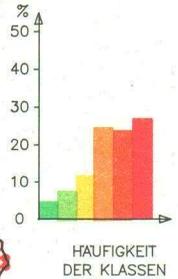
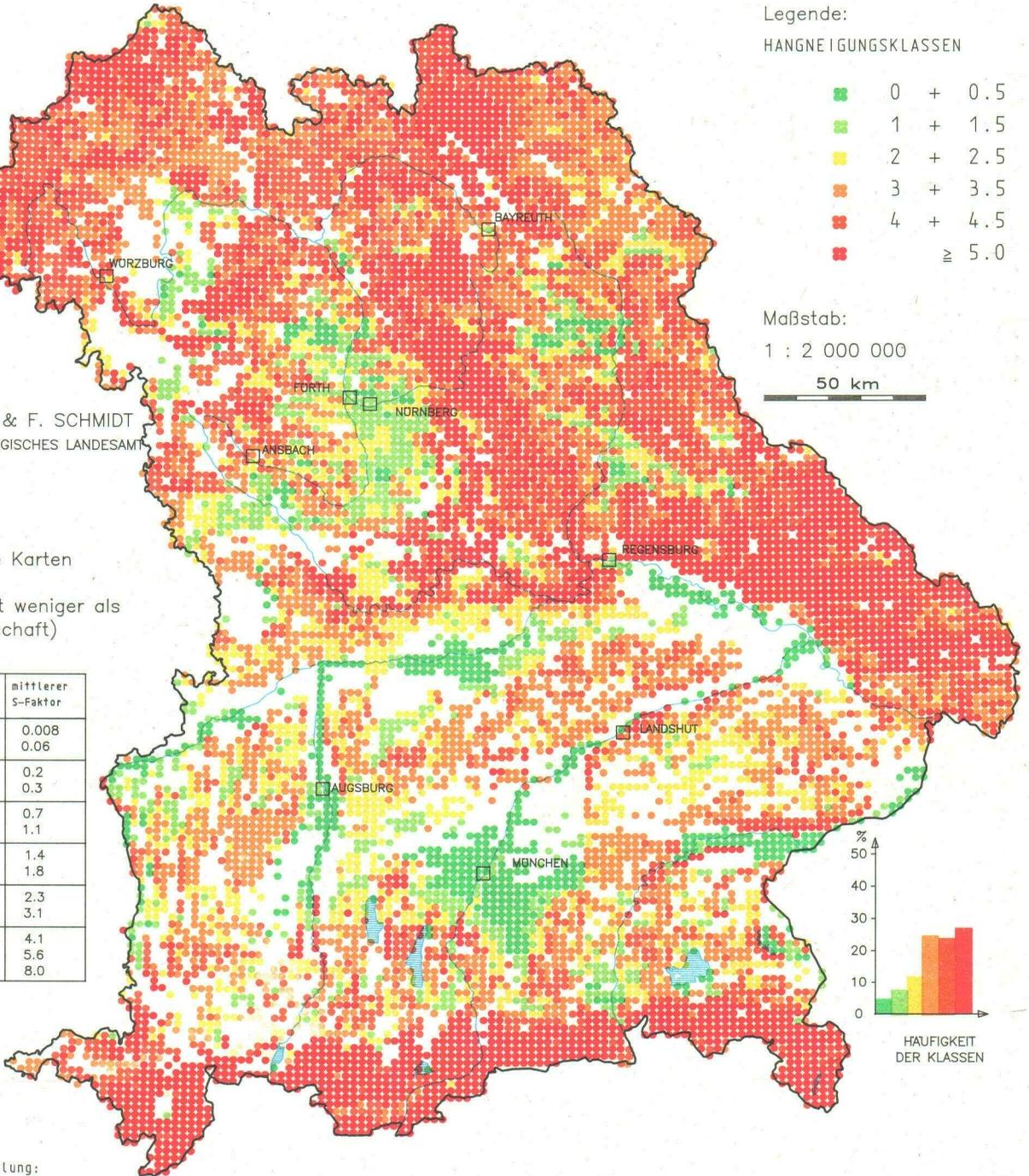
50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heißstr. 128
8000 München, 40

Datengrundlage:
Topographische Karten
1 : 25 000
(nur Raster mit weniger als
90 % Landwirtschaft)

Klasse	mittlere Neigung(%)	mittlerer S-Faktor
0	0.4	0.008
0.5	1.4	0.06
1	3	0.2
1.5	4	0.3
2	6	0.7
2.5	9	1.1
3	11	1.4
3.5	13	1.8
4	16	2.3
4.5	19	3.1
5	23	4.1
5.5	29	5.6
6	36	8.0



Graphische Darstellung:
A. Mebli, GLA

3.5 Gebietstypische Hanglänge

Einführung: Von der Kuppe eines Hanges bis zum Hangfuß sammelt sich zunehmend Oberflächenabfluß an. In der Regel steigen damit auch die Turbulenzen. Dies führt zu einer Zunahme der ablösenden Scherkräfte des Abflusses. Außerdem erhöht sich die Transportkapazität des Wassers für Feinmaterial, das von den auftreffenden Regentropfen abgelöst wurde. Da die Zunahme des Oberflächenabflusses sich also auf zwei Arten auswirkt, kommt es zu einem starken Anstieg des Bodenabtrages. SINGER et al. (1981) konnten mit künstlichem Starkregen zeigen, daß durch einen Niederschlag von 50 mm/h, bei dem zusätzlich aus dem Oberhang Wasser zufließt, 2,3 mal mehr Boden erodierte, als Boden durch den zusätzlichen Abfluß ohne Regen und durch Regen ohne zusätzlichen Abfluß zusammen abgetragen werden.

Die durch die natürliche Hanglänge vorgegebene Fließstrecke kann der Mensch verkürzen, indem er den Hang quer zum Gefälle teilt. Dies geschieht z. B. durch Felddrainage oder durch Gürtelwege. Dadurch wird verhindert, daß am Unterhang sehr hohe Abflußvolumen auftreten. Diese Zusammenhänge sind längst bekannt. Bereits 1900 wurde davor gewarnt, im Zuge der Flurbereinigung, die damals noch keine 25 Jahre alt war, Terrassen und Hecken zu beseitigen. Dies war als Ursache verstärkter Bodenerosion erkannt worden (HAZARD, 1900; zitiert nach MÜCKENHAUSEN, 1950).

Als Faustregel gilt, daß durch Halbierung der Hanglänge der Bodenabtrag der beiden Hälften zusammen nur 70 % des Bodenabtrages des ursprünglichen Hanges erreicht. Modellhaft für einen Hang berechnete dies VOGL (1984).

Die (geteilte) Hanglänge wird „erosionswirksame Hanglänge“ oder „Schlaglänge in Gefällerrichtung“ genannt, um sie von der natürlichen Hanglänge zu unterscheiden. In der Übersichtskarte wie auch im folgenden Text wird sie der Einfachheit halber statt „erosionswirksame Hanglänge“ nur Hanglänge genannt. Die genaue Definition nach WISCHMEIER & SMITH (1978) besagt, daß sie dort beginnt, wo der erste Oberflächenabfluß auftritt und da endet, wo der Abfluß entweder einen konzentrierten Strom bildet, in einen Vorfluter geleitet wird oder Sedimentation stattfindet.

Interpretation: Lange Hanglängen sind besonders von seiten der Landtechnik erwünscht. Sie sind vor allem in Gebieten mit geringem Relief verbreitet, während in Gebieten mit stärkerem Relief kürzere Hanglängen überwiegen. Flache Gebiete sind vor allem die Gäugebiete und die breiten Täler der Alpenflüsse. In diesen ackerbaulich begünstigten und daher intensiv genutzten Landschaften waren sowohl die technologischen wie auch die finanziellen und traditionsbedingten Voraussetzungen günstig für eine Flurstückvergrößerung. In diesen Arealen wurden daher schon sehr früh, z. T. auf privater Basis, Flächen zu größeren Flurstücken zusammengelegt.

In den hügeligeren Bereichen mit ungünstigen Produktionsvoraussetzungen, ärmeren Bauern und Realerteilung sind dagegen die Hanglängen wesentlich kürzer. Dieser Zusammenhang zwischen schrumpfender Hanglänge bei anwachsender Hangneigung be-

legt Abb. 3.5. Nur in praktisch ebenen Lagen, die häufig durch Wasserüberschuß gekennzeichnet sind (Flußauen, Moore), nimmt die Flurstücksgröße wieder ab. Da Flächen geringer Hangneigung bei günstigen Wasser-Verhältnissen hervorragende landwirtschaftliche Flächen darstellen, bei ungünstigen Wasser-Verhältnissen, d. h. Wasserüberschuß, aber schwer zu bewirtschaftende Standorte sind, ist die Streubreite der vorkommenden Hanglängen bei geringen Hangneigungen sehr groß. Mit zunehmender Hangneigung wird immer mehr die Bewirtschaftung in kleinen Flurstücken notwendig. Daher nimmt mit zunehmender Hangneigung neben der Hanglänge auch die Streubreite der vorkommenden Hanglängen ab.

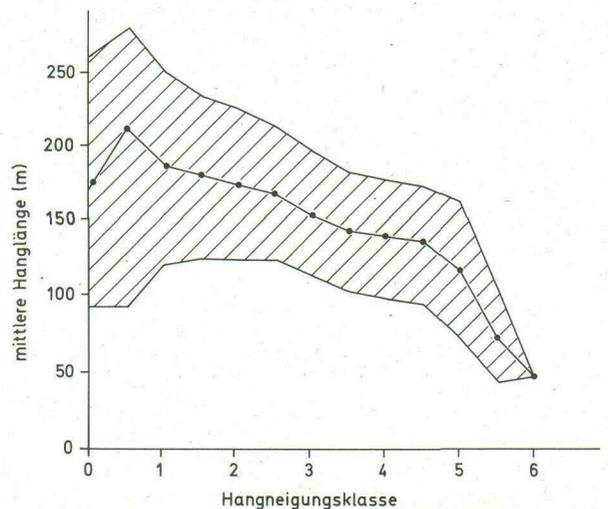


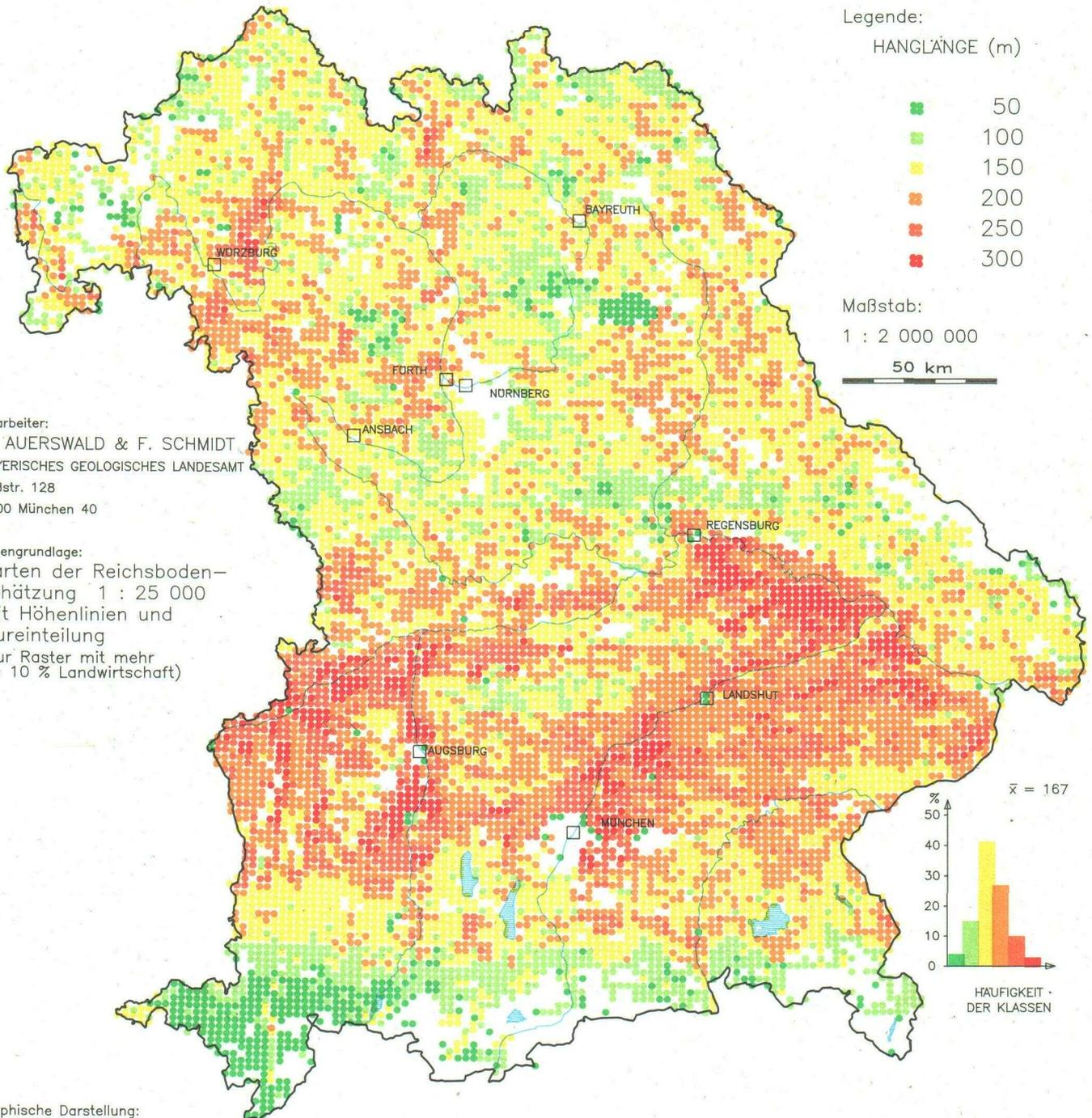
Abb. 3.5 Zusammenhang zwischen Hangneigung und erosionswirksamer Hanglänge (Mittelwert \pm Standardabweichung; Einteilung der Hangneigungsklassen s. Kap. 3.4).



ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER HANGLÄNGENKLASSEN
VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986



3.6 Erosionswirksamkeit der Hanglänge

Einführung: Der Einfluß der Hanglänge auf den Bodenabtrag, also die Erosionswirksamkeit der Hanglänge, wird im L-Faktor ausgedrückt. Der L-Faktor gibt an, um wieviel der Abtrag eines beliebig langen Feldes sich vom Abtrag eines 22 m langen Feldes unter sonst gleichen Bedingungen unterscheidet. Der L-Faktor ist daher eine dimensionslose Relativzahl.

Der Einfluß der Hanglänge auf den Bodenabtrag hängt auch von der Hangneigung ab: Bei einem Gefälle über 5 % steigt die Erosionswirksamkeit mit der Wurzel der Hanglänge; in flacherem Gelände wirkt sich die Vergrößerung der Schläge geringer aus (vgl. Kap. 6.3). Der Grund liegt darin, daß bei flacheren Hängen die Abfluggeschwindigkeit und damit die Ablöse- und Transportkapazität hangabwärts in geringerem Maße wächst. Dies kann sogar dazu führen, daß sich wegen der langsamen Abfluggeschwindigkeit auf der gesamten Bodenoberfläche ein dicker Wasserfilm bildet, der in der Lage ist, den Boden vor der zerschlagenden Wirkung der Regentropfen zu schützen. Diese Schutzfunktion tritt auf, wenn der Wasserfilm dicker als der doppelte Regentropfendurchmesser ist. (MOSS & GREEN, 1983), also ab 4–5 mm. Da die Infiltration und damit die Ausbildung eines Wasserfilmes auf der Oberfläche unter anderem von der Bodenart und -struktur abhängt, kann die Hanglängenwirkung auch durch diese Parameter beeinflusst werden (WISCHMEIER & SMITH, 1965).

Interpretation: Die L-Faktor-Karte zeigt ein viel einheitlicheres Kartenbild als die Karte der erosionswirksamen Hanglänge. Über 50 % der L-Faktorwerte liegen in der Klasse 2.1–2.5. Dies hat zwei Ursachen. Zum einen geht die Hanglänge in den L-Faktor nur mit ihrer Wurzel ein. Dadurch wird die Variabilität erheblich vermindert. Während die niedrigste und die höchste Hanglängensklasse um den Faktor 6 auseinander liegen, unterscheiden sich die niedrigste und die höchste L-Faktor-Klasse nur noch um den Faktor 3. Der 2. Grund liegt darin, daß der L-Faktor, also die Erosionswirksamkeit der Hanglänge, neben der Hanglänge selbst auch noch von der Steilheit des Hanges abhängt. Da die größten Hanglängen überwiegend in Gebieten mit extrem geringen Hangneigungen (breite Sohlentäler der großen Alpenvorlandsflüsse, Gäulandschaften) auftreten (vgl. Erläuterungen zur vorhergehenden Karte der Hanglängen), wirken sie weniger erosionsfördernd als eine mittlere Hanglänge bei Hangneigungen über 5 %. Dieser Effekt, daß ein erheblicher Anteil der Klassen großer Hanglängen in den L-Klassen verschoben wird zu den kleineren Werten, kann aus der Überlagerung der beiden Häufigkeitsverteilungen abgelesen werden (Abb. 3.6). Dies führt dazu, daß mit die geringsten L-Faktoren in der Ingolstädter Donauaue und im Dungau auftreten, obwohl in diesen Gebieten weit überdurchschnittliche Schlaggrößen vorherrschen. Im benachbarten Bayerischen Wald wirken sich demgegenüber die kürzeren Hanglängen stärker erosionsfördernd aus.

Auch in den löblehmreichen östlichen Teilen des Terärhügellandes, die an den Dungau angrenzen, treten große Hanglängen auf. Da hier aber die Hangneigungen häufig über 5 % liegen, führt dies zu sehr großen L-Faktoren in diesen Gebieten.

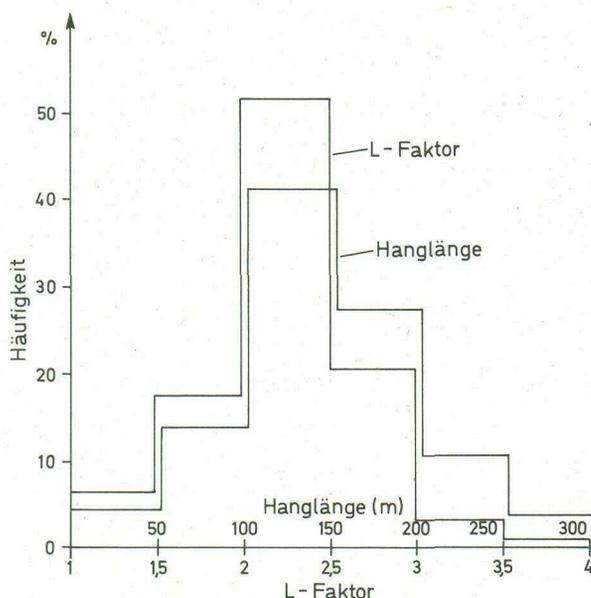


Abb. 3.6: Vergleich der Häufigkeitsverteilungen der Hanglänge und der Erosionswirksamkeit der Hanglänge (L-Faktor)

Im Mairdreieck und in den main- und taubernahen Bereichen des Ochsenfurter Gäus bedingt die starke Eintiefung der beiden Flüsse im Tributärsaum Hangneigungen über 5 %. Daher führen auch hier die für Lößgebiete typischen, großen Hanglängen zu hohen L-Faktoren.

Unterdurchschnittliche L-Faktoren liegen in den Landschaften Untermainebene, Ries, südliche Keuperabdachung, Donautal mit Niederterrasse, Donauried und Donaumoos, Lech-Wertach-Tal, Isartal und Münchner Schotterebene und im Inntal mit der Pockinger Heide vor.

Ausblick: Der Umstand, daß die Erosionswirksamkeit der Hanglänge auch von der Hangneigung abhängt, ist von großer Bedeutung für die Landesplanung, insbesondere für die Flurbereinigung. Auf Grund dieser Wechselwirkung zwischen Hanglänge und Hangneigung kann bei geringer Hangneigung, unabhängig vom Hangneigungseinfluß, die Hanglänge wesentlich stärker vergrößert werden, als bei Hangneigungen über 5 %, wenn man in beiden Fällen eine gleich große Erhöhung der Erosionsgefahr zuläßt (Tab. 3.6).

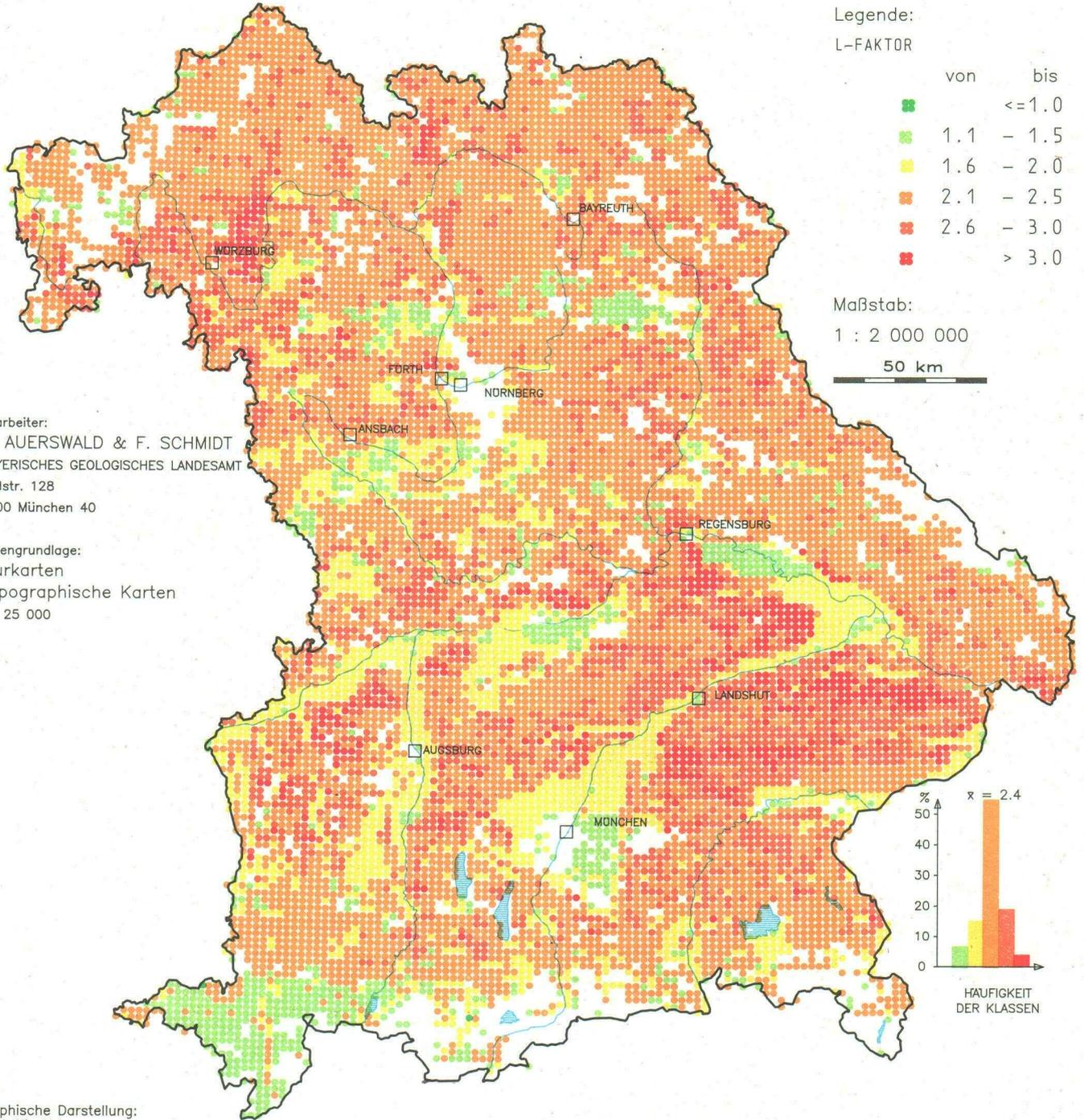
Tab. 3.6: Einfluß der Hangneigung auf die Erosionswirksamkeit der Hanglänge

Hangneigung (%)	ein L-Faktor von 2 wird erreicht bei Hanglängen von (m)	eine Erhöhung der Erosion um 50 % wird verursacht durch eine Hanglängenvergrößerung um den Faktor
< 0,5	2 245	14,9
0,5–1	707	7,6
1–3	223	3,9
3–5	125	2,7
> 5	88	2,2

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DES HANGLÄNGENEINFLUSSES

MÜNCHEN 1986



3.7 Einfluß der Fruchtfolge

Einführung: Jeder Pflanzenbewuchs schützt den Boden vor der erosiven Wirkung des Regens. Die verschiedenen Kulturpflanzen haben eine unterschiedlich erosionsmindernde Wirkung. Klee gras stellt von den Ackerkulturen den besten Erosionsschutz dar, da es den Boden lange bedeckt (überjährige bis mehrjährige Nutzung), die Bedeckung sehr dicht ist und der Boden intensiv durchwurzelt wird. Ebenfalls einen guten Erosionsschutz bieten die Getreidearten. Ungünstig sind dagegen Hackfrüchte, insbesondere Mais, da sie von Mai bis Juni den Boden nur wenig bedecken. In dieser Zeit treten aber wegen der „Schafskälte“, dem europäischen Monsun, starke erosive Niederschläge häufig auf (HÄCKEL & WINKLER, 1985).

Interpretation: Diese unterschiedliche erosionshemmende Wirkung wird im C-Faktor ausgedrückt. Er ist eine dimensionslose Relativzahl und gibt an, um wieviel sich der Bodenabtrag durch eine bestimmte Fruchtfolge reduzieren läßt gegenüber dem Abtrag von langjährig völlig unbewachsenen Flächen, die im Bearbeitungszustand eines Saatbettes vorliegen.

Während die einzelnen Feldfrüchte wie Getreide und Mais noch um den Faktor 5 in ihrer Erosionsneigung auseinander liegen (vgl. Kap. 6), unterscheiden sich die langjährigen Fruchtfolgen im C-Faktor nur noch um den Faktor 2. Die Faktoren der bayerischen Gemeinden liegen praktisch alle im Bereich 0,13 bis 0,26. Von den verschiedenen erosionswirksamen Faktoren führt daher der Fruchtfolgefaktor neben der Regenerosität zu der geringsten Differenzierung. Zum Vergleich: während die Extrema der Fruchtfolgen sich um den Faktor 2 unterscheiden, treten in der Erosionswirkung der Hangneigungen Unterschiede um den Faktor 1 000 auf.

Die geringen Unterschiede sind darauf zurückzuführen, daß in ganz Bayern vorherrschend Fruchtfolgen mit einem Hackfruchtanteil von 30–50 % vorkommen. Niedrigere Hackfruchtanteile und damit geringere C-Faktoren treten vor allem in Nordbayern auf. Dort werden wegen der geringeren Niederschläge, z. B. auf den Nördlichen Fränkischen Platten, oder wegen der ungünstigen Erzeugungsbedingungen (Rhön, Frankenwald, Fichtelgebirge) getreidereiche Fruchtfolgen bevorzugt. Auf dem Jurabogen kommen neben überdurchschnittlichen Getreideanteilen auch noch überdurchschnittliche Anteile an Klee, Klee gras und Luzerne vor, was zu niedrigeren C-Faktoren führt.

Ungünstig im Hinblick auf die Erosion ist das Fruchtartenspektrum in Gebieten, in denen Hopfen angebaut wird. Deutlich heben sich die Hopfenanbauschwerpunkte hervor: die Hallertau und die Gebiete um Spalt und Hersbruck. Die ungünstige Wirkung des Hopfens wird noch dadurch verstärkt, daß er in der Regel über mindestens 15 Jahre auf einem Feld angebaut wird. Dadurch kann dieser „Hopfengarten“ besonders stark durch Bodenverluste geschädigt werden. Auf den benachbarten Feldern unter normaler Ackerkultur ist dagegen die Erosion vergleichsweise gering. Hier werden extrem getreidereiche Fruchtfolgen bevorzugt, die arbeitswirtschaftlich eine bessere Ergänzung zum Hopfen darstellen als hackfruchtreiche. Da in der Übersichtskarte nur die mittlere Wirkung des Fruchtarten-

spektrums dargestellt werden kann, werden in den Hopfenanbaugebieten diese extremen Unterschiede zwischen sehr erosionsfördernden und erosionsmindernden Bewirtschaftungsweisen nicht deutlich.

Weitere Schwerpunkte mit erosionsfördernden Fruchtfolgen findet man in den Zentren des intensiven Ackerbaus, so z. B. im niederbayerischen Gäuboden und auf der Münchener Schotterebene mit dem Erdinger Moos. Bemerkenswert ist weiterhin, daß im Bereich des Rottales, das wegen der sehr hohen Maisanteile in den Fruchtfolgen häufig als Negativ-Beispiel genannt wird, die mittleren C-Faktoren nur wenig über dem bayerischen Durchschnitt liegen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß in den betreffenden Gemeinden neben hohen Maisanteilen auch der Anteil an Klee, Klee gras und Luzerne überdurchschnittlich hoch ist. Dadurch wird die ungünstige Wirkung der hohen Maisanteile rechnerisch ausgeglichen.

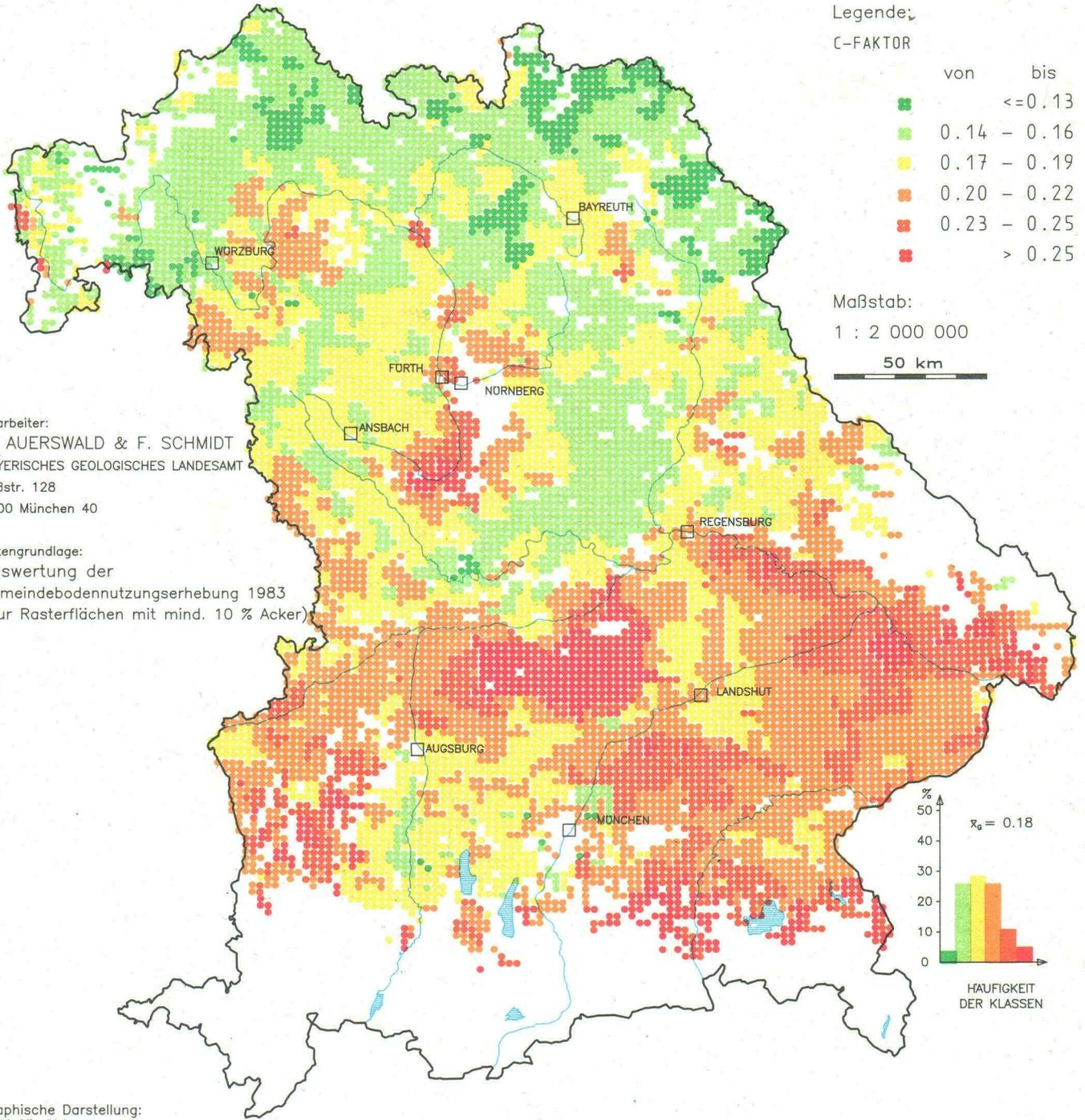
Hohe C-Faktoren treten weiterhin im Alpenvorland auf, wo Silomais eine wichtige Ergänzung der Futterbasis darstellt. Wegen der für den Ackerbau weniger günstigen Erzeugungsbedingungen ist der Getreideanteil vergleichsweise gering. Dies gilt besonders für das Moränengebiet des Inngletschers. Durch den günstigen Einfluß des Innerts auf das Klima in diesem Gebiet kann der wärmebedürftige Mais hier gut kultiviert werden.

Ähnlich wie im Gebiet der Jungmoräne sind die Verhältnisse im Vorderen Bayerischen Wald. Besonders im Passauer Vorwald mit seinen etwas besseren Böden und dem günstigeren Klima findet man häufig erosionsfördernde Fruchtfolgen. Für dieses Gebiet, das von seinen natürlichen Erzeugungsbedingungen her keinen bevorzugten Maisstandort darstellt, wird der Mais auf Grund der soziologisch-wirtschaftlichen Bedingungen bevorzugt. Der hohe Anteil an Nebenerwerbslandwirten, die als Fernpendler nur im Urlaub und an den Wochenenden die Feldbewirtschaftung durchführen können, ist auf den Anbau von Kulturen angewiesen, die wenig Pflege bedürfen und deren Ernte nicht wie die Heuwerbung mit einem hohen Wetterrisiko behaftet sind.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DES FRUCHTFOLGEEINFLUSSES AUF
DIE EROSION VON ACKERSTANDORTEN

MÜNCHEN 1986



3.8 Bodenverluste durch den Schmutzanhang von Zuckerrüben

Einführung: Dem Zuckerrübenkörper haftet nach der Ernte noch Boden an. Dieser „Schmutzanteil“ stellt ebenso wie die Erosion durch Regen einen flächenhaften Bodenverlust dar, da dieser Schmutzanteil den Flächen nicht wieder zugeführt wird. Phytosanitäre Probleme, besonders die Verschleppung von Rübenmaitoden von infizierten Flächen auf noch nematodenfreie, sind der Grund, warum der bei der Zuckerrübenreinigung anfallende Schlamm auf Deponien gelagert und nicht wieder auf den Feldern ausgebracht wird.

Es handelt sich also um anthropogen verursachte Bodenverluste, die unabhängig sind von den natürlichen erosionsbestimmenden Faktoren wie Regen oder Hangneigung. Aus diesem Grund sind diese Verluste auch am leichtesten durch Maßnahmen des Landwirts zu verringern. Die in den letzten Jahren zunehmend eingeführte Praxis, die Zuckerrüben nach der Ernte auf dem Feld zwischenzulagern und erst später zur Zuckerrübenfabrik zu transportieren, hat bereits zu einer deutlichen Verringerung der angelieferten Bodenmengen geführt. Mußte man vor wenigen Jahren, besonders bei ungünstiger Witterung während der Ernte, noch mit Bodenverlusten von 15 t je ha rechnen (MAIER & SCHWERTMANN, 1981), so sanken durch die Zwischenlagerung, bei der die Rüben abtrocknen und der anhaftende Boden abfallen kann, die bei den Zuckerrübenfabriken angelieferten Bodenmengen auf 7–9 t/ha. Allerdings kommt es immer noch zu einer Bodenverlagerung innerhalb des Feldes, wenn auch nicht zu einem Verlust in der ursprünglichen Höhe von 15 t/ha. Im Bereich der Rübenmiete wird der Boden akkumuliert, es entsteht ein künstliches „Kolluvium“. Aus der Sicht des Bodenschutzes wäre es daher wünschenswert, wenn die Trennung von Rüben und Boden bereits während des Erntevorganges verbessert würde und wenn durch wechselnde Rübenmietenplätze oder andere Maßnahmen der abfallende Boden wieder gleichmäßig auf dem Feld verteilt würde.

Interpretation: Die Bodenverluste durch den Schmutzanhang liegen im Mittel aller bayerischen Ackerflächen mit 0,16 t/ha · a so niedrig, daß sie praktisch vernachlässigt werden könnten, im Mittel zuckerrübenreicher Gemeinden können die Verluste je ha Ackerfläche aber auf über 2 t/ha · a steigen. Dieser Verlust, der in Fruchtfolgen mit über 25 % Zuckerrübenanteil auftritt, betrifft die ackerbaulich besten Böden. Zuckerrübenanbauggebiete zeichnen sich durch eine sehr geringe natürliche Erosionsdisposition aus. Nur der K-Faktor ist bei den für die zur Rübenproduktion bevorzugten schluffreichen Lößböden hoch: Im Mittel der Raster mit mehr als 20 % Zuckerrüben in der Fruchtfolge betrug der K-Faktor 0,505 (s = 0,114, n = 243). Die übrigen erosionsbestimmenden Faktoren haben niedrige Werte. Dies gilt besonders für den Hangneigungsfaktor S (mittlere Hangneigungsklasse: 1), da Rüben überwiegend auf fast ebenen Flächen angebaut werden. Wegen der daraus resultierenden geringen Erosionsdisposition dieser Anbauschwerpunkte, stellen hier die Schmutzverluste einen sehr hohen Anteil der Gesamterosion (Tab. 3.8).

Tab. 3.8: Anteil des Schmutzanhanges (in %) am Abtrag von Rastern mit mindestens 5 % Zuckerrüben an der Ackerfläche (n = 1590)

Abtrag von der	Anteil am Abtrag		
	Minimum	Mittel	Maximum
Ackerfläche	1	42	100
Landw. Fläche	1	41	100
Gesamtfläche	1	39	100

Im einzelnen lassen sich die Schwerpunkte des Rübenanbaus deutlich erkennen: der Ochsenfurter Gäu, die Gebiete um Rain am Lech und Ingolstadt und der Dungau. Die Abträge im Ochsenfurter Gäu liegen etwas niedriger. Dies läßt sich auf die etwas niedrigeren Erntemengen je ha und die infolge der etwas günstigeren Witterung während der Erntekampagne geringeren Schmutzanteile zurückführen (vgl. Kap. 6).

Die Zuckerrübenanbauschwerpunkte des Donautals um Rain, Ingolstadt und Regensburg sind durch Gebiete mit sehr geringen Rübenanteilen getrennt. Hier finden sich nicht die großen, ebenen, aus technischen Gründen für den Rübenanbau bevorzugten Flächen; sie fehlen in den Verengungen des Donautales am Nordrand der Aindlinger Terrassentreppe, bei Neuburg a. D. und am Donaudurchbruch bei Kelheim.

Ausblick: Die Lage der Anbauschwerpunkte verschiedener Feldfrüchte ist heute im wesentlichen strukturell und nur noch in geringem Maß standortkundlich bestimmt. Im Fall der Zuckerrüben werden die fabriknahen, ebenen (= leicht zu beerntenden) Standorte bevorzugt.

Der Anbau von Feldfrüchten ohne besondere technologische oder strukturelle Anforderungen ist in ganz Bayern relativ einheitlich. Typisch für die abnehmende Bedeutung von Standortseigenschaften ist die Verteilung der Klee-, Klee gras- und Luzerneflächen. Diese Feldfrüchte hatten früher eindeutige Anbauschwerpunkte auf den tiefklüftigen, sonst aber flachen Böden der Alb, auf den schweren Böden des Gipskeupers und in den trockenen Gebieten Frankens. Heute dagegen läßt sich nur noch eine geringe Differenzierung erkennen, die zudem diese naturräumlichen Grenzen nicht befriedigend nachzeichnet. Die Erhebungsdaten von 1983, die diesem Kartenwerk zugrunde liegen, zeigen eine deutlich geringere regionale Differenzierung als noch die Daten von 1979 (vgl. WÜRFL et al., 1982). Die standortstypischen Eigenheiten wurden offenbar besonders in den letzten Jahren ausgeglichen. Nicht nur für einzelne Ökosysteme, sondern auch im landesweiten Überblick ist demnach eine Abnahme der Vielfalt festzustellen.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER BODENVERLUSTE DURCH
SCHMUTZANHANG BEI ZUCKERRÜBEN

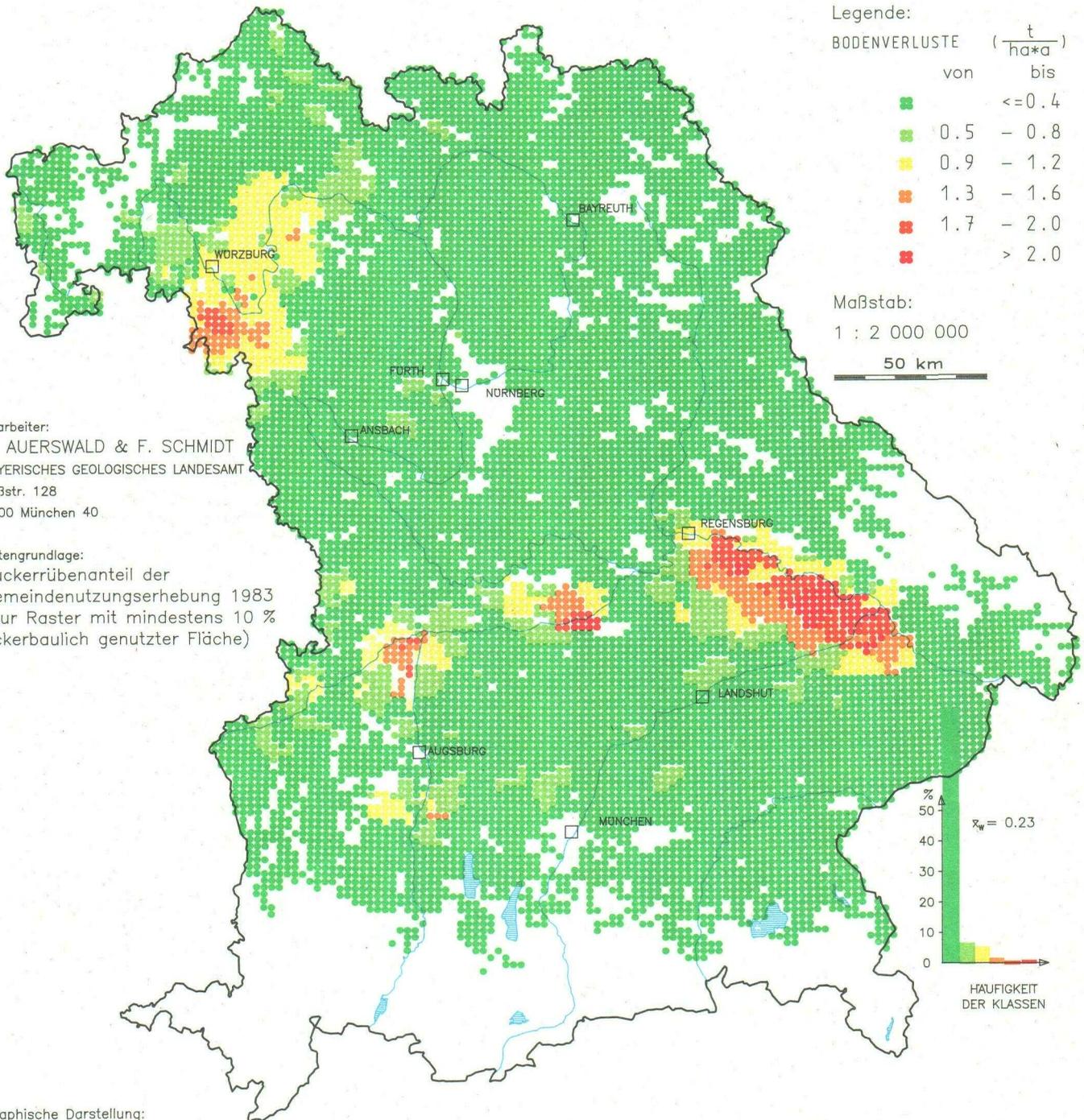
MÜNCHEN 1986

Legende:

BODENVERLUSTE		$\left(\frac{t}{ha \cdot a}\right)$
von	bis	
	<= 0.4	
	0.5 - 0.8	
	0.9 - 1.2	
	1.3 - 1.6	
	1.7 - 2.0	
	> 2.0	

Maßstab:
1 : 2 000 000

50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
Zuckerrübenanteil der
Gemeindenutzungserhebung 1983
(nur Raster mit mindestens 10 %
ackerbaulich genutzter Fläche)

Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

3.9 Anteil der Ackerfläche

Einführung: Grünland und Wald schützen den Boden sehr gut vor Abtrag. Ihre Schutzwirkung wird etwa gleich eingeschätzt (vgl. Kap. 6). Unter diesen beiden Nutzungen erreicht bei sonst gleichen Bedingungen der Bodenabtrag im Vergleich zu Ackerflächen (mittlerer C-Faktor: 0,18) nur ca. ein Fünfundvierzigstel. Die Unterschiede zwischen Grünland bzw. Wald einerseits und der Ackernutzung andererseits sind also wesentlich größer, als die Unterschiede der C-Faktoren unterschiedlicher Fruchtfolgen im Ackerbau (vgl. 3.7). Die vorliegende Karte faßt daher Grünland und Wald zusammen und stellt deren Anteil dem Ackeranteil gegenüber. Auf die Darstellung der Grünland- bzw. Ackeranteile an der landwirtschaftlichen Nutzfläche und der Waldanteile wurde verzichtet, da sie anderen Werken entnommen werden können (WÜRFL et al., 1982; DIERCKE, 1983).

„Gebiets-C-Faktor“: Da die Unterschiede im gemeindetypischen Fruchtfolgefaktor C der Ackerflächen relativ klein sind (0,13–0,26) gegenüber den Unterschieden zwischen Ackerbau ($\approx 0,18$) und Nicht-Ackerbau ($\approx 0,004$), läßt sich aus dem Ackeranteil näherungsweise ein mittlerer „Gebiets-C-Faktor“ ableiten. Diese Werte sind in Tab. 3.9 zusammengestellt. Die angegebenen Flächenanteile gelten nicht für diese Näherung, sondern für die tatsächlich berechneten „Gebiets-C-Faktoren“.

Tab. 3.9: Mittlere „Gebiets-C-Faktoren“ in Abhängigkeit vom Ackeranteil an der Gesamtfläche

Klasse	Ackeranteil (%)	„C-Faktor“	Flächenanteil %
1	≤ 5	$\leq 0,01$	17
2	6–25	0,01–0,05	25
3	26–45	0,05–0,08	21
4	46–65	0,08–0,12	21
5	66–75	0,12–0,14	6
6	> 75	$> 0,14$	10

Der „Gebiets-C-Faktor“ stellt ein rechnerisches Kunstprodukt mit beschränkter Aussagekraft dar. Er wird als Mittelwert aus einer sehr großen und einer sehr kleinen Gefährdung von nebeneinander liegenden Flächen ermittelt. Außerdem gelten diese „Gebiets-C-Faktoren“ nicht für den Alpenraum. Hier können Grünland und Wald den Boden nicht so gut schützen, da es infolge der extremen Verhältnisse durch Schneeschurf, Hangrutschungen, Blaikenbildung, Viehtritt, Überweidung (besonders bei Waldweide) und verwandte Prozesse zu einer Schädigung der ansonsten dichten, schützenden Vegetationsdecke kommt. POPP (1984) konnte zeigen, daß durch solche Prozesse ständig ca. 2 % der Bodenoberfläche vegetationsfrei sind. Diese 2 % sind gegenüber dem flächenhaften Bodenabtrag bei Regenfällen sehr schlecht geschützt (s. a. Kap. 6).

Interpretation: Wie aus Tab. 3.9 hervorgeht, sind die dunkelgrün ausgewiesenen Flächen durch die Art der Nutzung ca. 10 mal besser gegenüber den erosiven Kräften geschützt als die dunkelroten Flächen. Dunkelrot heben sich vor allem die Ackerbauswerpunkte Ochsenfurter Gäu, Ries und Straubinger Gäu ab. Diese

Gebiete (mit Einschränkungen im Ochsenfurter Gäu) haben aber wegen des extrem flachen Reliefs und der geringen Sommerniederschläge eine minimale natürliche Erosionsdisposition (s. Kap. 4.1), so daß trotzdem von einer standortangepaßten Nutzung gesprochen werden kann.

Ebenfalls hohe Ackeranteile sind wegen der landwirtschaftlich günstigen Erzeugungsbedingungen (gute Böden, Klima) im Tertiärhügelland anzutreffen. Da diese Gebiete im Gegensatz zu den Gäugebieten eine wesentlich stärker ausgeprägte natürliche Erosionsdisposition aufweisen, muß die intensive Ackernutzung hier kritisch beurteilt werden.

Geringe Ackeranteile kennzeichnen den Alpenraum und die Jungmoränen. Nur der klimatisch etwas günstigere Nordrand der Jungmoränen, und hier besonders der des Chiemseegeleitschers, wird etwas stärker ackerbaulich genutzt. In Schwaben erstreckt sich der Bereich geringer Ackernutzung von der Jungmoräne zungenförmig bis in die Altmoräne und Teile des Tertiärhügellandes („Staudenplatte“).

Ebenfalls großflächig geringe Ackeranteile finden sich im Bayerischen Wald. Hier werden besonders der Hinterere Bayerische Wald und der zentrale Vorderere Bayerische Wald kaum ackerbaulich genutzt. Etwas höhere Ackeranteile findet man in Gebieten, in denen durch geologische Störungen die harten Grundgebirgssteine zerrüttet wurden und daher bessere Böden entstehen konnten: die Pfahlzone und die Rundinger Zone. Ebenfalls klimatisch begünstigte Gebiete, die sog. Winkel, werden etwas stärker ackerbaulich genutzt: der Lamer Winkel im Norden, der Lallinger Winkel im Süden und das Ilzland.

Weitere Gebiete geringer Ackernutzung sind das sandige Keuperbecken mit dem Nürnberger Reichswald, der Spessart (hohe Waldanteile besonders im Hochspessart und im Nordspessart), die Rhön mit hohen Grünlandanteilen (60–80 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche), besonders in der Nördlichen Vorrhön, der nordöstliche Frankenswald und der zentrale Teil des Hohen Fichtelgebirges.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DES ACKERANTEILS AN DER GESAMTFLÄCHE

MÜNCHEN 1986

Legende:

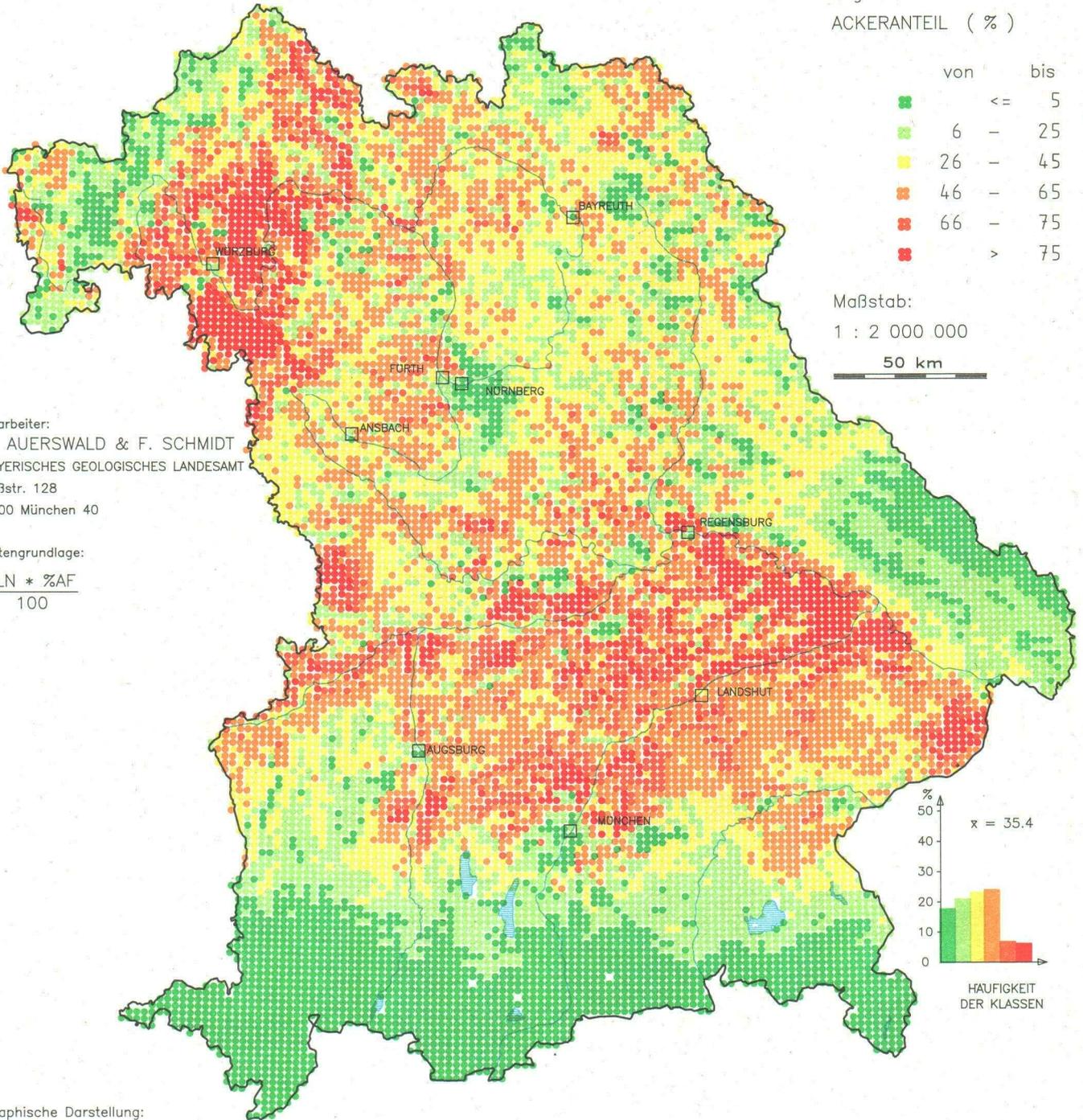
ACKERANTEIL (%)

von	bis
	<= 5
	6 - 25
	26 - 45
	46 - 65
	66 - 75
	> 75

Maßstab:

1 : 2 000 000

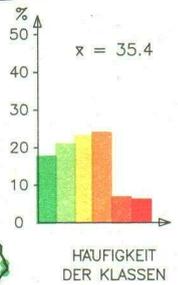
50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 12B
8000 München 40

Datengrundlage:

$$\frac{\%LN * \%AF}{100}$$



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

4. Regionale Unterschiede in der Erosionsdisposition

4.1 Natürliche Disposition auf der Gesamtfläche und auf landwirtschaftlichen Flächen

Einführung: Die natürliche Erosionsdisposition wird von drei Faktoren aufgebaut, die vom Menschen kaum beeinflussbar sind: dem Niederschlag, den Bodeneigenschaften und der Hangneigung. Sie ist somit ein Maß dafür, wie stark ein Standort durch die natürlichen Verhältnisse benachteiligt ist. Die drei Größen sind in ihrem Einfluß auf die Erosion nicht gleichrangig. Die Hangneigung ist bei weitem der dominante Parameter, während die Bodenerodierbarkeit eine Mittelstellung einnimmt und die Regenerosivität nur in geringem Umfang abtragsdifferenzierend wirkt (vgl. Kap. 3.1–3.4).

Als Dimension der natürlichen Disposition ergibt sich die gleiche Einheit wie beim Bodenabtrag: $t/ha \cdot a$. Die natürliche Disposition gibt nämlich an, wieviel Boden erodiert würde, wenn die beiden Einflußgrößen L und C gleich 1 wären. Das heißt, die natürliche Disposition gibt den zu erwartenden Abtrag bei Schwarzbrache und einer Hanglänge von 22 m an. Die gleiche Bedingung, $C \cdot L = 1$, würde auch bei einer Fruchtfolge mit 75 % Silomais und einer erosionswirksamen Hanglänge von 260 m erfüllt sein.

Bei der „natürlichen“ Erosionsdisposition handelt es sich streng genommen um eine „quasinatürliche“ Erosionsdisposition, da sie für die nicht natürliche Bedingung der Schwarzbrache gilt. Unter vollkommen natürlichen Bedingungen, d. h. auch unter Einbeziehung der natürlichen Vegetation, liegt allgemein eine sehr geringe Erosionsneigung vor.

Interpretation: Dem dominanten Einfluß der Neigung entsprechend besteht eine deutliche Ähnlichkeit zwischen den Karten des Hangneigungseinflusses und den Karten der natürlichen Erosionsdisposition. Dieser Hangneigungseinfluß wird jedoch modifiziert durch die Kombination mit den beiden anderen Faktoren. Diese drei Faktoren können sich in gewissen Grenzen ausgleichen, sie können aber regionale Unterschiede durch ihr Zusammenwirken auch betonen, wenn sie gleichsinnig wirken. Gleichsinnig heißt, daß bei allen 3 Faktoren niedrige bzw. hohe Werte zusammentreffen. Dadurch vergrößern sich die Unterschiede zwischen den Standortextremen. Während im Hangneigungseinfluß, dem dominanten Faktor, der niedrigste und der höchste Wert um den Faktor 1 000 auseinanderliegen, unterscheiden sich die Extreme der Disposition um den Faktor 4 000.

Die gleichgerichtete Kombination der Faktoren kommt relativ häufig vor. Bei den flachen Gebieten handelt es sich meist um Täler und Becken, die wegen des Regenschattens der umliegenden Höhen geringere Niederschläge und damit eine geringere Regenerosivität aufweisen. Klassisches Beispiel hierfür ist das Nördlinger Ries. Dementsprechend sind in Gebieten, in denen weiträumig große Hangneigungen auftreten, wie in den Alpen und den Mittelgebirgen, die Niederschläge und damit die R-Faktoren höher.

Nicht ganz so systematisch ist die gleichgerichtete Kombination von Hangneigung und Bodenerodierbar-

keit. Sie tritt jedoch auch auf. So kommen in breiten, ebenen Tälern häufig Schwemmsandböden vor oder in den fluffigeren Lagen Talböden mit erhöhten Gehalten an organischer Substanz oder Ton. Diese Böden sind schwer erodierbar. Häufig tritt allerdings auch ein kompensierendes Zusammenwirken mit dem K-Faktor auf. In den steilen Lagen der Mittelgebirge sind skelettreiche Böden verbreitet, in denen die Steine den Feinboden vor aufprallenden Regentropfen schützen und dadurch die Resistenz gegen Bodenabtrag erhöhen.

Disposition der Gesamtfläche:

Im einzelnen lassen sich hinsichtlich der natürlichen Erosionsdisposition die folgenden Landschaften erkennen.

In Südbayern heben sich wegen ihrer geringen Geländeneigung die Bereiche der größeren Flüsse wie Donau, Lech, Isar und Inn mit ihren flussbegleitenden Hoch- und Niedertrassenflächen und Mooren als wenig gefährdet ab. Leicht identifizierbar sind unter anderem: die Münchener Schotterebene, das Erdinger und Dachauer Moos, das Donaumoos, die Flächen des Dugau, die Pockinger Heide. Die geringe Disposition erkennt man andeutungsweise auch für kleinere Flußsysteme wie z. B. von Laaber, Vils und Rott. Wegen ihrer Vielzahl weniger klar, aber dennoch nachvollziehbar deuten sich die südlichen Donauflüsse westlich des Lechs an. In den Jungmoränenlandschaften sind es vor allem Moorflächen, auf denen unter natürlichen Bedingungen wegen des extrem geringen Gefälles keine Erosion durch Wasser stattfindet. Die Bodenerodierbarkeit in diesen Landschaften ist ebenfalls niedrig, wenn skelettreiche, wasserdurchlässige Substrate auftreten, z. B. bei der sandig-kiesigen Moräne.

Auch in Nordbayern sind Landesteile erkennbar, die neben der dort generell niedrigen Regenerosivität geringe Hangneigungen aufweisen und teilweise mit sand- bzw. tonreichen Substraten zusätzlich gering erodierbare Böden besitzen. Daraus leitet sich wegen der gleichgerichteten Wirkung von 2 bzw. 3 Faktoren eine niedrige natürliche Erosionsdisposition ab. Zu den Landschaften, in denen diese Voraussetzungen zutreffen, zählen das Keuperbecken, die Untermainebene, das Kitzinger Sandgebiet, die Gerolzhofener Platte und Teile des Ochsenfurter Gäus sowie das Ries.

In Nordostbayern heben sich die Naab-Vilssenkung, die Weidener Bucht und die Bodenwöhrer Senke ab. Der Regenschatten der westlich vorgelagerten Fränkischen Alb trifft hier zusammen mit relativ schwach geneigten Geländeabschnitten, die Böden aus größtenteils sandigen Talsedimenten oder Substraten der Kreide und der Oberen Süßwassermolasse tragen. Auch das Innere Fichtelgebirge darf zu den gering disponierten Gebieten Nordbayerns gezählt werden.

Die erosionsfördernde Wirkung der Geländeneigung mit gebietsweise einhergehender hoher Regenerosivität zeigt sich deutlich im Alpenraum und in den Mittelgebirgen. So sind der Bayerische Wald, der Spessart, der Frankenwald, das Hohe Fichtelgebirge und die Nördliche Frankenalb mit hoher natürlicher Disposition belastet. Gleiches gilt für kleinere Reliefstrukturen, wie z. B. die bogenförmigen Wälle der Jungmoräne, einige Talrandzüge der Flüsse Inn, Isen, Altmühl und Isar, ver-

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER NATÜRLICHEN EROSIONSDISPOSITION

MÜNCHEN 1986

Legende:

DISPOSITION $(\frac{t}{ha \cdot a})$	
von	bis
	≤ 2.0
	2.1 – 6.3
	6.4 – 20
	21 – 63
	64 – 200
	> 200

Maßstab:

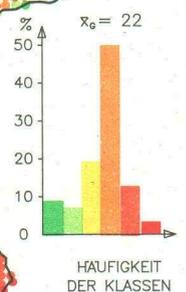
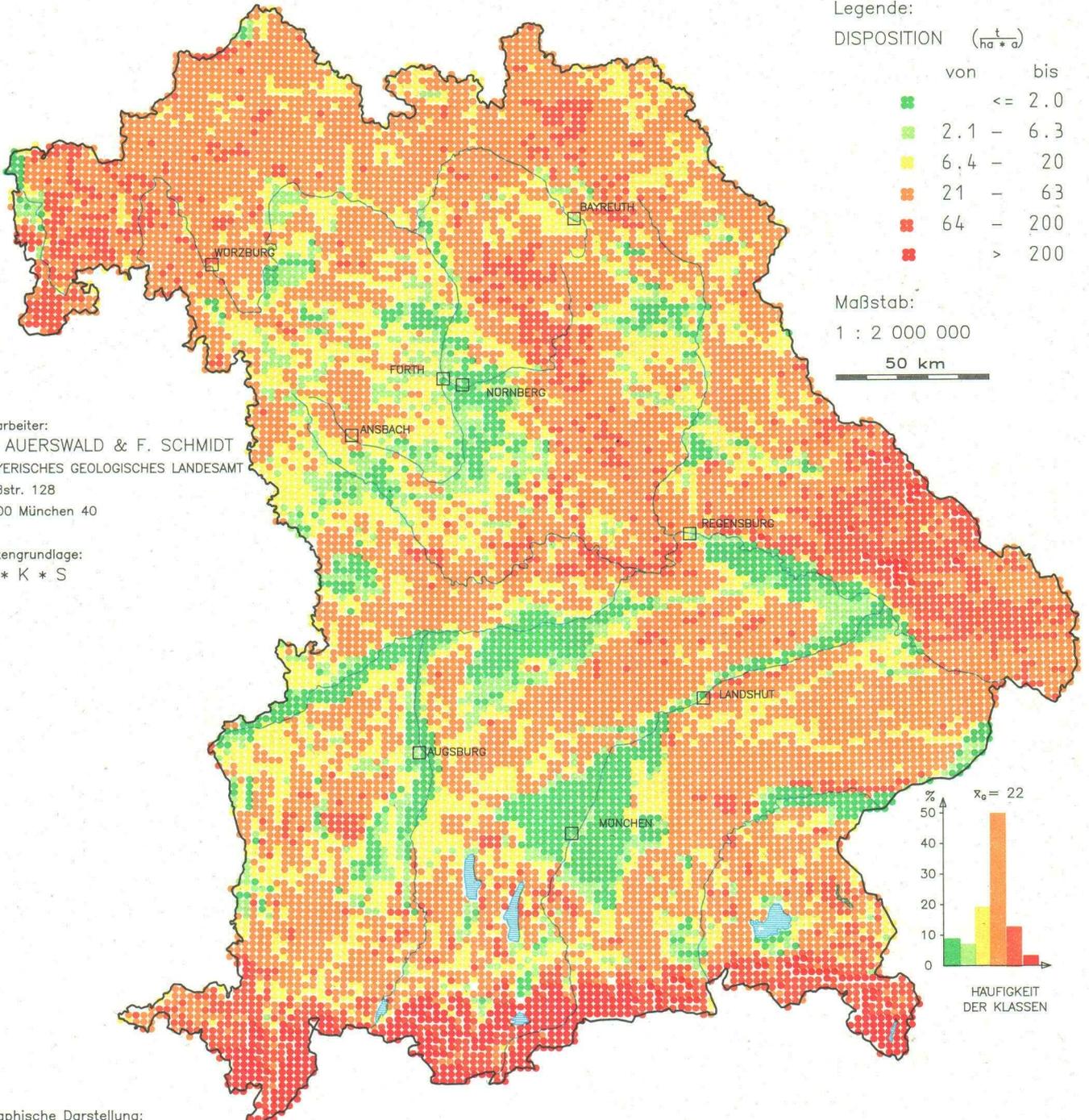
1 : 2 000 000

50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
R * K * S



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

einzelnt für das Tertiärhügelland und das Nördliche Schotterriedel- und Hügelland.

Daß der Einfluß der Bodenerodierbarkeit auf die natürliche Erosionsdisposition im Vergleich zur Neigung eine wesentlich geringere Rolle spielt, wird vor allem in den Mittelgebirgen deutlich. Trotz teilweise stark skeletthaltiger Böden mit vergleichsweise geringen K-Faktoren sind die Flächen mit dunkelrot als stark gefährdet ausgeschieden. Dies trifft in noch höherem Maße für die Alpenregion zu. Die entgegengesetzt gerichtete Wirkung zweier Faktoren ist bei Dominanz des einen (der Neigung) schwer erkennbar. So wird die Erosionswirkung hoher K-Faktoren durch geringe Neigung auf den gleichen Standorten oft vollständig verdeckt. Dies gilt beispielsweise für die Erdinger Altmoräne, die Altmoräne des Loisach-Ammergletschers, das Schwäbische Donauhügelland, den Dungau und den Ochsenfurter Gäu mit ihren hoch erosionsanfälligen Lößböden. Noch schwieriger ist es, den vergleichsweise geringen Einfluß der Regenerosivität an der natürlichen Erosionsdisposition zu erkennen. Die Abstufung in der Regenerosivität zwischen benachbarten Rastern ist wesentlich feiner, als in der Karte der Regenerosivität (Kap. 3.1) mit ihrer sechsstufigen Klasseneinteilung wiedergegeben. Diese feine Abstufung führt nicht zu einem erkennbaren sprunghaften Anstieg in der Disposition.

Disposition der landwirtschaftlichen Fläche:

Wie bereits in den Erläuterungen zur Hangneigung (Kap. 3.3 und 3.4) ausgeführt, bevorzugt die Landwirtschaft die flacheren Geländeteile. Dies spiegelt sich darin wider, daß die natürliche Disposition der landwirtschaftlichen Flächen mit $15 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ gegenüber $22 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ für die Gesamtfläche deutlich geringer ist, und kaum Flächen mit Dispositionen über $200 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ auftreten.

In dieser Verschiebung zu geringeren Dispositionen treten aber landschaftsspezifische Unterschiede auf. Wo fast nur Flächen mit sehr hoher Disposition vorkommen, tritt die landwirtschaftliche Nutzung in den Hintergrund. Daher fehlen die Raster der Hochlagen der Alpen, des Bayerischen Waldes, des Fichtelgebirges und des Spessarts auf der Karte der landwirtschaftlichen Flächen.

In Gebieten, in denen neben hoch disponierten Flächen auch niedrig disponierte Flächen vorkommen, weicht die Landwirtschaft auf die niedrig disponierten aus. In der Jungmoränenlandschaft liegt trotz einer Gebietsdisposition von $64\text{--}200 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ ein großer Teil der landwirtschaftlichen Flächen in der nächstniedrigeren Klasse. Auch im Tertiärhügelland ist diese Tendenz erkennbar. Manche stark gefährdeten Bereiche wie die Talrandzüge der Isar und Isen bleiben aber erkennbar. In Nordbayern tritt diese Verschiebung zu günstigeren Klassen im Keuperbecken und vor allem auf der Fränkischen Alb auf. Die steilen Talflanken werden kaum landwirtschaftlich genutzt, sondern überwiegend die flacheren, ablehmbedeckten Plateaulagen. Dies läßt sich besonders gut entlang des tief eingeschnittenen Altmühltals nachvollziehen.

Eine dritte Kategorie bilden die Landschaften, in denen landwirtschaftliche und nichtlandwirtschaftliche Flächen sich in ihrer natürlichen Disposition kaum unterscheiden, was z. B. nördlich und westlich von Ansbach

der Fall ist. Ähnliche Dispositionen treten auf, wenn innerhalb einer Landschaft kaum großräumige Differenzierungen in unterschiedliche Hangneigungen auftreten. Dies ist im Bayerischen Wald verbreitet der Fall, wo flache Teilstücke selten sind. Dies ist aber auch in Gebieten der Fall, die großflächig niedrige Dispositionen aufweisen. Dazu zählen die Täler und Schotterflächen der Alpenflüsse.

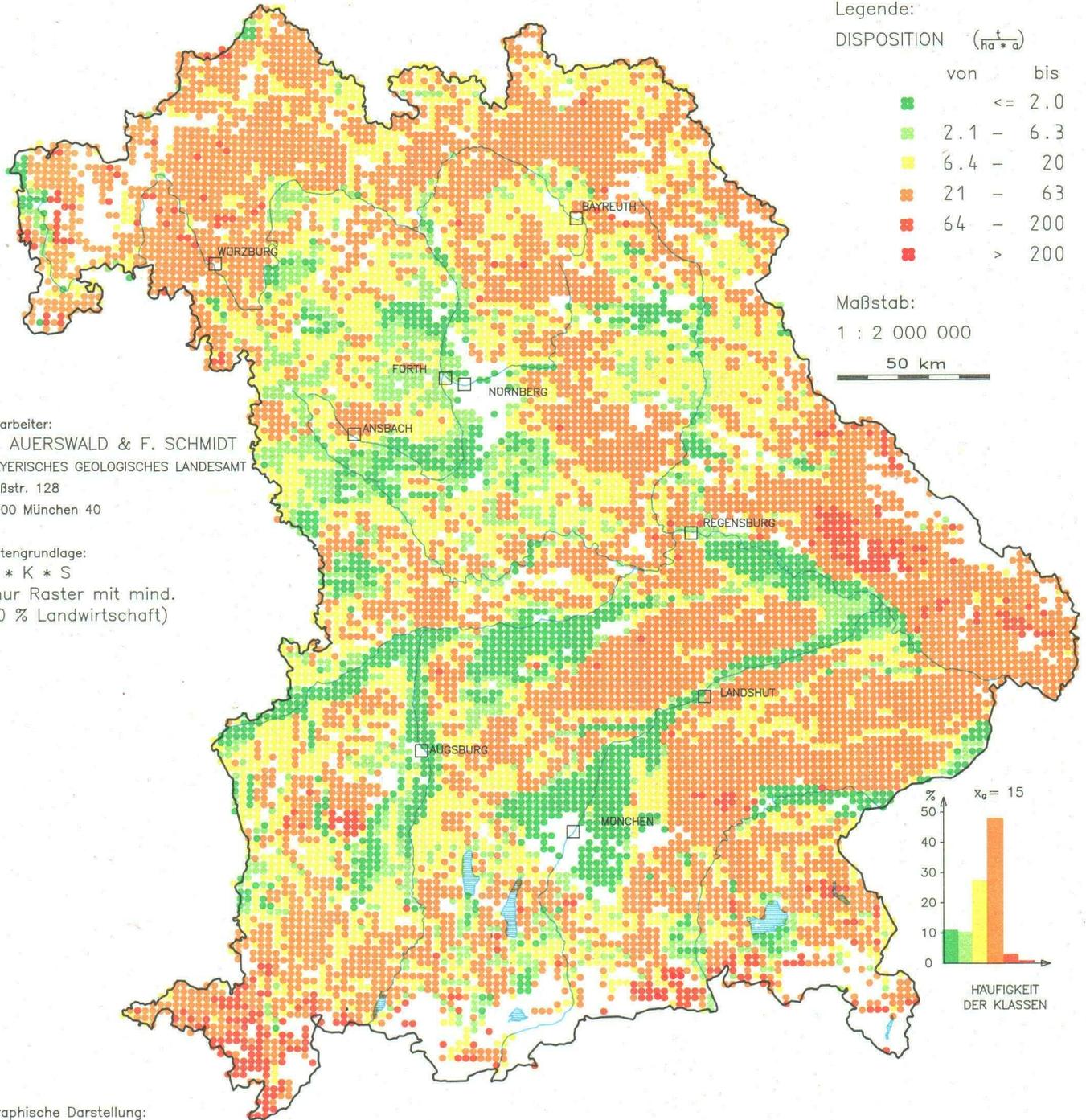
Ausblick: Die natürliche Disposition ist ein Maß für die potentiell an einem Standort zu erwartende Erosion. Bei Dispositionen von über $200 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ können nur sehr erosionsmindernde Bedingungen, wie z. B. Waldnutzung, den Bodenabtrag niedrig halten. So hohe Dispositionen treten vor allem im Alpenraum und im Bayerischen Wald auf. Daher ist es gerade in diesen Regionen wichtig, daß die Schutzfunktion des Waldes nicht gemindert wird. Beeinträchtigungen können vor allem von Waldweide und Waldsterben ausgehen. Näheres zur Problematik der Waldweide findet sich bei KARL (1962). Auf die angesprochene Problematik des Waldsterbens gehen STRUBELT & WENDLING (1985) ein.

Bayern ist von der natürlichen Erosionsdisposition her recht eindeutig gegliedert. Es gibt Landschaften, die durch geringe Hangneigungen verbunden mit Böden geringer Erodierbarkeit so stabil sind, daß durch erosionsfördernde Fruchtfolgen oder große Hanglängen nicht allzuviel Schäden verursacht werden. Dem stehen hochempfindliche Landesteile gegenüber, in denen eine schonende Bewirtschaftung und möglicherweise weitergehende Bodenschutzmaßnahmen notwendig sind, um diese Standortsnachteile auszugleichen. Durch die häufig gleichgerichtete Wirkung von Hangneigung, Regenerosivität und z. T. auch Bodenerodierbarkeit wird der sehr starke Einfluß der Hangneigung auf den Bodenabtrag weiter verstärkt.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER NATÜRLICHEN EROSIONSDISPOSITION
VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

4.2 Anthropogene Disposition auf Ackerflächen

Einführung: Der Mensch kann das Ausmaß des Bodenabtrags vor allem durch die Wahl der Fruchtfolge (C-Faktor) und durch Veränderung der Schlaglänge in Gefällerrichtung (L-Faktor) beeinflussen. Diese beiden Faktoren werden daher zur „anthropogenen Erosionsdisposition“ zusammengefaßt.

Über diese beiden Einflußgrößen verstärkt der Mensch den „quasinatürlichen“ Prozeß der Bodenerosion. Dagegen stellt der Schmutzanhang der Zuckerrüben einen ausschließlich vom Menschen verursachten Bodenabtrag dar. Diese Verluste mußten daher in der Karte der anthropogenen Erosionsdisposition mit berücksichtigt werden. Um diesen Schmutzanhang in der gleichen dimensionslosen Maßzahl wie die Faktoren L und C ausdrücken zu können, wurden die Schmutzverluste durch den Zuckerrübenanbau in $t/ha \cdot a$ ($=ZR$) durch die natürliche Erosionsdisposition ($=R \cdot K \cdot S$; ebenfalls in $t/ha \cdot a$) geteilt. Die so standardisierten Schmutzverluste bilden zusammen mit dem Faktorenprodukt $L \cdot C$ die anthropogene Erosionsdisposition.

Interpretation: Auf allen Ackerflächen in Bayern ist die anthropogene Erosionsdisposition ähnlich hoch. Auf 67 % der Raster mit mehr als 10 % Ackerfläche liegt der Hackfruchtanteil zwischen 18 und 38 %. Dementsprechend bewegen sich auf 54 % der Raster die Getreideanteile nur zwischen 55 und 75 %. 75 % aller Raster weisen eine Disposition zwischen 0,3 und 0,6 auf. Daher sind kaum regionale Differenzierungen möglich. Die ungünstigeren Ackerbaustandorte nördlich der Donau liegen wegen der häufig etwas kürzeren Hanglängen und der etwas geringeren Hackfruchtanteile am unteren Ende dieses Bereichs. Die ackerbaulich günstigeren Gebiete südlich der Donau (vgl. Bodengütekarte von KNICKMANN & WURM, 1956) nehmen den oberen Bereich ein. Nur die Talsohlen der südbayerischen Flüsse weisen mittlere anthropogene Dispositionen aus, da die Hanglängenwirkung in diesen extrem flachen Gebieten sehr gering ist (vgl. Karten der Hanglänge und des Hanglängeneinflusses).

Obwohl die meisten Flächen im Bereich 0,3 bis 0,6 liegen, kommen auch wesentlich höhere anthropogene Erosionsdispositionen vor. 3 % der Raster hatten Erosionsdispositionen größer 1 und 0,3 %, sogar größer 10. Diese hohen anthropogenen Erosionsdispositionen, die allein durch die Faktoren C und L praktisch nicht erreicht werden können, sind auf die Schmutzverluste bei der Zuckerrübenenernte zurückzuführen. Da die Zuckerrüben überwiegend in Gebieten mit geringer Hangneigung angebaut werden, ist die natürliche Erosionsdisposition, das Faktorenprodukt $R \cdot K \cdot S$, dort sehr niedrig. Daher errechnen sich aus den Schmutzverlusten sehr hohe anthropogene Dispositionen.

Ausblick: Auf Einzelflächen kann die anthropogene Disposition außer durch die hier wiedergegebenen Faktoren auch durch die Wahl der Bearbeitungsrichtung beeinflußt werden. Querbearbeitung vermindert den Bodenabtrag deutlich. Allerdings ist diese Querbearbeitung nur wirksam, wenn die Hangneigung nicht zu steil ist und wenn die wirksame Hanglänge nicht zu groß wird (vgl. Kap. 7.1). In beiden Fällen steigt die Ge-

fahr, daß die Querstrukturen durchbrechen und das ausfließende Wasser auch die hangabwärts liegenden, noch wirksamen Querstrukturen überwindet, was zu einem katastrophenartigen Anschwellen des Oberflächenabflusses führen kann. Sowohl die Hangneigung wie auch die Hanglänge grenzen damit die Wirksamkeit einer Querbearbeitung stark ein. Nur bei 9 % der Raster war weder die maximale Hangneigung noch die maximale Hanglänge überschritten. Dieser geringe Anteil an Flächen mit potentiell wirksamer Querbearbeitung beruht darauf, daß in dem Hangneigungsbereich, in dem die Querbearbeitung erosionsmindernd wirkt, aus arbeitswirtschaftlicher und landtechnischer Sicht lange Schlaglängen vorteilhaft sind und daher vorherrschen (vgl. Kap. 3.4). Kürzere Schlaglängen kommen erst in steileren Lagen verbreitet vor. In diesen steileren Lagen ist aber bereits keine Wirkung der Querbearbeitung mehr zu erwarten. Auch wenn die Querbearbeitung im Maßstab einer Übersichtskarte wegen ihrer geringen Verbreitung und eingeschränkter Wirksamkeit nicht zum Tragen kommt, so stellt sie für das Einzelfeld dennoch eine der wichtigsten Maßnahmen zur Erosionsverminderung dar.

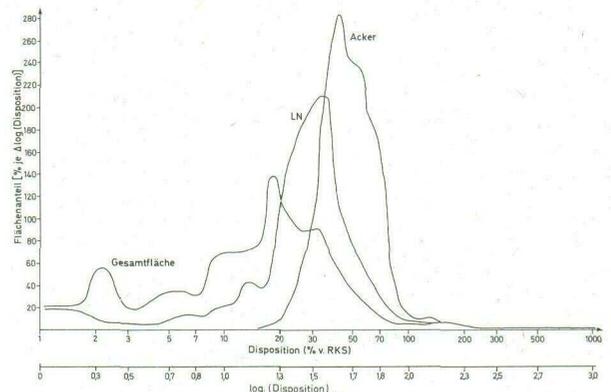
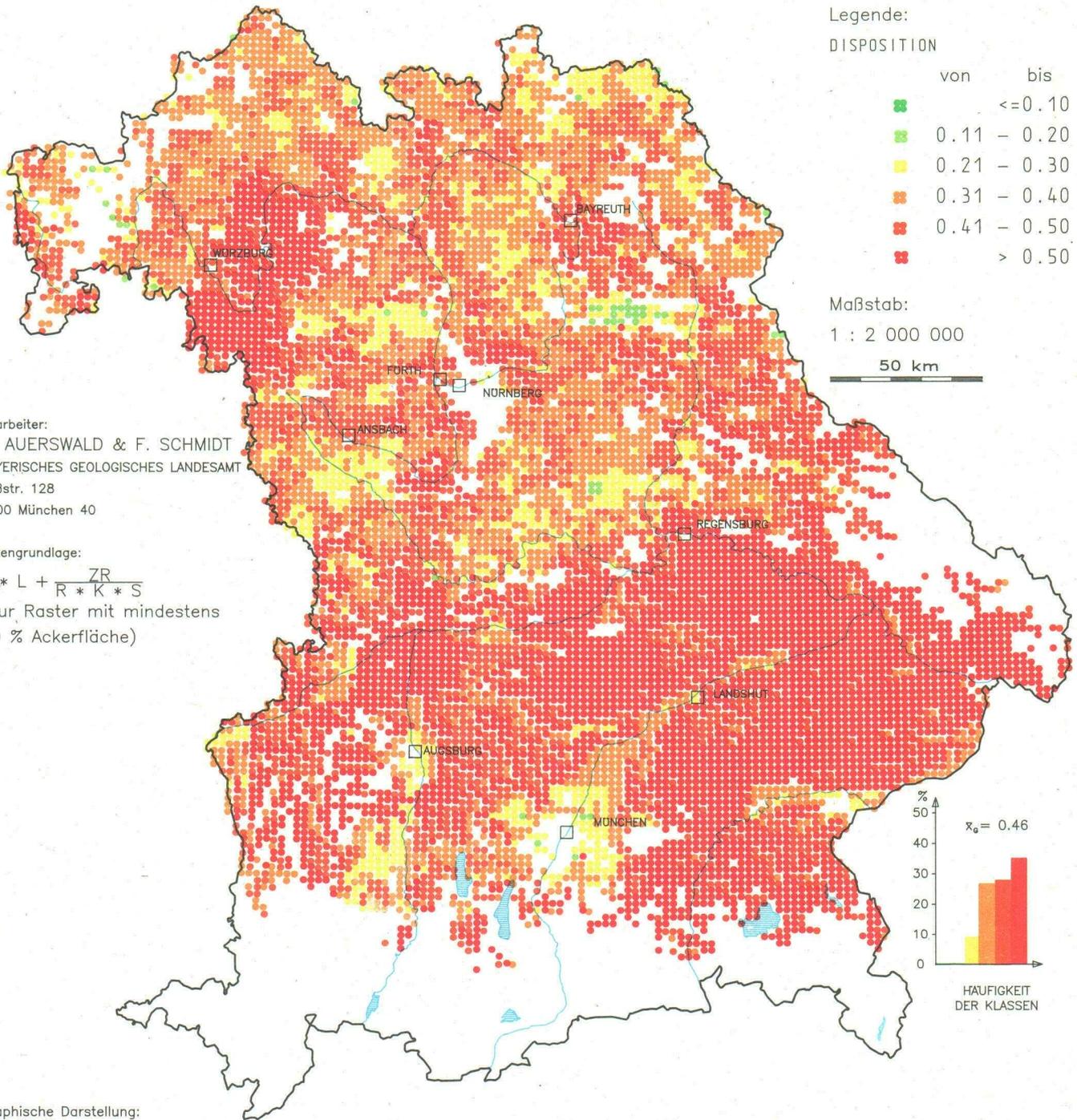


Abb. 4.2 Dichteverteilung der anthropogenen Erosionsdisposition (ausgedrückt in % der natürlichen Disposition) von Ackerflächen, im Mittel der landwirtschaftlichen Nutzflächen und im Mittel der Gesamtfläche der Raster jeweils für ganz Bayern (Erläuterung s. Kap. 4.4).

ATLAS DER EROSIONSGEFAHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER ANTHROPOGENEN EROSIONSDISPOSITION VON ACKERFLÄCHEN

MÜNCHEN 1986



4.3 Anthropogene Disposition landwirtschaftlicher Flächen

Einführung: Die anthropogene Erosionsdisposition landwirtschaftlicher Flächen stellt das gewichtete Mittel der Erosionsdisposition der Acker- und Grünlandflächen dar.

Interpretation: Die anthropogene Disposition landwirtschaftlicher Flächen weist eine viel stärkere Differenzierung auf als die der Ackerflächen allein. Dies hat zwei Gründe:

1. Im Anbauspektrum der verschiedenen Ackerkulturen tritt, von Ausnahmen wie dem Hopfenanbaugebiet der Hallertau abgesehen, eine relativ geringe regionale Differenzierung auf. Da zudem die verschiedenen Hackfrüchte auf der einen Seite und die Getreidearten andererseits sich kaum in ihrer Erosionswirkung unterscheiden, verringert sich die regionale Differenzierung noch stärker. Im Verhältnis von Acker- und Grünlandanteil haben sich dagegen noch starke regionale Unterschiede erhalten, wenn nicht sogar in den letzten Jahren noch stärker ausgeprägt. Die Karten von WÜRFL et al. (1982) zeigen, daß gerade in den Gebieten, in denen bereits früher die Schwerpunkte des Ackerbaus lagen, der Ackeranteil in den Jahren 1974–1979 zu Lasten des Grünlandanteils ausgeweitet wurde.

Diese Differenzierung des Ackeranteils an der landwirtschaftlichen Fläche geht auch aus Abb. 4.3 hervor. Gegenüber dem Ackeranteil sind der Getreideanteil bzw. der Hackfruchtanteil auf einen wesentlich engeren Bereich begrenzt. Nach der Dichtekurve des Ackeranteils lassen sich die Gemeinden in zwei Gruppen einteilen; in reine Grünlandgemeinden mit Ackeranteilen unter 5 % und in Ackerbaugemeinden mit Ackeranteilen über 60 %. Gemeinden mit gemischter Nutzung, d. h. Ackeranteilen von 10–50 % sind dagegen relativ selten.

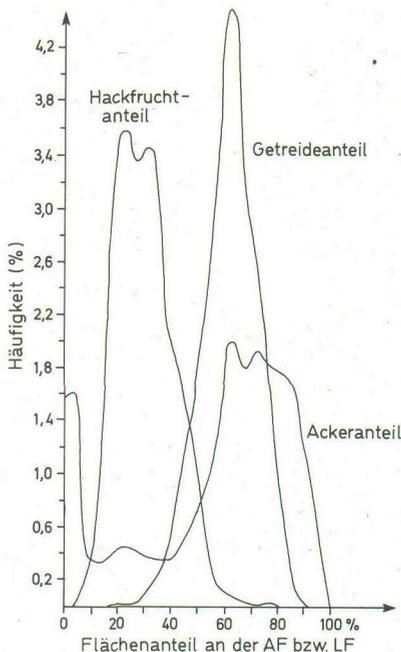


Abb. 4.3: Dichte (Häufigkeit bei einer Klassenbreite von 1) der Ackeranteile an der landwirtschaftlichen Fläche und der Getreide- und Hackfruchtanteile an der Ackerfläche (Erläuterung der Dichte s. Kap. 6.3)

Auf die anthropogene Erosionsdisposition kann sich diese starke regionale Differenzierung auswirken, da eine 2. Bedingung erfüllt ist:

2. Die Erosionsanfälligkeit von Grünland ist sehr viel niedriger als die der verschiedenen Ackerkulturen. Von Grünland wird unter sonst gleichen Bedingungen nur 1 % der Menge abgetragen, die unter Hackfruchtnutzung zu erwarten wäre.

Am konkreten Beispiel heißt dies, daß sich die anthropogene Erosionsdisposition eines Ackers im Tertiärhügelland und die eines Ackers aus der Jungmoräne nicht sehr stark voneinander unterscheiden, da die Anteile erosionsfördernder Feldfrüchte nicht stark differieren. Dagegen heben sich die landwirtschaftlichen Flächen der beiden Gebiete sehr deutlich in ihrer anthropogenen Disposition voneinander ab, weil in der Verteilung der beiden Nutzungstypen Acker und Grünland ein starker regionaler Unterschied auftritt.

Dementsprechend treten auf der vorliegenden Karte die Ackerbauschwerpunkte hervor: das Tertiärhügelland, der Dungau und das Ochsenfurter Gäu. Die anthropogene Disposition wird erhöht bei hohen Hopfenanteilen (Hallertau) und hohen Zuckerrübenanteilen (Teile des Schwäbischen Donau-Hügellandes, Ingolstädter Donaualb, Dungau, Ochsenfurter Gäu). Die nordbayerischen Ackerbaugemeinden nehmen eine Mittelstellung ein. Dagegen weisen die niederschlagsreichen Landschaften – Bayerischer und Oberpfälzer Wald, Frankenwald, Rhön und das Alpenvorland – wegen ihres sehr hohen Grünlandanteils geringe anthropogene Erosionsdispositionen im Mittel der landwirtschaftlichen Flächen auf.

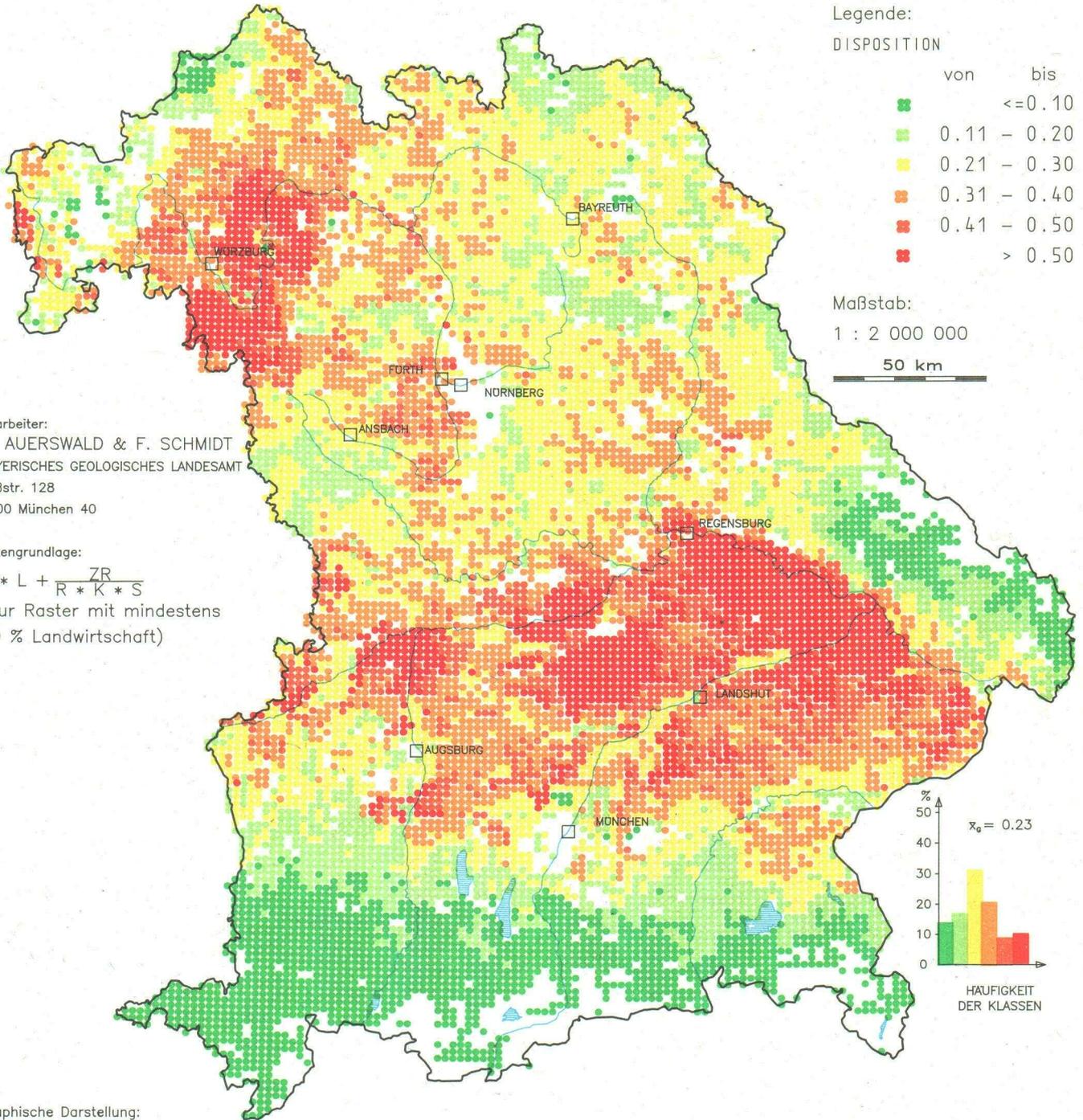
Im Mittel ist die anthropogene Disposition der landwirtschaftlichen Flächen nur halb so hoch wie die der Ackerflächen.

Bemerkenswert ist die Übereinstimmung der Karte der anthropogenen Disposition mit der Bodengütekarte von Bayern (KNICKMANN & WURM, 1956). Mit zunehmender Bodengüte steigt auch die vom Menschen ausgehende Bodengefährdung, da die besseren Böden am intensivsten genutzt werden. Dadurch werden aber gerade die für die Ernährung des Menschen wertvollsten Böden am stärksten durch den Menschen bedroht. Auch zur Karte der Bodenrodierbarkeit zeigt sich eine bemerkenswerte Übereinstimmung der roten Flächen. Dies bedeutet, daß der Mensch die Böden besonders erosionsfördernd nutzt, die am leichtesten erodieren.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER ANTHROPOGENEN EROSIONSDISPOSITION VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986



4.4 Anthropogene Disposition der Gesamtfläche

Einführung: In der Karte der anthropogenen Disposition der Gesamtfläche ist auch die nichtlandwirtschaftlich genutzte Fläche, also vor allem die Waldfläche mitberücksichtigt. Unter Wald liegt – ebenso wie unter Grünlandnutzung – die anthropogene Erosionsdisposition sehr niedrig. Da die Raster sehr unterschiedliche Waldanteile aufweisen, kommt es zu einer noch stärkeren Differenzierung als bei der Disposition der landwirtschaftlichen Flächen. Dies zeigt der Vergleich der Dichteverteilungen der Erosionsdisposition in Abb. 4.2. Aus dieser Abbildung wird deutlich, wie eng im Vergleich dazu die Spannweite der anthropogenen Disposition auf Ackerflächen ist. In dieser Abbildung bedeutet ein Ordinatenwert von $100\%/\Delta \log$ (Disposition), daß in einer Klassenbreite der Disposition, die eine Zehnerpotenz umfaßt, bei der also die Differenz der logarithmierten Klassengrenzen gleich 1 ist, 100 % der Werte enthalten sind. Da für Acker die mittlere Kurvenhöhe etwa bei 200 liegt, bedeutet dies, daß die Differenz der logarithmierten Klassengrenzen nur etwa 0,5 betragen muß, um annähernd alle Werte zu umfassen. Dies entspricht einem Unterschied zwischen oberer und unterer Klassengrenze um den Faktor 3.

Auch für die landwirtschaftlichen Flächen liegt der Hauptanteil, nämlich die Raster mit hohem Ackeranteil, immer noch in einem relativ engen Bereich. Es kommen aber ebenso hohe Dispositionen wie auf Ackerflächen vor (d. h. der Grünlandanteil ist sehr gering) und nach links ist die Dichteverteilung deutlich in Richtung geringerer Dispositionen erweitert.

Für die Gesamtfläche der Raster wird die Häufigkeitsverteilung der Dispositionen noch weiter gestreckt. Der Ordinatenwert beträgt im Bereich der Dispositionen $1\%–10\%$ ca. $40\%/\Delta \log$ (Disposition). In diesem Dispositionsbereich, der sich um eine Zehnerpotenz unterscheidet, liegen also ca. 40 % der Rasterflächen. Im Bereich der nächsten Zehnerpotenz ($10–100\%$) liegen ca. 60 % der Rasterflächen. Im Bereich der nächsthöheren Zehnerpotenz ($100–1\,000\%$) liegen nur noch ca. 2 %.

Interpretation: Durch die geringe Erosionsdisposition unter Wald beträgt die mittlere Disposition die Hälfte des Wertes der landwirtschaftlichen Flächen. Die wald- und grünlandreichen Gebiete erscheinen auf der Karte als geschlossene grüne Flächen: Spessart, Rhön, Frankenwald, Fichtelgebirge, Nördliche Frankenalb, Bayerischer Wald und Jungmoränenlandschaft. Nur im Alpenraum kommen trotz der fast ausschließlichen Wald- und Grünlandnutzung etwas höhere Dispositionen vor. Sie sind für den Peak in der Dichteverteilung bei Dispositionen von 2–3 % verantwortlich. Durch die extremen natürlichen Verhältnisse und vor allem wegen Waldweide und auf Schiabfahrten kommt es häufig zu Narbenverletzungen bzw. Entblößungen der Bodenoberfläche (vgl. POPP, 1984; KARL, 1962; KARL, 1977; KARL & PORZELT, 1976). Dadurch können diese sonst sehr erosionsmindernden Nutzungstypen den auf Grund der natürlichen Gegebenheiten extrem gefährdeten Boden im Alpenraum weniger gut schützen.

Als Gebiete mit besonders hoher Disposition treten noch deutlicher als auf den vorangegangenen Karten die Anbauschwerpunkte der Feldfrüchte hoher Flä-

chenrentabilität hervor: das Hopfenanbaugebiet Hallertau und die Zuckerrübenanbaugebiete im Ochsenfurter Gäu und entlang der Donau. Wegen der hohen Rentabilität dieser Nutzungen finden sich in diesen Gebieten relativ wenig Wald- bzw. Grünlandvorkommen (Abb. 4.4). Dadurch ist in den betroffenen Rastern die Gebietsdisposition sehr hoch. In Abb. 4.2 kommt dies darin zum Ausdruck, daß die höchsten unter Ackernutzung vorkommenden Dispositionen auch in den Dichteverteilungen der landwirtschaftlichen bzw. gesamten Fläche erhalten bleiben. Nur im mittleren Bereich der Ackerdisposition kommt es zu wesentlichen Verschiebungen, da dieser Bereich durch Fruchtfolgen mit monetär weniger ertragreichen Ackerfrüchten gebildet wird, bei denen die Ackernutzung häufiger zu Gunsten einer Grünland- oder Waldnutzung aufgegeben wird (Abb. 4.4).

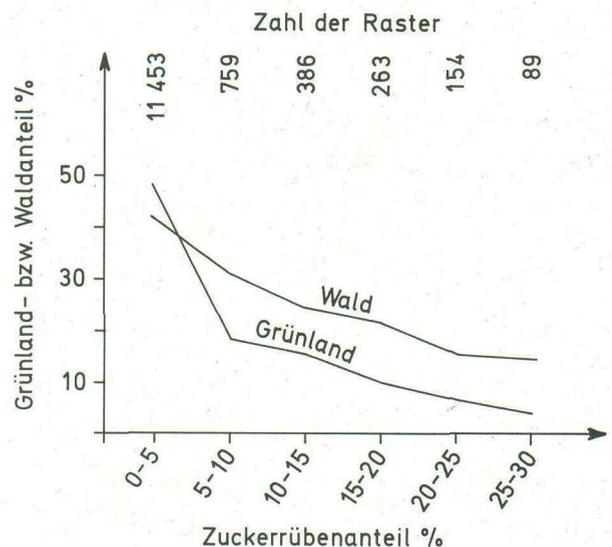


Abb. 4.4 Waldanteil der Gesamtfläche und Grünlandanteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche bei zunehmendem Zuckerrübenanteil an der Ackerfläche

Da beide Feldfrüchte, Hopfen und Zuckerrüben, an die Infrastruktur der Verarbeitungszentren gebunden sind, bilden ihre Anbauschwerpunkte geschlossene Gebiete mit auffällig hoher Erosionsdisposition.

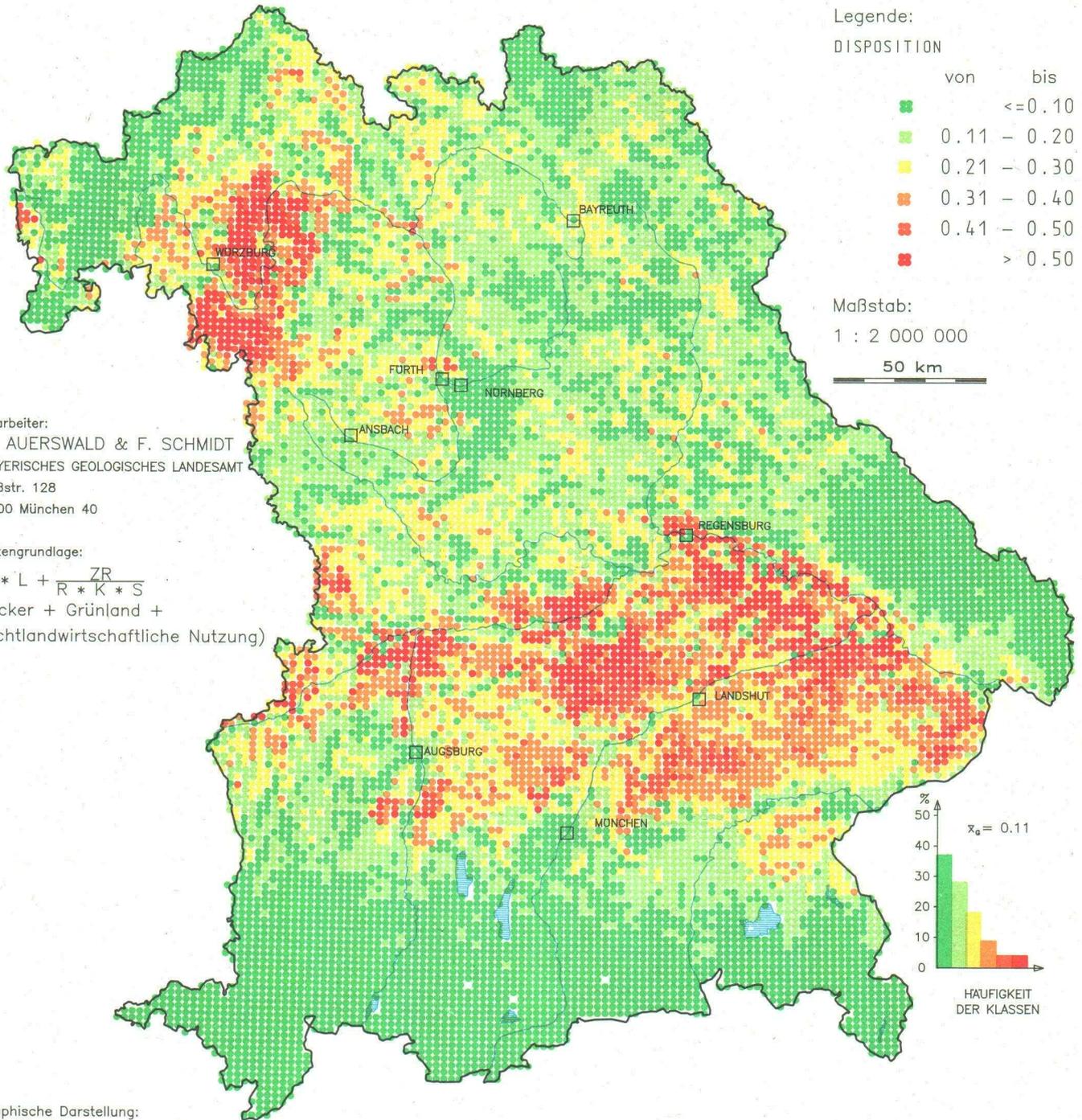
Innerhalb der hoch anthropogen disponierten Gebiete stellt der überwiegend auf Sandböden stockende Münchsmünsterer Forst einen gering gefährdeten Keil dar, der sich zwischen den Zuckerrübenanbauschwerpunkt Ingolstädter Donauau und das Hopfenanbaugebiet Hallertau schiebt.

Ausblick: Auf Grund der hohen Flächenrentabilität bei Hopfen und Zuckerrüben sollte es gerade bei diesen Kulturen möglich sein, die Kosten bzw. evtl. auftretende Ertragsdepressionen, die durch erosionsmindernde Maßnahmen entstehen, aufzufangen. Im Hopfenanbau bieten sich dazu die verschiedenen Formen der reduzierten Bodenbearbeitung an. Durch sie ließe sich die Disposition z. T. bis auf ein Zehntel verringern (vgl. SCHWERTMANN et al., 1987). Im Zuckerrübenanbau muß vor allem die Schmutzabscheidung auf dem Feld verbessert werden. Dies würde auch die Probleme der Zuckerfabriken verringern und die Transportkosten senken. Daneben helfen auch Formen der reduzierten Bodenbearbeitung, die Bodenverluste zu verkleinern (vgl. SOMMER et al., 1981; KAINZ, 1987).

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER ANTHROPOGENEN EROSIONSDISPOSITION

MÜNCHEN 1986



5. Bodenabträge und Risikobeurteilung

5.1 Bodenabträge von Ackerflächen

Einführung: Während in den vorangegangenen Abschnitten jeweils Teilaspekte der Bodenerosion, also Einzelfaktoren oder Faktorenkombinationen abgehandelt wurden, sind bei dieser Karte alle Einflußgrößen in ihrem Zusammenwirken auf den Bodenabtrag dargestellt.

Die Klasseneinteilung und Farbgebung wurde so gewählt, daß alle Abträge über $10 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ im roten Farbspektrum liegen. Der Wert $10 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ stellt die Grenze dessen dar, was selbst auf sehr tiefgründigen Böden im Hinblick auf den zu erwartenden Produktivitätsverlust als gerade noch tragbar angesehen wird. In vielen Fällen muß der Grenzwert wesentlich niedriger angesetzt werden (vgl. Kap. 5.4 und 5.5).

Welche Faktoren im einzelnen das Ausmaß des Bodenabtrags bedingen, wurde in den vorangegangenen Kapiteln mehrfach erläutert. Hier sollen nur noch die wichtigsten Ursachen schlaglichtartig aufgezeigt werden.

Interpretation: Die Hallertau fällt als eine der größten geschlossenen Flächen mit über $25 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ auf. Ein bewegtes Relief und erosionsfördernde Bewirtschaftungsformen führen zu diesen hohen Abträgen. Besonders die konzentrierte Hopfennutzung ist auf Grund der hohen natürlichen Erosionsdisposition dieser Landschaft sehr problematisch.

Die südlichen Randgebiete zwischen Tertiärhügelland und Dungau zeigen ähnlich hohe Abträge. Dagegen weisen die Wasserscheidegebiete von Rott und Vils sowie die Gebiete nördlich von Landshut um Ergoldsbach und Hohenthann häufig noch Abträge unter dem Schwellenwert von $10 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ auf, was im wesentlichen auf die geringe Reliefenergie zurückzuführen ist. Die Erosionsgefahr steigt weiter südlich auf der Isener Altmoräne und am nördlichen Rand des Inntales wieder sehr hoch an, da hier hackfruchtreiche Fruchtfolgen und eine hohe natürliche Erosionsdisposition zusammentreffen. Südostbayern bildet somit einen Schwerpunkt der Erosionsgefährdung.

Etwas günstiger als in diesen lößlehmreichen Gebieten ist die Situation im Oberbayerischen lößlehmbeeinflussten Tertiärhügelland und auf der Altmoräne des Loisach-Ammergletschers, wo die Abträge typischer Ackerflächen zwischen 10 und $20 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ liegen.

Heterogen präsentierten sich die Jungmoräne des Inn-Chiemsee-Salzachgletschers und die Alzplatte. Stark wechselnde Reliefverhältnisse prägen hier das Ausmaß der Erosion entscheidend mit. Gleiches gilt für die Jungmoräne des Isar-Loisach-Ammergletschers, das Nördliche Schotterriedel- und Hügelland, das Biburger Hügelland und für die Aindlinger Terrassentreppe.

Erwartungsgemäß niedrig bis sehr niedrig sind die Erosionsraten in den großen Flußtälern und Ebenen. Hierzu zählen Lech, Isar, Inn und Donau mit ihren teilweise sehr breiten flußbegleitenden Terrassenflächen be-

sonders im Bereich der Münchner Schotterebene und im Donaumoos. Dieses grenzt an das Sandtertiär an, das mit wenigen Ausnahmen, wie im Zwickel zwischen Paar- und Donautal, ebenfalls gering gefährdet ist. Für das Sandtertiär muß eingeschränkt werden, daß der in diesem Gebiet intensiv betriebene Spargelbau nicht bewertet werden konnte, da entsprechende Grundlagen fehlen. Es ist aber damit zu rechnen, daß bei Berücksichtigung dieser ebenfalls sehr erosionsfördernden Kultur auch im sandigen Tertiärhügelland höhere Bodenabträge ausgewiesen wären.

Innerhalb der sehr flachen Gebiete heben sich die Zuckerrübenanbauggebiete im Dungau, um Rain am Lech und Regensburg deutlich ab, da sie trotz der sehr niedrigen natürlichen Erosionsdisposition bereits in der 2. Abtragsklasse liegen. Dies ist auf die Bodenverluste infolge des Schmutzanhangs zurückzuführen.

Eine der am stärksten von der Erosion auf Ackerflächen bedrohten Landschaften stellt der Bayerische Wald dar. Fast alle ausgeschiedenen Raster liegen in der höchsten Abtragsklasse. Der zentrale Bereich des Vorderen Bayerischen Waldes und der Innere Bayerische Wald sind größtenteils weiß, da von den Rasterflächen weniger als 10% ackerbaulich genutzt werden; jedoch ist damit zu rechnen, daß die in diesen Bereichen liegenden Ackerflächen ebensoviel Boden verlieren. Der Bayerische Wald ist damit eine der gefährdetsten Landschaften innerhalb Bayerns, besonders in den ackerbaulich stärker genutzten Gebieten Falkensteiner Vorwald, Ilzland und Lallinger Winkel. Die gegenwärtige Nutzung der Ackerflächen mit hohen Reihenfruchtanteilen ist ungeeignet für diese durch die natürlichen Verhältnisse stark erosionsanfälligen Gebiete.

Auffällige Gegensätze zwischen hohen und geringen Abträgen in eng benachbarten Bereichen sind charakteristisch für die Gebiete südlich der Donau.

Im Gesamtbild ausgeglichener ist der nordbayerische Raum. Mit Ausnahme des Spessarts und der Südlichen Fränkischen Platten überwiegen gelbe und grüne Farben. Dennoch sind auch in Nordbayern einzelne, kleinere Regionen stark gefährdet.

Darunter fallen z. B. der Riesrand und die Riesalb, die Ingolstädter Donaualb, die sogenannten „Jurahopfenflächen“ (KOHLMANN & KASTNER, 1975) mit Schwerpunkt Altmannstein und Riedenburg und einzelne Flächen in der Nördlichen Fränkischen Alb. Besonders Raster im Bereich des Albanstiegs sind wegen der dort höheren Reliefenergie stärker von der Bodenerosion betroffen. Stellvertretend seien hier aufgeführt die Flächen um Pilsach und Berg bei Neumarkt.

Höhere Raten als im Durchschnitt Nordbayerns treten auch im Frankenwald und am südlichen Rand des Fichtelgebirges zwischen Bayreuth und Erbdorf auf, gleichfalls in der Rhön und auf den Gipskeuperplatten zwischen Haßfurt und Hofheim.

Die niedrige natürliche Erosionsdisposition im Keuperbecken, in der Naab-Vilssenne und in der Untermainebene läßt sich auch im Bodenabtrag von Ackerflächen nachvollziehen. Dies gilt auch für das Kitzinger Sandgebiet und den Boden des Rieskessels.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER MITTLEREN ABTRAGE VON ACKERFLÄCHEN

MÜNCHEN 1986

Legende:

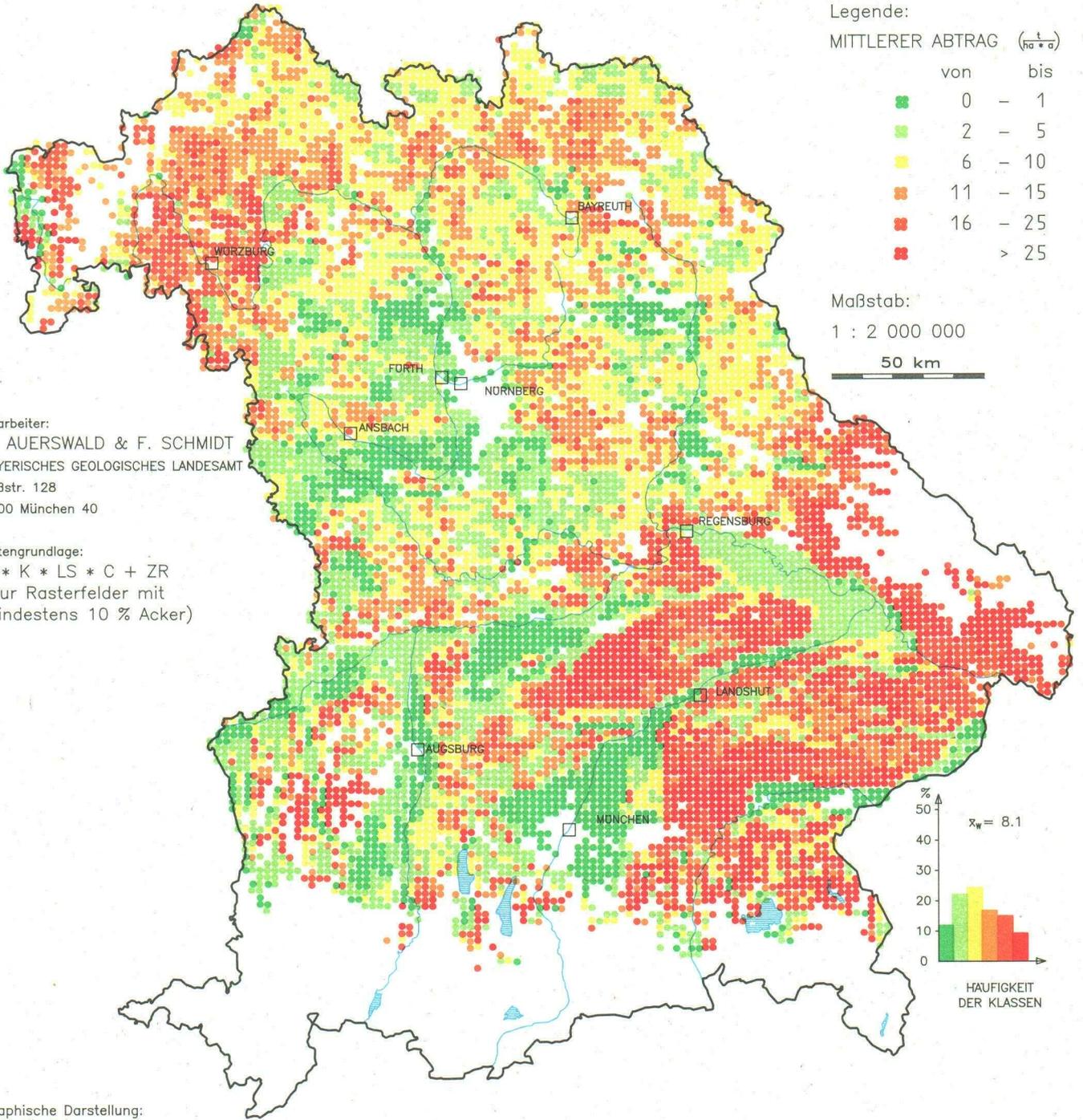
MITTLERER ABTRAG $(\frac{t}{ha \cdot a})$

	von	bis
■	0	– 1
■	2	– 5
■	6	– 10
■	11	– 15
■	16	– 25
■	> 25	

Maßstab:

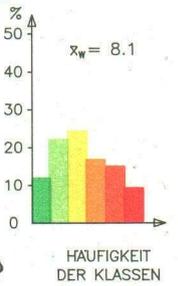
1 : 2 000 000

50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
R * K * LS * C + ZR
(nur Rasterfelder mit
mindestens 10 % Acker)



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

5.2 Bodenabträge von landwirtschaftlichen Flächen

Einführung: Die vorliegende Karte bewertet die Acker- und Grünlandflächen gemeinsam, ausgehend von der Überlegung, daß hohe Bodenabträge von Ackerflächen umso gravierender sind, je höher der Anteil der Ackerflächen in der betreffenden Landschaft ist. In Gebieten mit überwiegendem Grünlandanteil ist dagegen ein hoher Abtrag von Ackerflächen eher zu akzeptieren, da es langfristig zu einem Ausgleich kommen kann, wenn die wenigen Ackerflächen wieder in Grünland umgewandelt und dafür Grünlandflächen umgebrochen werden. Zudem hängen die erosionsfernen Sekundärschäden (Gewässereutrophierung, Verlandung) vom Gesamtabtrag in einer Landschaft ab. Daher erschien es sinnvoll, diese beiden in ihrem Abtragsverhalten sehr unterschiedlichen Bodennutzungen in einer Karte zusammenzufassen und einen mittleren Abtrag auszuweisen.

Von Grünlandflächen wird wesentlich weniger abgetragen als von Ackerflächen. Je nach Grünlandanteil der einzelnen Raster liegt der mittlere Abtrag niedriger als auf Ackerflächen. Um eine befriedigende Differenzierung zu erreichen, wurde daher die Klasseneinteilung gegenüber der Karte der Abträge von Ackerflächen verändert. Die Abträge über 10 t/ha · a wurden zu einer Klasse zusammengefaßt, da hier in jedem Fall mehr als tolerierbar abgetragen wird. Dafür wurde bei niedrigeren Abträgen stärker differenziert. Die Klassengrenzen orientieren sich an den verschiedenen, von der Bodenständigkeit abhängenden Toleranzgrenzen (vgl. SCHWERTMANN et al., 1981, 1987).

Interpretation: Da nicht ganz die Hälfte der landwirtschaftlichen Flächen unter Grünlandnutzung steht und unter Grünlandnutzung nur sehr geringe Bodenabträge auftreten, sinkt im Mittel aller Raster der Bodenabtrag auf ca. die Hälfte des Abtrages von Ackerflächen. In den niederschlagsreichen Gebieten mit überdurchschnittlichen Grünlandanteilen ist dieser Rückgang noch stärker. Besonders im Alpenraum und den Jungmoränen, mit Einschränkungen im Gebiet des Inn-Chiemsee-Salzach-Gletschers, liegen im Mittel der landwirtschaftlichen Flächen die Abträge sehr niedrig. Auch im Mittleren Schotterriedel- und Hügelland und in der Südlichen Schotterriedel- und Altmoränenlandschaft führt der überdurchschnittliche Grünlandanteil zu deutlich geringeren mittleren Abträgen. Der hohe Grünlandanteil wirkt sich auch noch im Nördlichen Schotterriedel- und Hügelland günstig aus, wenngleich hier bereits auf einigen Rastern der maximale Toleranzwert auch im Mittel der landwirtschaftlichen Flächen überschritten wird.

Im ackerbaulich intensiver genutzten Schwäbischen Donauhügelland ist der Unterschied zur Karte 5.1 weniger groß, ebenso auf der Aindlinger Terrassentreppe. Durch die bessere Auflösung bei geringeren Abtragungsmengen heben sich das nur löblehmbeeinflusste Oberbayerische Tertiärhügelland und der südwestliche Teil des löblehmreichen Oberbayerischen Tertiärhügellandes noch deutlicher als bei der vorhergehenden Karte vom übrigen, wesentlich stärker gefährdeten Tertiärhügelland ab. Im Niederbayerischen Tertiärhügelland wird trotz Einbeziehung der Grünlandflächen der maximale Toleranzwert großflächig überschritten. Lediglich Isar-, Vils- und Rottal sowie die Oberlaufgebiete der

beiden letztgenannten Flüsse sind gering gefährdet. In den Talsohlen der größeren südbayerischen Flüsse liegt das Erosionsausmaß durch Abspülung, wie schon auf der Karte der Ackerflächen, sehr niedrig.

Im Bayerischen Wald kann hinsichtlich des Bodenabtrags zwischen dem Vorderen einerseits und der Regensenke mit Hinterem Bayerischen Wald andererseits unterschieden werden. Die schluffreicheren Deckschichten im Vorderen Bayerischen Wald, die daraus resultierende höhere Bewirtschaftungsintensität auf den landwirtschaftlich etwas besseren, aber auch leichter erodierbaren Böden in Verbindung mit einem stark bewegten Relief, führen zu hohen Abträgen. Die Grünlandanteile reichen nicht aus, um im Mittel die Abträge, die auf Ackerflächen über 25 t/ha · a liegen können, immer unter 10 t/ha · a zu senken. Eine günstigere Situation kennzeichnet dagegen die Regensenke und den Inneren Bayerischen Wald. Durch ein ruhigeres Relief und etwas niedrigere R-Faktoren im einen Fall bzw. durch höhere Grünlandanteile im anderen, liegen die Bodenabträge um mehrere Klassen niedriger.

Das Oberpfälzer Becken- und Hügelland mit der Bodendwöhler Senke und der Weidener Bucht zeichnet sich durch größtenteils niedrige Abtragsraten aus und trennt die Nördliche Fränkische Alb mit teilweise höheren Abträgen vom Oberpfälzer Wald mit mittleren. In der Cham-Further Senke sind die Gegensätze sehr groß. Während um Cham fast keine Erosion errechnet wird, sind östlich und nördlich davon bei Furth i. Wald sehr hohe Bodenverluste zu erwarten. Unterschiede in der natürlichen Erosionsdisposition sind die Ursache dafür.

Am Rand der Südlichen Fränkischen Alb ist deutlich der Riesessel als wenig gefährdet zu erkennen. Dabei kann zwischen dem etwas stärker gefährdeten Westries und dem Ostries differenziert werden. Die umgebende Riesalb kennzeichnen wegen des bewegteren Reliefs höhere Abträge als auf dem überwiegenden Teil der Fränkischen Alb. Auch die Ingolstädter Donaualb mit ihren besseren, schluffigeren, intensiver genutzten Böden und die „Jurahopfengebiete“ zeichnen sich durch hohe Abträge aus. In der Kuppenalb, z. B. im nördlichen Teil des ehemaligen Landkreises Parsberg, treten höhere Abträge auf als in der Flächenalb, z. B. im Gebiet um Hemau. Der größere Teil der Fränkischen Alb liegt überwiegend unter 10 t/ha · a, mit Ausnahme einiger Raster, die den steilen westlichen Albanstieg mit dem stellenweise tief zertalten Albrand markieren.

Im Sandsteinkeuper treten großräumig sehr gering gefährdete Flächen auf, die nur nordöstlich von Ansbach durch stärker abtragsgefährdete Areale unterbrochen werden.

Eine in sich fast geschlossene Fläche mit hohen Bodenabträgen sind die überwiegend ackerbaulich genutzten Fränkischen Platten. Der Main stellt sowohl nach Osten als auch nach Norden eine scharfe Begrenzung dieser hoch gefährdeten Gebiete dar.

In den nicht überwiegend waldbaulich genutzten Rastern der Rhön und im Spessart-Odenwald bleiben wegen der hohen Grünlandanteile die Abträge bescheiden.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER MITTLEREN ABTRÄGE
VON LANDWIRTSCHAFTLICHEN FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986

Legende:

MITTLERER ABTRAG ($\frac{t}{ha \cdot a}$)	
von	bis
■	≤ 1.0
■	1.1 – 3.0
■	3.1 – 5.0
■	5.1 – 8.0
■	8.1 – 10.0
■	> 10.0

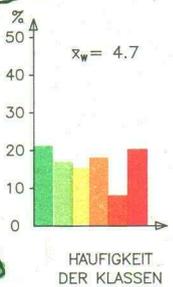
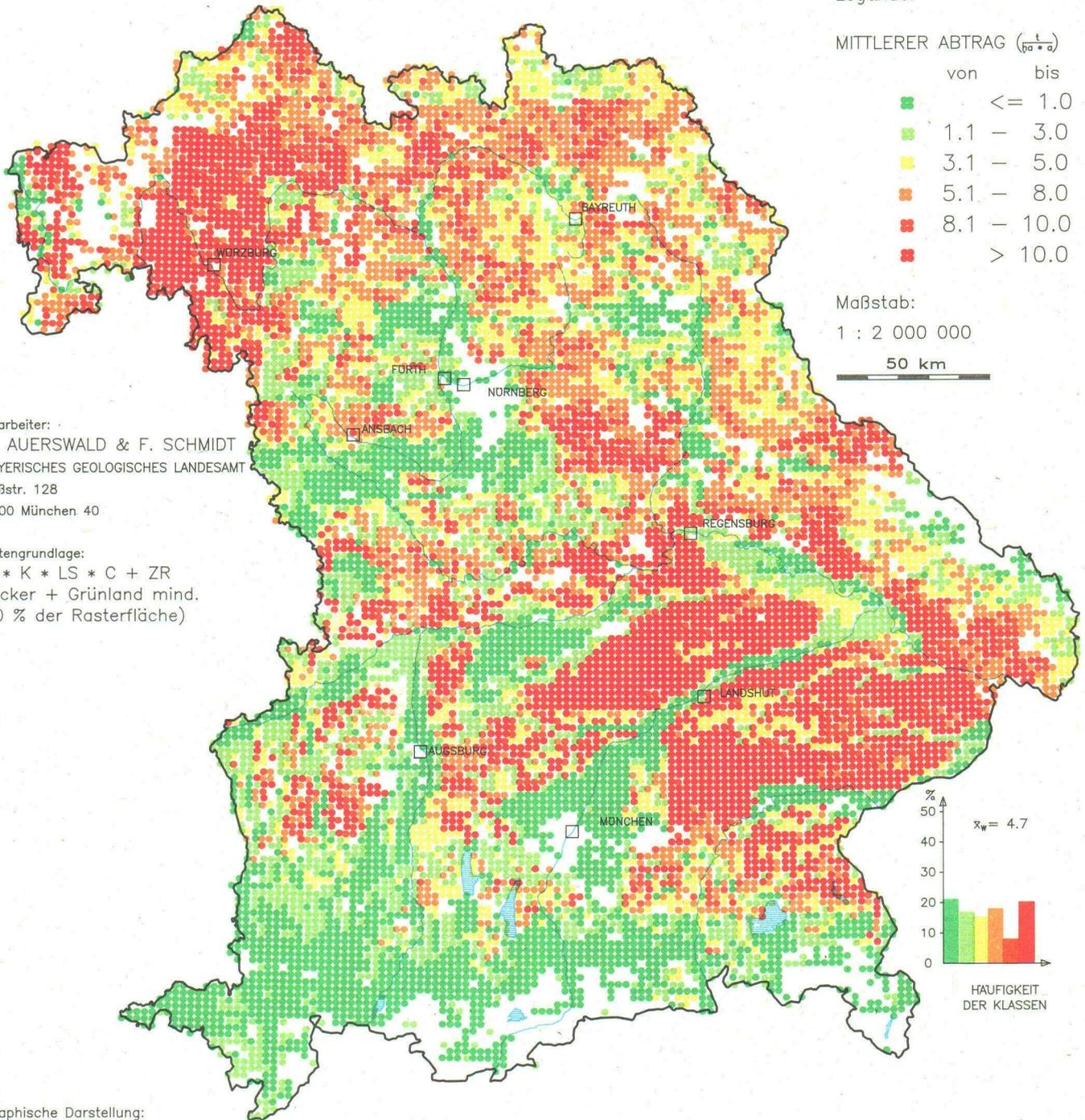
Maßstab:

1 : 2 000 000

50 km

Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
R * K * LS * C + ZR
(Acker + Grünland mind.
10 % der Rasterfläche)



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

5.3 Mittlere Abträge der Gesamtfläche

Abträge nicht-landwirtschaftlicher Flächen: Die Abträge unter Wald liegen auf 87 % der Raster mit mehr als 10 % Waldfläche unter 1 t/ha · a. Im Mittel ist mit Bodenabträgen von 0,4 t/ha · a zu rechnen. Etwas höhere Mengen treten auf in der Fränkischen Alb, im Hohen Fichtelgebirge, im südlichen Frankenwald und im Buntsandsteingebiet von Spessart und Odenwald auf. Sie liegen dort aber nur unwesentlich höher (< 1.5 t/ha · a).

Im Alpenraum können die flächenhaften Abspülungen über 2 t/ha · a steigen. Daher sind trotz fast ausschließlicher Grünland- und Waldnutzung die Mehrzahl der Raster im Alpenraum der 2. Abtragsklasse zuzuordnen. Auf die Problematik dieses Naturraumes wurde bereits in mehreren Kapiteln hingewiesen.

Abträge der Gesamtfläche: Wegen der sehr geringen Abträge auf Waldflächen sinkt im Mittel der Abtrag auf ca. die Hälfte des Abtrages landwirtschaftlicher Flächen. Der Mittelwert von 2.2 t/ha · a kommt nahe an den mittleren Bodenverlust von 2 000 kg/ha · a, der von anderer Seite und mit einem anderen methodischen Ansatz für die BRD geschätzt wurde (VOSS & PREUSSE, 1976).

Die auf der Karte der landwirtschaftlichen Flächen noch fehlenden Raster sind nun grün ausgeschieden. Darüber hinaus verändert sich bemerkenswert wenig. Für die Karte der Gesamtfläche wurde die gleiche Klasseneinteilung gewählt wie für die Abtragskarte landwirtschaftlicher Flächen. Die Farbgebung ist damit direkt vergleichbar. Die massiven Blöcke mit stark gefährdeten Flächen im Tertiärhügelland und in Unterfranken bleiben auch bei Betrachtung der Gesamtfläche fast vollständig erhalten. In diesen Gebieten ist die Ackernutzung so dominant, daß die hohe Gefährdung auf Äckern nicht durch die geringe Gefährdung von Flächen anderer Nutzung kompensiert wird. Im Hinblick auf den Landschaftshaushalt müßten hohe Abträge von Äckern durch wachsende Anteile kaum gefährdeter Flächen anderer Nutzung ausgeglichen werden, um indirekte Erosionsschäden wie die Gewässer-eutrophierung zu begrenzen. Jedoch stehen gerade in diesen beiden am meisten gefährdeten Landschaften am wenigsten Ausgleichsflächen bereit.

Etwas besser erfolgt dieser Ausgleich in den ostbayerischen Mittelgebirgen und in der Frankenalb. Mit Ausnahme des hoch gefährdeten Vorwaldrandes des Bayerischen Waldes verringert sich in diesen Landschaften der mittlere Abtrag überwiegend um eine Klasse gegenüber den Abträgen landwirtschaftlicher Flächen. In diesen Landschaften kommt damit zumindest im großräumigen Durchschnitt noch ein Ausgleich zustande, auch wenn auf der einzelnen Ackerfläche hohe Bodenabträge auftreten können.

Die Gebiete, in denen eine Kompensation zwischen landwirtschaftlichen und nicht-landwirtschaftlichen Flächen besteht, sind im wesentlichen die gleichen, in denen schon ein Ausgleich zwischen Acker- und Grünlandflächen stattfindet. Dem stehen die hoch spezialisierten Ackerbaugengebiete gegenüber, in denen nicht nur von der Einzelfläche sondern großflächig viel Boden abgetragen wird.

Ausblick: Der Atlas der Erosionsgefährdung zeigt nur die Schäden durch Bodenerosion auf. Daneben sind die Böden jedoch sehr vielfältigen zusätzlichen Belastungen ausgesetzt. Wegen der Verschiedenartigkeit der Belastungen (z. B. Schwermetalleintrag, Verdichtung) ist ein objektiver Vergleich ihrer langfristigen Risiken in der Regel nicht möglich. Die Bodenerosion wird (subjektiv) als die langfristig und überregional bedeutendste Form der Bodendegradation angesehen (HAHN et al., 1986). Daher soll versucht werden, das Ausmaß der Erosionsschäden mit einer völlig anderen, aber gleichfalls irreversiblen Art der Bodenschädigung, der Versiegelung der Bodenoberfläche durch Überbauung zu vergleichen:

Die Summe der gesamten Bodenverlagerungen durch Abspülung läßt sich überschlägig aus den ausgewiesenen Abträgen der Gesamtfläche berechnen. Demnach werden in Bayern jährlich ca. 14 Millionen t Boden abgeschwemmt.

Demgegenüber gingen durch Überbauung für Siedlungs- und Verkehrsflächen im Mittel der Jahre 1970–1978 jährlich ca. 63 km² in Bayern verloren (DICK, 1985). Berücksichtigt man den dabei entstandenen Verlust an Oberboden (30 cm), so wird durch diesen rein anthropogenen Prozeß mehr als doppelt soviel an Bodenmaterial verlagert, wie durch den quasi-natürlichen Erosionsprozeß. Zusätzlich schädigt bzw. zerstört die Überbauung häufig den Unterboden.

Im Gegensatz zum flächenhaften Bodenabtrag durch Wasser ist die Überbauung eine lokal eng begrenzte, dafür aber ungleich dramatischere Schädigung des natürlichen Bodens.

Auch wenn diese Gegenüberstellung nur versuchen kann, einen annähernd objektiven Vergleich zweier völlig unterschiedlicher Bodenschädigungen anzustellen, der auf beiden Seiten mit großen Unsicherheiten behaftet ist, so läßt sich dennoch der Schluß ziehen, daß die Überbauung den Boden in mindestens ebenso großem Umfang bedroht, wie die flächenhafte Abspülung. Dabei ist im Gegensatz zur Bodenabspülung die Flächenversiegelung nur von anthropogenen Faktoren abhängig und damit wesentlich leichter zu beeinflussen.

Gerade im Hinblick auf die hier aufgezeigte Bedrohung fordert die Boden-Charta der FAO (1981): Land, das potentiell für einen weiten Bereich von Nutzungen geeignet ist, sollte so bewirtschaftet werden, daß zukünftige Nutzungen nicht für eine lange Zeit oder für immer ausgeschlossen werden.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER MITTLEREN ABTRÄGE

MÜNCHEN 1986

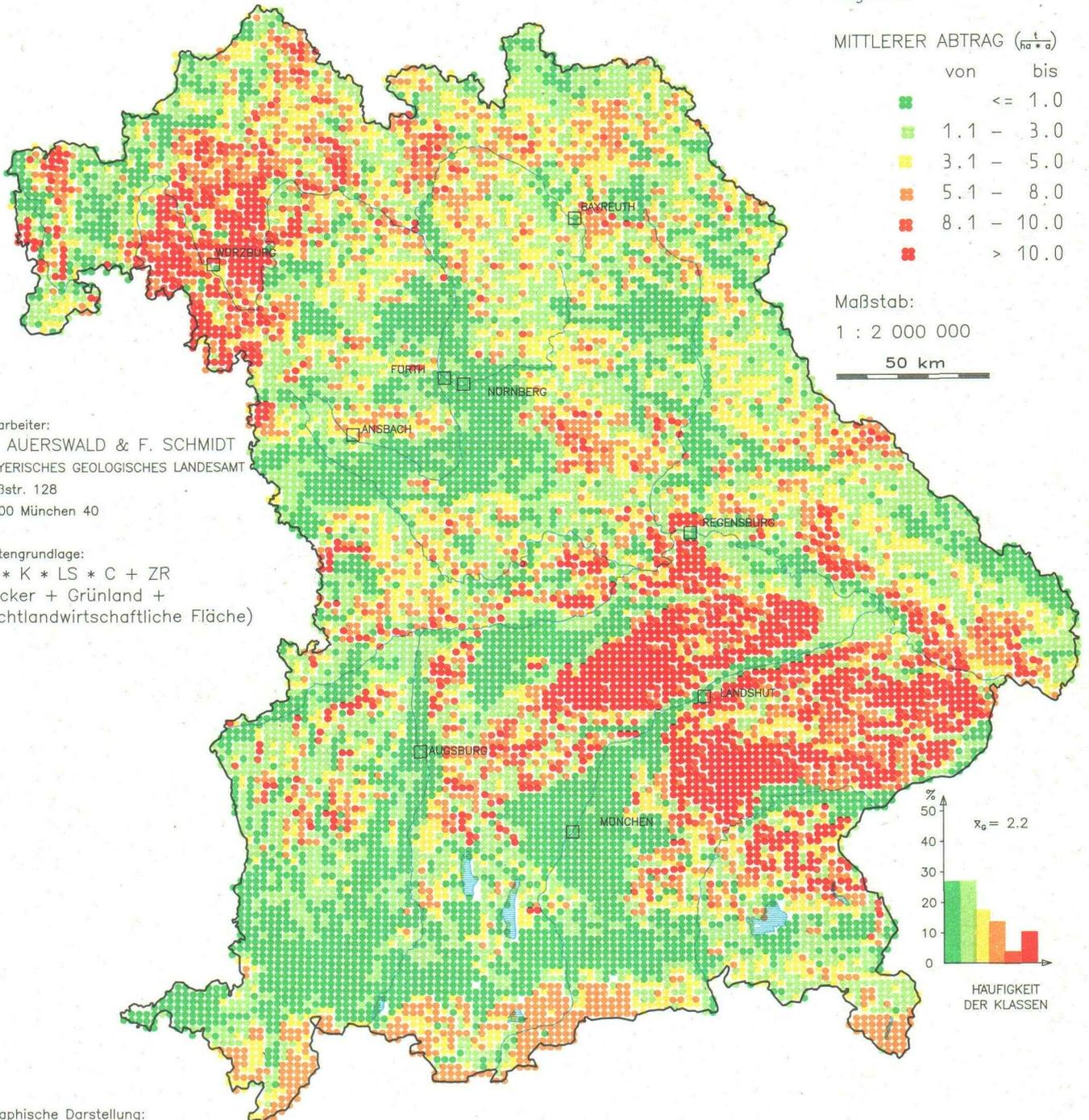
Legende:

MITTLERER ABTRAG ($\frac{t}{ha \cdot a}$)	
von	bis
	≤ 1.0
	1.1 – 3.0
	3.1 – 5.0
	5.1 – 8.0
	8.1 – 10.0
	> 10.0

Maßstab:

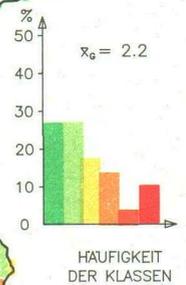
1 : 2 000 000

50 km



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
R * K * LS * C + ZR
(Acker + Grünland +
nichtlandwirtschaftliche Fläche)



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

5.4 Tolerierbare Bodenabträge landwirtschaftlicher Flächen

Einführung: Die Bodenneubildungsrate unter heutigen Klimabedingungen liegt sehr niedrig. Daher muß die Bodenerosion möglichst gering gehalten werden, um an spätere Generationen fruchtbare Böden weitergeben zu können. Andererseits ist der Ackerbau notwendig, um die Nahrungsversorgung sicherzustellen und die Kulturlandschaft zu erhalten. Jede Bewirtschaftung, bei der zumindest zeitweise die Bodenoberfläche nicht durch ein dichtes Mulch- oder Pflanzendach geschützt wird, führt aber zu einem gegenüber der natürlichen Erosionsrate verstärkten Bodenabtrag. Der tolerierbare Bodenabtrag T ist ein Maß, um in diesem Interessenskonflikt zwischen Bodenerhaltung und Bodennutzung abzuwägen. Der T -Wert gibt an, wieviel Boden langfristig abgetragen werden kann, ohne eine zu starke Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit zu riskieren.

Auf sehr flachgründigen Böden (< 30 cm), die auf einem schwer verwitterbaren, kaum durchwurzelbaren Untergrund aufliegen, führt der Bodenabtrag zu einer deutlichen Verringerung des Wurzelraumes. Für diese Böden wird daher nur ein Bodenabtrag von $1 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ als tolerierbar angesehen. Mit dieser Abtragsrate würde es ca. 4 500 Jahre dauern, bis der derzeitige Boden vollständig erodiert wäre, falls es zu keiner Bodenneubildung käme. Je mächtiger der Boden, je besser die Durchwurzelbarkeit des Ausgangsgesteins und je schneller die Bodenbildung ist, umso mehr Erosion wird unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit der Bodenfruchtbarkeit als tolerierbar angesehen. Böden auf mächtigen Lößpaketen haben daher den höchsten T -Wert von $10 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$. Das Ausgangsgestein Löß ist gut durchwurzelbar und ein Verlust an Oberboden beeinträchtigt die Produktivität des Standorts weniger stark. Auf diesen Böden sind häufig Schäden als schwerwiegender anzusehen, die erosionsfern entstehen.

Interpretation: Der höchste Bodenabtrag kann in den ausgesprochenen Lößgebieten des Dungaues und des Ochsenfurter Gäus toleriert werden. Daneben herrschen im lößreichen Westries tiefgründige Böden ebenso vor wie in den Begleitstreifen der alpinen Flüsse: die Ingoistädter Alb und die Egualb auf der Südlichen Frankenalb, die Aindlinger Terrassentreppe zwischen Lech und Donau, der Isarsaum nördlich von Landshut und das Untere Rottal. Auch auf den Altmoränen, besonders auf der Erdinger Altmoräne, kann wegen der großen Lößmächtigkeiten ein höherer Bodenabtrag toleriert werden.

Sehr steinige, flachgründige Böden, auf denen Bodenverluste zu starken Produktivitätsverlusten führen, kommen verbreitet in den Alpen und in den Mittelgebirgen vor. Von den Mittelgebirgen haben besonders niedrige T -Werte der Innere Bayerische und Oberpfälzer Wald, der Falkensteiner Vorwald, das Hohe Fichtelgebirge, der Frankenwald, die Hohe Rhön und die Östliche Vorrhön. Aber auch auf den Schotterflächen der Alpenflüsse sind sehr flachgründige Böden verbreitet, am Lechfeld und in der Münchner Schotterebene. Besonders am Lechfeld tritt damit ein scharfer Gegensatz zu den tiefgründigen Lössen der nahen Löß-Akkumulationslagen auf, auf denen der tolerierbare Bodenabtrag über $8 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ erreichen kann.

Im größten Teil Bayerns liegen die tolerierbaren Bodenabträge auf landwirtschaftlichen Flächen im mittleren Bereich zwischen 3 und $7 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$. Südlich der Donau ist der Lößeinfluß i. d. R. etwas stärker. Tiefgründigere Böden mit tolerierbaren Bodenabträgen zwischen 5 und $7 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ herrschen vor. In Ostbayern, mit Ausnahme des lößbeeinflussten Vorwaldrandes, des Lallinger Winkels und der Cham-Further Senke, kann mit $3\text{--}5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ etwas weniger toleriert werden. Auch in Nordbayern gilt dies für den überwiegenden Teil der Böden. Nur im Mainspessart, im Grundgebirgsspessart, in Teilen des mittelfränkischen Keuperbeckens und in den stärker lößlehmbeflüßten Arealen der Südlichen Frankenalb liegen die Böden im Mittel ebenfalls im Toleranzbereich $5\text{--}7 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$.

Ausblick: Der T -Wert bietet einen Kompromiß aus der Abwägung verschiedener Interessen. Er entsteht also durch einen politischen Prozeß. Der T -Wert ist daher kein feststehender, meßbarer, „wissenschaftlicher“ Wert, sondern es wären auch andere Einstufungen denkbar. So wurde vorgeschlagen, die tiefgründigen, produktivsten Böden am stärksten zu schützen, da sie langfristig für die Ernährung wichtiger sind, als die flachgründigen, wenig produktiven Böden. Unter diesem Aspekt würde sich eine inverse Darstellung der T -Werte ergeben: die roten Flächen würden zu grünen und umgekehrt.

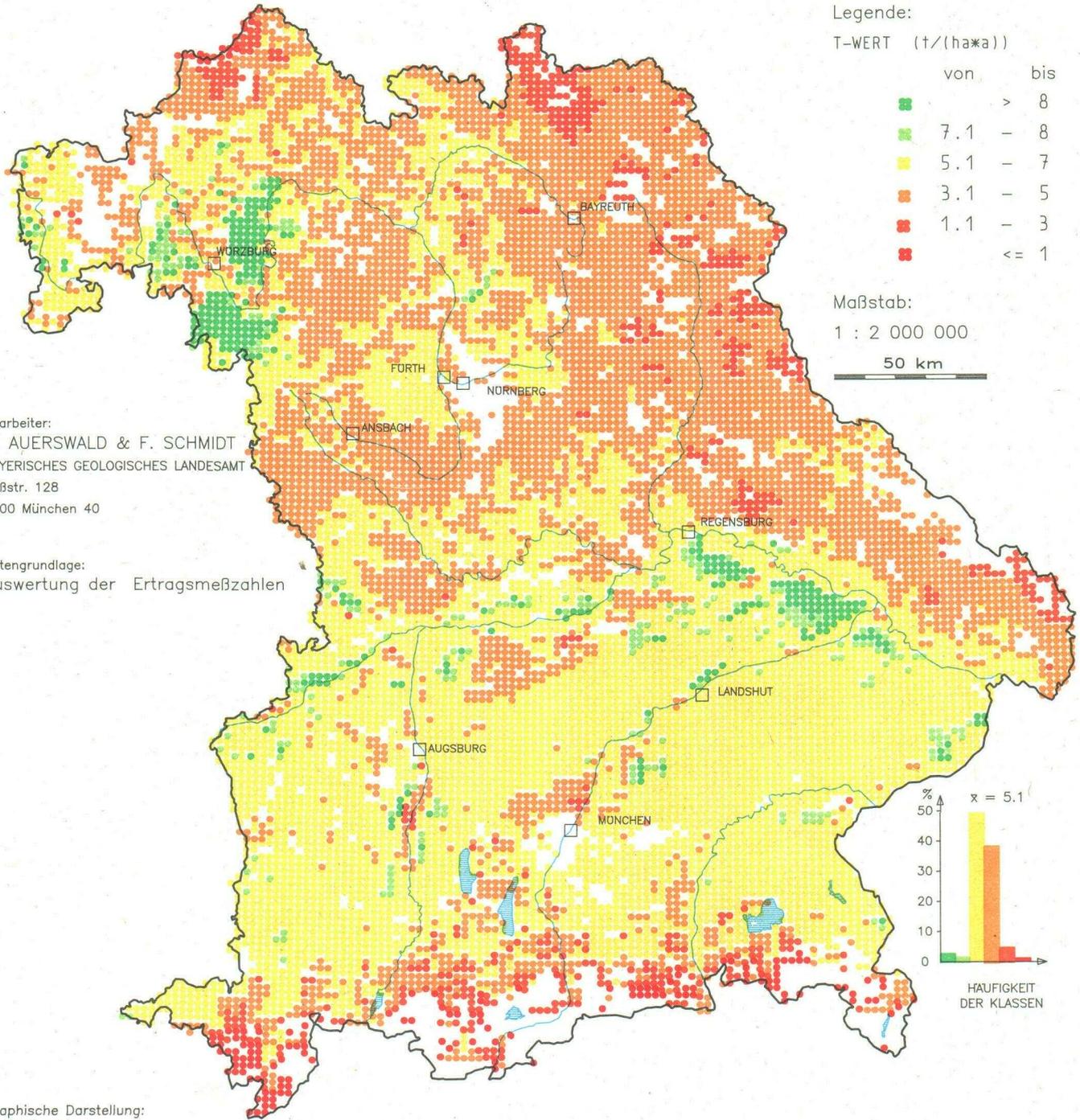
Der Produktivitätsverlust schädigt den einzelnen Landwirt und die künftigen Generationen. Für die heutige Gesellschaft sind diese flächenbezogenen Schäden wegen der augenblicklichen Überschussituation auf den Agrarmärkten von untergeordneter Bedeutung. Die Gesellschaft als Gesamtheit wird wesentlich stärker durch erosionsferne Schäden, wie Verlandung und Gewässereutrophierung durch den Phosphateintrag, belastet (NAPIER, 1986). Es wäre daher denkbar, den hoch mit Phosphat versorgten Böden einen geringeren Toleranzwert zuzuweisen. Dies hätte wiederum ein stark verändertes Kartenbild zur Folge. Welche Aspekte neben den hier erwähnten beim Festlegen von T -Werten von Bedeutung sein können, wird von HAHN et al. (1986) aufgezeigt.

Am meisten Bodenabtrag kann in Gebieten toleriert werden, in denen mächtige Löss- und Lößlehme vorherrschen. Dies sind gleichzeitig die Gebiete mit besonders leicht erodierbaren Böden. Auf der anderen Seite kann auf flachgründigen, sehr steinigen Böden nur wenig Bodenabtrag toleriert werden, diese Böden sind aber gleichzeitig weniger erodierbar. In dem überregionalen Maßstab dieser Übersichtskarten kommt es also überwiegend zu einer Kompensation dieser beiden Bodeneigenschaften: eine hohe Erodierbarkeit wird durch einen hohen T -Wert ausgeglichen. Auf das Erosionsrisiko im vorliegenden Maßstab hat der Boden wegen dieser beiden entgegengesetzt wirkenden Eigenschaften nur eine relativ geringe differenzierende Wirkung. Die Berechnung des Erosionsrisikos mit einem einheitlichen K -Faktor (z. B. $0,3$) und einem einheitlichen T -Wert (für $K = 0,3$: $T = 5 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$) hätte die Karte des Erosionsrisikos nur in Einzelfällen verändert. Überspitzt ausgedrückt hat der Boden auf das Risiko der Bodenerosion keinen direkten Einfluß. Wichtiger sind dagegen die indirekten Einflüsse. Der Boden bestimmt ganz wesentlich die Art und Intensität der Bodennutzung und somit auch das Ausmaß der Erosion.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DER MITTLEREN TOLERIERBAREN BODENABTRÄGE LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN

MÜNCHEN 1986



5.5 Erosionsrisiko landwirtschaftlicher Flächen und der Gesamtfläche

Einführung: Die Gefährdung des Bodens oder eines anderen Teils des Ökosystems hängt nicht nur von den einwirkenden Belastungen ab, sondern auch von der Belastbarkeit. Die Höhe des Risikos einer Schädigung wird daher durch das Verhältnis von Belastung zur Belastbarkeit bestimmt. Das Risiko der Bodenerosion ergibt sich als Quotient aus mittlerem jährlichem Abtrag und tolerierbarem Abtrag (A/T). Ein Risiko von 1 oder 100 % bedeutet demnach, daß ebensoviel Boden abgetragen wird, wie gerade noch als tolerierbar anzusehen ist. Höhere Werte zeigen an, daß die tolerierbare Menge überschritten wird, während bei niedrigeren Werten das Risiko einer Schädigung der Bodenfunktionen gering ist.

Interpretation: Das größte Risiko der Schädigung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion ist in den folgenden Landschaften zu erwarten: In der Hallertau wird durch den hohen Anteil des erosionsfördernden Hopfens der tolerierbare Abtrag großflächig bis um das Vierfache überschritten. Auch auf den Fränkischen Platten ist trotz der großen Lößmächtigkeiten und der daraus sich ergebenden hohen T-Werte das Erosionsrisiko groß. Eine intensive ackerbauliche Nutzung und eine relativ hohe natürliche Disposition treffen hier zusammen. Ähnliche Verhältnisse gelten für den Ackerbauschwerpunkt Östliches Tertiärhügelland. Ebenfalls sehr hohe Risiken sind im Alpenraum verbreitet, was auf das Zusammentreffen von flachgründigen Böden und erosionsfördernden natürlichen Gegebenheiten zurückzuführen ist. Auch am Vorwaldrand des Bayerischen Waldes besteht ein hohes Risiko zur Schädigung der Bodenfruchtbarkeit.

Geringe Risiken kommen dagegen in Gebieten vor, die eine niedrige natürliche Erosionsdisposition aufweisen. Selbst intensiver Ackerbau führt hier zu keiner hohen Gefährdung. Zu diesen Gebieten zählen das Keuperbecken, der Rieskessel und vor allem die verschiedenen Flußtäler und Schotterfluren.

Geringe Risiken im Mittel der landwirtschaftlichen Flächen sind aber auch typisch für niederschlagsreiche Gebiete mit sehr hohem Grünlandanteil, wie den südlichen Teil der Jungmoräne, die südliche Iller-Lechplatte und den Inneren Bayerischen Wald.

Im Gegensatz zu den Gebieten geringer natürlicher Erosionsdisposition sind in den grünlandreichen Gebieten die wenigen Ackerflächen oft hoch gefährdet. Zur Darstellung dieser Differenzierung zwischen hoch gefährdeten Äckern und gering gefährdetem Grünland reicht allerdings die Auflösung der vorliegenden Karten nicht aus.

Die übrigen Regionen Bayerns weisen meist Risiken um 100 % auf. Jedoch muß man damit rechnen, daß besonders auf Ackerflächen bereits über das tolerierbare Maß abgetragen wird. Im Mittel aller landwirtschaftlichen Flächen sind die Bodenverluste aber noch tragbar.

Das Risiko auf landwirtschaftlichen Flächen liegt im Mittel bei 97 %, d. h. es wird in etwa soviel Boden abgetragen, wie gerade noch toleriert werden kann. Dies gilt

aber nur im Mittel, denn auf 50 % der Raster wird dieser Schwellenwert bereits überschritten.

Außerdem ist zu beachten, daß die einzelnen Rasterflächen jeweils das gewogene Mittel der Acker- und Grünlandflächen angeben. Das heißt, daß auf Rastern, auf denen im Mittel der Bodenabtrag noch toleriert werden kann, die Toleranz auf den Ackerflächen i. d. R. schon überschritten (Tab. 5.5) ist. Im Mittel aller Acker-raster wird der tolerierbare Bodenabtrag um 67 % überschritten.

Tab. 5.5: Risiko von langfristigen Bodenschäden durch Abtrag auf verschieden genutzten Flächen

Risiko (%)	Ackerflächen	Landwirtschaft	Wald	Gesamt
-- Anteil der Raster (%) -----				
0-20	10	20	75	26
21-50	13	15	15	16
51-100	11	15	3	18
101-200	20	30	1	25
201-400	32	18	1	11
> 400	14	2	5	4
mittleres Risiko	167	97	12	53

Risiko auf Ackerflächen: Auf die Darstellung des Risikos auf Ackerflächen wurde verzichtet, da die Karte im wesentlichen mit der Karte der landwirtschaftlichen Flächen übereinstimmt. Nur fehlen auf der Karte der Ackerflächen die grünen Punkte der ausgesprochenen Grünlandstandorte. Dies bedingt zum großen Teil die höheren Anteile risikoreicher Ackerflächen in Tab. 5.5. Es treten also auf der Karte für Ackerflächen nicht generell viel höhere Risiken auf, sondern nur der Anteil geringer Risiken liegt niedriger, weil in den auf Ackerflächen hoch gefährdeten Gebieten der Grünlandanteil i. d. R. niedrig ist.

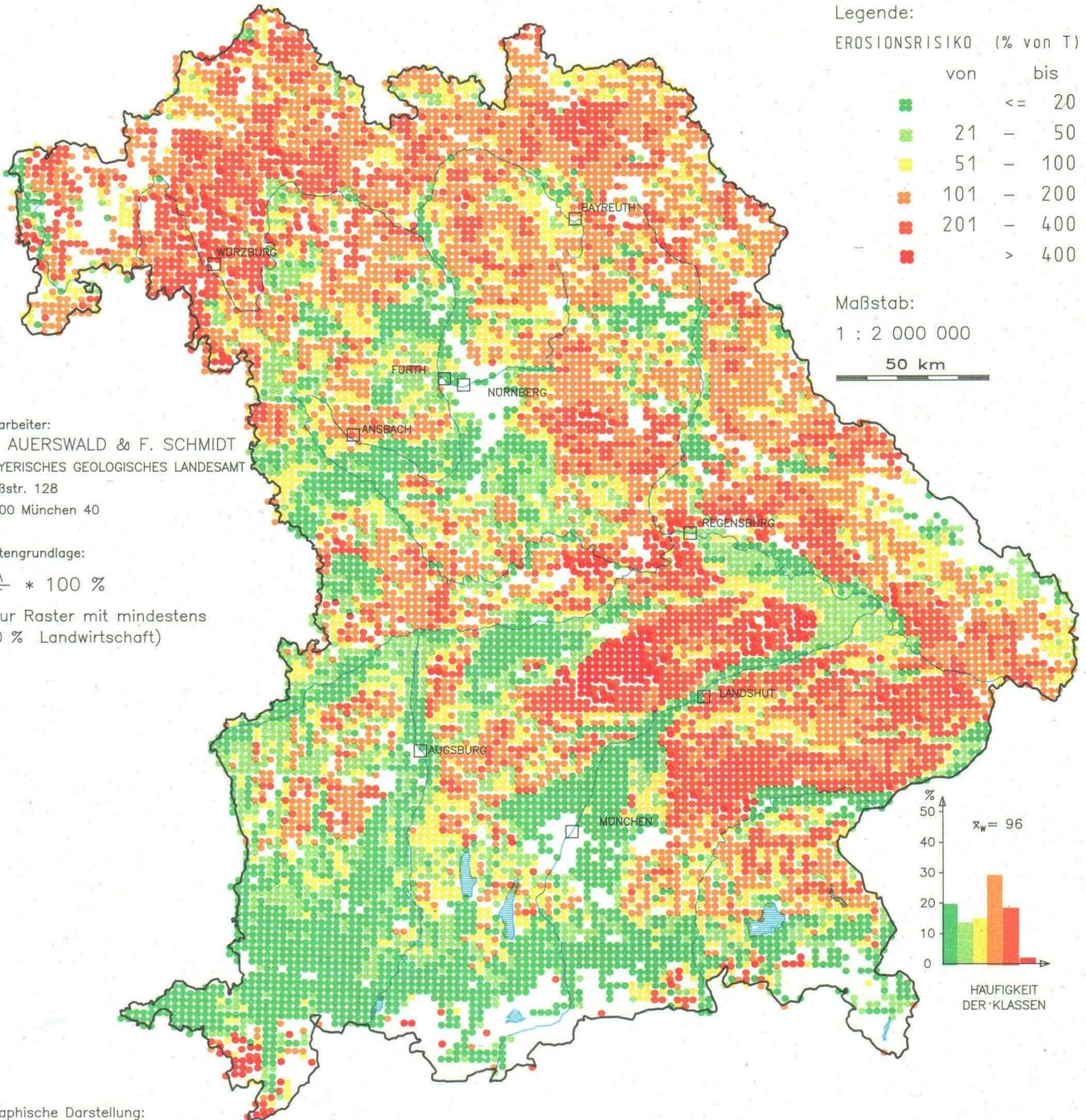
Daher kommt es dort nur zu einer sehr geringen Kompensation zwischen Flächen unterschiedlicher Nutzung (vgl. Kap. 4.4). Die (absolute) Anzahl der Raster über 100 % Risiko nimmt auf Grund dieser Spezialisierung in der landwirtschaftlichen Nutzung nur um 12 % gegenüber der Ackerflächenkarte ab. Die Zahl der Raster mit weniger als 100 % Risiko liegt dagegen auf der Karte der landwirtschaftlichen Flächen um 72 % höher als auf der Ackerflächenkarte. D. h. knapp die Hälfte der grünen bis gelben Flächen auf der dargestellten Karte sind auf einen hohen Grünlandanteil zurückzuführen, während die übrige Hälfte vor allem einer geringen natürlichen Erosionsdisposition zuzuschreiben ist.

Eine Verschiebung zu niedrigeren Risiken auf landwirtschaftlichen Flächen tritt in größerem Umfang nur in den ostbayerischen Mittelgebirgen auf. Dort ist die Spezialisierung der Landwirtschaft überwiegend auf Grund der klimatischen Bedingungen weniger weit fortgeschritten, und Acker- und Grünlandnutzung werden in größerem Umfang nebeneinander betrieben.

Risiko auf Waldflächen: Sehr niedrig liegt das Erosionsrisiko auf Waldflächen. Allerdings treten auch un-

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DES EROSIONSRISIKOS
LANDWIRTSCHAFTLICHER FLÄCHEN
MÜNCHEN 1986



Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

ter Wald auf 7 % der Raster Risiken über 100 % auf. Diese Raster liegen fast ausschließlich im Alpenraum. Dort treffen sehr hohe natürliche Erosionsdispositionen mit flachgründigen Böden und daher niedrigen tolerierbaren Bodenabträgen zusammen.

Risiko auf der Gesamtfläche: Diese Karte faßt alle erhobenen Daten zusammen. Insgesamt wurden für jeden der 13 067 Raster 18 erosionsrelevante Parameter berücksichtigt. Sie wurden mit den in Kap. 6 beschriebenen Submodellen in ihrer Bedeutung hinsichtlich der Bodenerosion bewertet.

Die daraus abgeleiteten Faktoren wurden im Gesamtmodell anschließend verknüpft und das Risiko einer Bodenschädigung berechnet.

Da nur 55 % Bayerns landwirtschaftlich genutzt werden (WÜRFL et al., 1984), sinkt auf der Gesamtfläche das Risiko auf die Hälfte des Wertes landwirtschaftlicher Flächen. Allerdings bleibt auch bei dieser sehr stark verschleifenden Mittelung aller Nutzungsarten immer noch bei 40 % der Raster das Risiko über 100 %. Die flächenhafte Verbreitung dieser hoch gefährdeten Gebiete stimmt mit der Risikokarte der landwirtschaftlichen Flächen größtenteils überein. In den hoch gefährdeten landwirtschaftlichen Gebieten wird nicht nur eine hackfruchtintensive Ackernutzung betrieben, sondern auch der Anteil der landwirtschaftlichen Fläche liegt dort sehr hoch. Das hohe Risiko auf Ackerflächen wird daher kaum durch das geringe Risiko der Wald- und Grünlandflächen kompensiert. Die Abnahme des Wald- und Grünlandanteils mit zunehmender Intensität der Ackernutzung wird an Hand des Zuckerrübenanteils in Abb. 4.4 exemplarisch dargestellt.

Auffälligste Veränderung gegenüber der Karte der landwirtschaftlichen Flächen stellt der nahezu massive Block höchster Erosionsgefährdung im Alpenraum dar. Diese auf Grund ihrer flachen Böden sehr sensible Landschaftseinheit ist durch die natürlichen und anthropogenen Bedingungen von dem Bodenabtrag durch Wasser sehr stark betroffen.

Ausblick 1: In manchen Landschaften, wie dem Tertiärhügelland, wird selbst im Mittel aller Nutzungstypen der tolerierbare Bodenabtrag großflächig überschritten. Es ist jedoch nicht gleichbedeutend, ob die Toleranz im Mittel ganzer Einzugsgebiete oder nur auf einer kleinen Teilfläche überschritten wird, z. B. einem Acker im grünlandreichen Moränengebiet. Der tolerierbare Bodenabtrag berücksichtigt nur die Schädigung der Einzelfläche. Wird aber in einem großen Gebiet generell viel abgetragen, treten Folgeschäden stärker in den Vordergrund. Beispiele hierfür sind die Schwebstoffbelastung der Fließgewässer und die Verlandung von Stillgewässern. Diese sekundären Schäden gewinnen mit zunehmender Größe der abtragsintensiven Gebiete an Bedeutung. Daher ist es denkbar, in erosionsintensiven Landschaften zur Verringerung der sekundären Schäden einen niedrigeren tolerierbaren Bodenabtrag anzusetzen, als sich allein aus der Bodengründigkeit ergibt. In den USA wird daher unterschieden zwischen einem tolerierbaren Bodenabtrag T_1 , der sich aus der Bodengründigkeit und der Bodenreue ergibt, und einem tolerierbaren Bodenabtrag T_2 , der sekundäre Schäden bewertet (LARSON, 1981). Der niedrigere der beiden Werte bestimmt dann das tole-

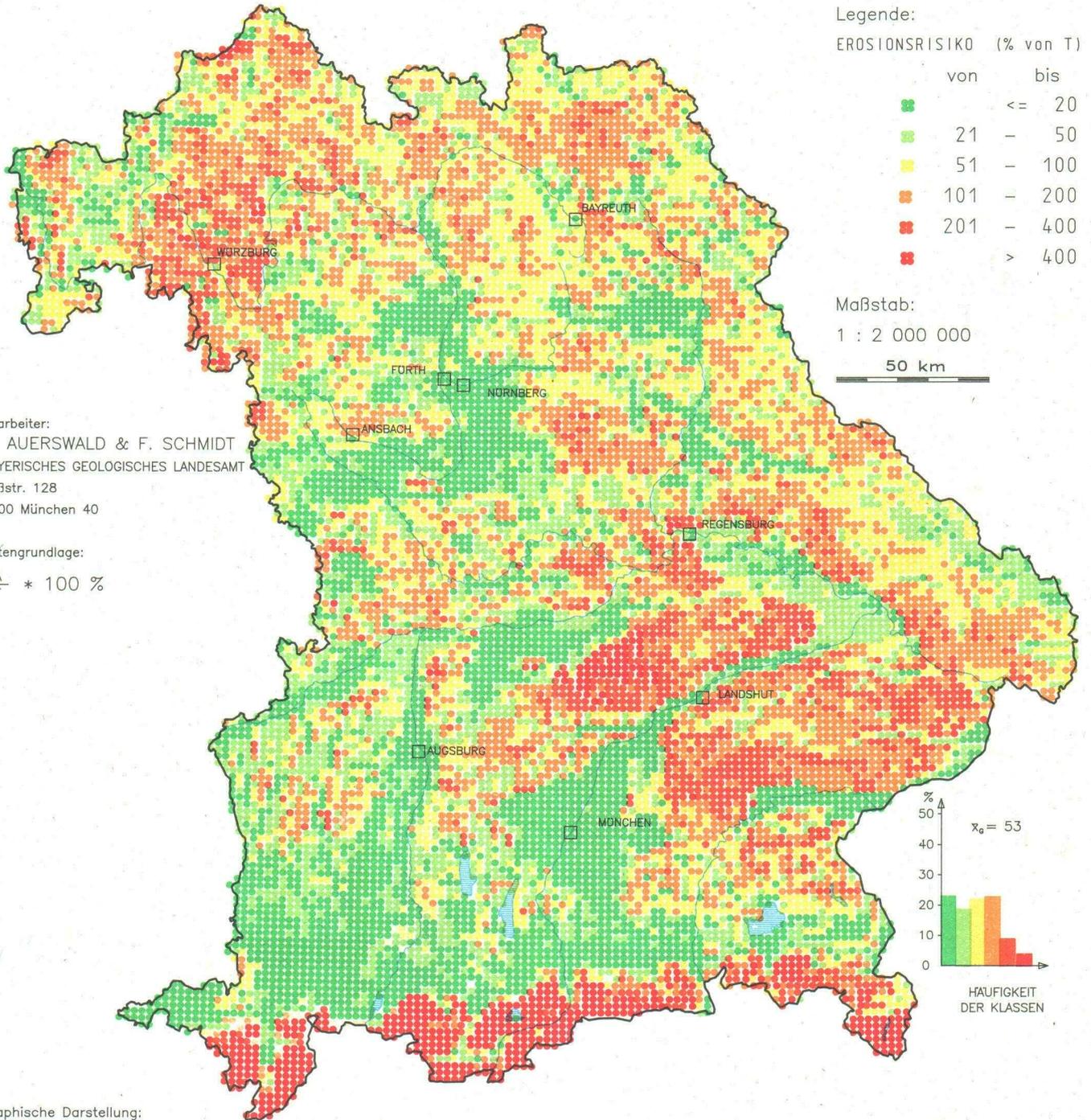
rierbare Maß. Weitere für Toleranzgrenzen relevante Einflußgrößen diskutieren HAHN et al. (1986).

Ausblick 2: Ein Teil der dunkelgrünen, als sehr gering gefährdet ausgewiesenen Gebiete sind Moore, so z. B. das Donaumoos, das Dachauer und das Erdinger Moos. Die ausgewiesenen, geringen Bodenverluste beziehen sich nur auf die Bodenabspülung durch Wasser, die in ebenen Moorgebieten nicht vorkommt. Dennoch sind diese Gebiete nicht ungefährdet. Durch die vom Menschen ausgelöste oder stark geförderte Moorsackung verringert sich die Moormächtigkeit bis um 1 cm pro Jahr. Während auf Mineralböden ein Bodenverlust von 15 t/ha · a, der als keinesfalls tolerierbar angesehen wird, nur einen jährlichen Verlust von ca. 1 mm Boden bedeutet, wird auf Moorböden bewußt und z. T. sogar gefördert eine zehnfache Verringerung der Bodenmächtigkeit in Kauf genommen. Diese Bodenverluste, die 30–50 t/ha · a betragen können, wiegen umso schwerer, als die Zersetzung der organischen Substanz eine tatsächliche Vernichtung von Bodenmaterial darstellt. Der Abtrag von Mineralboden verlagert dagegen nur das Bodenmaterial, vernichtet es aber nicht.

Die hohe Moorsackungsrate kann zu entsprechend großen ökologischen Problemen führen. Durch die Mineralisierung von 1 cm Niedermoor können mehrere Tausend Kilogramm Nitrat je Hektar freigesetzt werden und sehr hohe Nitratgehalte im Grundwasser auftreten. Gelangen die durch die Mineralisierung der organischen Substanz freigesetzten Nährstoffe z. B. über das Dränwasser in Oberflächengewässer, kann das freigesetzte Phosphat zur Gewässereutrophierung führen.

ATLAS DER EROSIONSGEFÄHRDUNG IN BAYERN

ÜBERSICHTSKARTE DES EROSIONSRISIKOS
UNTER GEGENWÄRTIGEN NUTZUNGSBEDINGUNGEN



Bearbeiter:
K. AUERSWALD & F. SCHMIDT
BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT
Heßstr. 128
8000 München 40

Datengrundlage:
 $\frac{A}{T} * 100 \%$

Graphische Darstellung:
A. Meßli, GLA

6. Methodischer Teil

6.1 Erfassungsmethodik

Rasterung: Die Allgemeine Bodenabtragungsgleichung wurde geschaffen, um die Erosionsgefährdung von Einzelschlägen zu berechnen. Die Anwendung für eine überregionale Karte der Erosionsgefährdung war primär nicht vorgesehen. Bei der Übertragung auf neue Anwendungsgebiete ist möglichst darauf zu achten, die Rahmenbedingungen der ABAG einzuhalten, da sonst die berechneten Werte mit einem nicht kalkulierbaren Fehler behaftet sind (vgl. WISCHMEIER, 1976a).

Die Bedingungen des Einzelschlages können am leichtesten für Rasterflächen nachvollzogen werden. Da Rasterkarten im Hinblick auf Datenerfassung und Datenauswertung wesentlich leichter zu handhaben sind, wurde der Erosionsatlas als Rasterkarte angelegt.

Auch die Mehrzahl der bisher vorliegenden Erosionskarten stellen Rasterkarten dar, deren Raster allerdings nicht immer in der Endkarte zu erkennen ist (vgl. Tab. 6.1). Es wurde auch nicht immer ein regelmäßiges Raster zugrunde gelegt. Häufig stellt die Gemeinde die kleinste Einheit des Rasters dar.

Das hier benutzte Raster beruht auf der Einteilung der Topographischen Karte 1:25 000 (TK25). Jedes Blatt der TK25 wurde in 25 gleichgroße Rechtecke zerlegt. Bedingt durch die unterschiedliche Größe der TK25-Blätter unterscheiden sich die Raster in ihrer Größe geringfügig. Im Mittel beträgt die Kantenlänge der so geschaffenen 13 000 Raster ca. 2,3 km. Damit erreicht man eine für den gewählten Maßstab sehr gute Auflösung, verglichen mit den Rasterungen anderer Autoren (Tab. 6.1a). Die Rasterdichten in Tab. 6.1a sind allerdings nur für den gleichen Maßstab direkt vergleichbar, da mit zunehmendem Maßstab die Heterogenität der Flächen und damit die notwendige Zahl der Raster abnimmt.

Tab. 6.1 a: Mittlere Anzahl der Rasterflächen je Kartenfläche (in cm²) für Karten der Erosionsgefährdung verschiedener Autoren

Autor & Jahr	Thematik	Maßstab	Rasterdichte
Richter, 1965	Hangneigung	1 : 1 Mio	4,2
	Ackeranteil	1 : 2 Mio	0,8
Stocking & Elwell, 1973	Erosionsgefahr in Rhodesien	1 : 1 Mio	0,5
Karl & Höltl 1974	Erosionsschäden im bayer. Alpenraum	1 : 350 000	13
	Abtragungsgefährdung	1 : 100 000	9
Diez, 1985	Erosionsgefährdung bei Flurbereinigungsprojekten	1 : 5 000	1,6
Auerswald & Schmidt, 1986	Erosionsatlas von Bayern	1 : 1 Mio	18
		1 : 2 Mio	74

Trotz der für den gewählten Maßstab hohen Auflösung umfaßt jede Rasterfläche ein relativ großes Gebiet. Da der Einteilung der Raster ein starres System zugrunde gelegt wurde, ist nicht immer mit einer befriedigenden Trennung zwischen Flächen mit unterschiedlichen Eigenschaften zu rechnen. Daher wurde für die beiden am stärksten erosionsdifferenzierenden Faktoren – die Hangneigung und die Flächennutzung – innerhalb der Rasterflächen nochmals differenziert. Wie aus Tab. 6.1b hervorgeht, ist der Einfluß dieser beiden Faktoren so groß, daß daneben die innerhalb der Raster ebenfalls auftretenden Inhomogenitäten der übrigen Faktoren vernachlässigt werden können. Die in Tab. 6.1b wiedergegebenen Werte geben die maximale Spannweite an. Diese Unterschiede treten aber zwischen benachbarten Flächen praktisch nicht auf. Eine Differenzierung nach unterschiedlichen Bodenerodibilitäten oder Hanglängen hätte daher nur zu einer relativ geringen, den Aufwand nicht rechtfertigenden Verbesserung der Ergebnisse geführt.

Tab. 6.1 b: Relative Spannweite der Erosionswirksamkeit verschiedener erosionsbeeinflussender Variablen

Variable	Minimum	Maximum
Hangneigung	1	1000
Flächennutzung	1	150
Bodenerodierbarkeit	1	6
Hanglänge	1	3
Regenerosivität	1	3
Bearbeitungsrichtung	1	2

Für die Differenzierung der Einflußgrößen Hangneigung und Bodennutzung innerhalb der Raster wurde keine starre Einteilung zugrunde gelegt, sondern die auftretenden Ausprägungen dieser Faktoren mit ihrem Flächenanteil am Raster bestimmt. Dies wird bei der Erläuterung der Bestimmung der Hangneigung näher beschrieben.

Durch die Aufteilung der Raster in unterschiedliche Nutzungs- und Hangneigungsbereiche wird die Zahl der Rasterflächen verdoppelt (26 000 Flächenberechnungen), sofern in den Karten die Gesamtfläche dargestellt wird. Da zudem keine starre Flächeneinteilung für die verschiedenen Nutzungen innerhalb der Raster zugrunde gelegt wurde, liegt die mit dieser Erfassungsmethode erzielbare Auflösung weit über der Auflösung, wie sie nach Tab. 6.1a allein aus der Zahl der Raster zu erwarten wäre. Um beispielsweise die sehr enge Verzahnung von Wald und Ackerflächen im Tertiärhügelland, wie sie dem Luftbildatlas von Deutschland zu entnehmen ist (DIERCKE, 1983), in einem starren Raster mit der gleichen Genauigkeit wie bei dieser flexiblen Zuordnung erfassen zu können, wäre ein wesentlich engeres Netz notwendig gewesen.

6.2 Datengrundlage

Für jedes Rasterelement wurden die folgenden Grunddaten erfaßt:

- Regenerosivität
- Bodenerodierbarkeit
- Hangneigung
- Hanglänge
- Bodennutzung
- Tolerierbarer Bodenabtrag

Regenerosivität: Für die Erosivität der Niederschläge lag bereits eine flächendeckende Karte vor, die Isoerodentkarte von ROGLER & SCHWERTMANN (1981). Diese Karte basiert auf der räumlichen Verteilung der Sommerniederschläge. Um eine bessere Auflösung zu erreichen, wurde zwischen den Isoerodenten an Hand der Karte der Sommerniederschläge interpoliert. Zur Umrechnung der Sommerniederschläge in Regenerosivitäten wurde die von ROGLER & SCHWERTMANN (1981) angegebene Regression verwendet:

$$R = -1.48 + 0.141 \cdot N_s$$

mit: $R = \text{Jahreserosivität in } \text{kJ/m}^2 \cdot \text{mm/h}$

$N_s = \text{Sommerniederschläge in mm}$
(Mai–Oktober)

Damit konnte eine Abstufung in ca. 5-R-Einheiten erreicht werden. Dies entspricht ca. 4 % des Maximalwertes von 125.

Bodenerodierbarkeit: Da nur die Bodenschätzung und daraus abgeleitete Karten eine bayernweite Aussage über die Verteilung der Böden machen, mußte die Bodenerodierbarkeit auf dieser Grundlage bestimmt werden. Dies war bereits 1960 von AHRENS angedeutet und 1984 von SCHMIDT & WITTMANN an einem Beispiel aus der Hallertau durchgeführt worden. AUERSWALD (1986a) konnte dann zeigen, daß den Einheiten des Klassenbeschreibs K-Faktoren mit ausreichender statistischer Sicherheit zugeordnet werden können, wenn die ausgewerteten Flächen hinreichend groß sind. Diese Bedingung ist bei der gegebenen Rastergröße erfüllt. Der von AUERSWALD (1986a) erarbeitete Umsetzungsschlüssel wurde ergänzt, um ihn in ganz Bayern anwenden zu können.

Dieser in Tab. 6.2a angegebene Umsetzungsschlüssel wird inzwischen auch schon von anderen Autoren verwendet (DIEZ, 1985) und hat in die Neuauflage des Erosionshandbuchs Eingang gefunden (SCHWERTMANN et al., 1987).

Bei diesem Umsetzungsschlüssel wurde das Ausgangsgestein mitberücksichtigt. Auf extrem feinsandreichen Formationen (> 60 % fS) sind die für die übrigen Böden geltenden K-Faktoren zu niedrig.

Zwischen den Klassenbeschrieben der Grünlandböden differenziert Tab. 6.2a nur wenig und die statistische Unsicherheit der K-Faktor-Zuordnung ist sehr hoch (AUERSWALD, 1986a). Sofern in den Rasterflächen Ackerbeschriebe vorlagen, wurden daher diese bewertet. Problematisch war die K-Faktor-Ansprache für reine Grünlandraster. Diese treten vor allem im Alpenraum auf. Auf diesen Flächen ist daher die K-Faktor-Zuordnung sehr unsicher und die K-Faktoren liegen überwiegend im Bereich 0,30–0,35.

Tab. 6.2 a: Zuordnung von K-Faktorenwerten zu den Klassenbeschrieben der Bodenschätzung

Bodenart	Entstehung	Zustandsstufe		feinsandreiche Formationen*	Grünland
		≤ 4	≥ 5		
S	D, Al, V	0.10		0.20	0.20
SI	D, Al, V	0.15		0.20	
IS	D, Al, V	0.20		0.25	0.30
	Lö	0.25			
SL	Vg	0.10			
	D, Al, V	0.30	0.25	0.35	
sL	Lö	0.35			
	Vg	0.15			
L	D, Al	0.40		0.55	0.35
	Lö	0.55			
	V	0.40	0.35		
	Vg	0.25	0.20		
LT	D, Al	0.40	0.35		
	V	0.30	0.25		
	Vg	0.20	0.20		
T	D, Al	0.30			0.30
	V	0.25			
	Vg	0.15			

*: Feinsandreiche Formationen: Mehl- und Schillsande (Süßbrackwassermolasse), Miltenberger Sandstein (Unterer Buntsandstein), Schilfsandstein (Gipskeuper), Eisensandstein (Dogger-B), Knollensandstein (Oberkreide).

Für Waldböden existiert kein geprüftes Verfahren zur Berechnung des K-Faktors. In der Übertragung der USLE auf waldbenutzte Flächen empfehlen DISSMEYER & FOSTER (1984), den K-Faktor wie bei landwirtschaftlich genutzten Flächen zu berechnen und die organische Auflage durch einen Korrekturfaktor zu berücksichtigen. Es erschien daher gerechtfertigt, den K-Faktor benachbarter landwirtschaftlicher Flächen nach einer Anpassung mit dem Korrekturfaktor auch auf die Waldflächen anzuwenden. Dies ist auch dadurch gerechtfertigt, daß die Bodenerodibilität einen vergleichsweise geringen Einfluß auf die Differenzierung des Bodenabtrags hat (vgl. Tab. 6.1a). Auch ist der Abtrag von Waldflächen wegen der hervorragenden Schutzwirkung des Waldes sehr gering, so daß sich ein Fehler in der K-Zuordnung nicht wesentlich auf den Gesamtabtrag eines Gebietes auswirkt.

Im Gegensatz zum R-Faktor ist beim K-Faktor mit einer größeren Variabilität innerhalb eines Rasters zu rechnen. Dennoch war die Zuordnung von K-Faktoren zu den Rasterflächen in den meisten Fällen unproblematisch, da die eng verzahnten Sand- und Tonböden des Schichtstufenlandes (z. B. des Feuerletzens und des Burgsandsteins) ähnliche K-Faktoren aufweisen, während die wesentlich erosionsanfälligeren lößlehmbeeinflussten Lehme nur großflächig vorkommen. Dadurch fallen beispielsweise die in der Standortgliederung von Bayern als 2 Landschaften ausgewiesenen Ton- und Sandsteingebiete des Keupers in der Karte der Bodenerodibilität zu einer einheitlichen Fläche zusammen.

Bodengründigkeit: Neben der Bodenerodierbarkeit ist eine weitere Bodeneigenschaft im Hinblick auf die Erosion von Bedeutung, die Bodengründigkeit. An Hand der Gründigkeit wird festgelegt, wieviel Bodenabtrag gerade noch als tolerierbar angesehen wird. Auch für diesen Bodenparameter mußte auf die Bodenschätzung zurückgegriffen werden. Aus den Acker- bzw. Grünlandbeschrieben kann mit ausreichender Genauigkeit die mittlere Gründigkeit eines Feldes berechnet werden (AUERSWALD, 1987a):

$$\text{GRD} = 0,428 + 0,136 \text{ EZ}$$

mit: GRD = Gründigkeit in dm
EZ = Endzahl der Bodenschätzung

Die Regression unterschätzt die Gründigkeit von armen Sandböden (AUERSWALD, 1987a). In Landschaften, in denen tiefgründige Sandböden Endzahlen unter 50 bedingen, wurde die Gründigkeit um 3 dm gegenüber der nach der Regression zu erwartenden Gründigkeit vergrößert. Dies war in der Untermainebene bei einem Raster, im Keuperbecken bei 33 Rastern und im Sandtertiär bei 15 Rastern der Fall.

Als Kartengrundlage für die Erfassung der Endzahlen wurde die Karte der Ertragsmeßzahlen von KNICKMANN & WURM (1956) verwendet.

Aus den Ertragsmeßzahlen wurden die Gründigkeit und der tolerierbare Bodenabtrag T berechnet:

$$T = -0,2 + 0,12 \cdot \text{EZ}$$

Als Erosionsrisiko wurde das Verhältnis des berechneten Abtrags zum tolerierbaren Abtrag bezeichnet:

$$\text{Risiko} = \frac{A}{T} \cdot 100 \%$$

Ein hohes Risiko der Schädigung der Bodenproduktivität durch Bodenabschwemmung liegt vor, wenn entweder hohe Abträge A auftreten oder nur geringe Abträge T toleriert werden können.

Hangneigung: Die Hangneigung ist der langfristig am stärksten erosionsbestimmende Faktor (vgl. Tab. 6.1b; AUERSWALD, 1987b). Die bisher für Erosionskarten verwendeten Einteilungen der Hangneigungen tragen dem nicht Rechnung und erschienen viel zu grob (Tab. 6.2b). Daher wurde eine wesentlich feinere Abstufung gewählt. Statt der 6-stufigen Skala, die STÄBLEIN (1981) für eine Erosionskarte im Maßstab 1:25 000 verwendet, wurde für den Erosionsatlas bei wesentlich kleinerem Maßstab eine 13-stufige Skala entworfen. Wie die in Tab. 6.2b mit ausgewiesenen S-Faktoren zeigen, unterscheiden sich die einzelnen Klassen in ihrem Erosionseinfluß um ca. den Faktor 1,3. Nur für die sehr wenig reliefierten Gebiete ist die Abstufung größer, was aber wegen der sehr geringen Erosionsdisposition dieser Gebiete ohne Bedeutung ist.

Tab. 6.2 b: Einteilung der Hangneigungen N (in Grad) und S-Faktoren des Klassenmittels unterschiedlicher Erosionskarten

Richter 1965		Stäblein 1981		Sokollek & Wulff, 1984		Erosionsatlas 1986		
1 : 1 Mio		1 : 25 000		1 : 5 000		1 : 2 Mio		
N	S	N	S	N	S	N	S	
0-2	0.09	0-2	0.09	0	-1.1	0.03	0-0.5	0.008
2-6	0.7	2-4	0.4	1.1-2.9	0.2		0.5-1	0.06
6-12	2.3	4-7	1.1	2.9-5.1	0.7		1-2	0.2
12	(5.1)	7-11	2.3	5.1-6.8	1.2		2-3	0.3
		11-15	4.1	6.8-10	2.1		3-5	0.7
		15-35	11.6	>10	(4.6)		5-6	1.1
							6-7	1.4
							7-8	1.8
							8-10	2.3
							10-12	3.1
							12-15	4.1
							15-18	5.6
							>18	(8.0)

Die Klassen überschneiden sich wie auch bei den anderen Autoren an den Klassengrenzen, da die jeweils ausgewiesenen Klassen nur den Bereich der typischen Hangneigung angeben können. Sie umfassen jedoch nicht den Gesamtbereich der auf einem Raster vorkommenden Hangneigungen.

Für Hangneigungen > 18° wurde auf eine weitere Differenzierung verzichtet, da diese Hangneigungen aus der Liniendichte der TK25 nur sehr schwer abzuschätzen sind, kaum noch landwirtschaftlich genutzt werden, einen sehr geringen Flächenanteil haben und darüber hinaus für so steile Hänge kein gesichertes Erosionsmodell existiert (AUERSWALD, 1986b).

Dagegen wurde ein relativ großer Anteil (8,8%) der nicht landwirtschaftlichen Flächen der größten Hangneigungsklasse zugewiesen. Da diese Klasse nach oben offen ist, können für sie eigentlich keine mittlere Hangneigung und kein mittlerer S-Faktor angegeben werden. Auch die Häufigkeitsverteilung der vergebenen Klassen (Tab. 6.2c) deutet darauf hin, daß für eine genauere Prognose der Abträge unter Wald Klasse 6 nochmals hätte unterteilt werden müssen. Die Berechnung dieser überwiegend in den Alpen und den Mittelgebirgen vorkommenden Flächen erfolgt daher mit einer eingeschränkten Genauigkeit. Da die Berechnung der Abträge von landwirtschaftlichen Flächen die Genauigkeit der Abtragsprognose bestimmt (vgl. Kap. 6.4: Fehlerabschätzung), wiegt diese Einschränkung weniger schwer. Eine starke Differenzierung im unteren, landwirtschaftlich genutzten Bereich der Neigungsskala ist für die Genauigkeit der Berechnung der Gesamtabträge wichtiger als eine starke Differenzierung der größeren, kaum landwirtschaftlich genutzten Hangneigungen.

Tab. 6.2 c: Anteil der Hangneigungsklassen an den landwirtschaftlichen und den nicht-landwirtschaftlichen Flächen

Hangneigung (Grad)	landwirtschaftliche Fläche (%)	nicht-landwirtschaftliche Fläche (%)
> 0.5	0.7	0.7
0.5– 1	8.6	4.7
1 – 2	9.8	4.3
2 – 3	11.7	3.9
3 – 5	14.3	4.9
5 – 6	18.8	7.5
6 – 7	20.1	13.7
7 – 8	8.9	10.6
8 –10	4.9	12.7
10 –12	1.5	10.7
12 –15	0.7	14.8
15 –18	0.1	2.9
> 18	0.0	8.8

Auf Grund der sehr engen Klassengrenzen wird eine falsche Klassenzuweisung häufiger auftreten. Wegen der geringeren Klassenbreite ist im Mittel der dadurch verursachte Fehler aber nicht größer und der Vorteil der stärkeren Differenzierung überwiegt bei weitem.

Als weitere Folge der feinen Abstufung steigt die Schwierigkeit für ein Raster eine typische Hangneigung anzugeben. Jedoch ließen sich häufig die verschiedenen, in sich relativ homogenen Hangneigungsbereiche eines Rasters mit ausreichend großer Schärfe unterschiedlichen Nutzungen zuweisen. Dabei wiesen auf der einen Seite die landwirtschaftlich genutzten Flächen eine relativ einheitliche Hangneigung auf. Beispielsweise beschränkt sich die Landwirtschaft in den asymmetrischen Tälchen des Tertiärhügellandes überwiegend auf die flachen, ost-exponierten Löß- und Lößlehnhänge. Die wesentlich steileren Westhänge werden dagegen waldbaulich genutzt. Ein ähnliches Beispiel bieten die Talsohlen und die Talflanken der alpinen Flüsse.

Daher wurde für jedes Raster jeweils die typische Hangneigung der landwirtschaftlich genutzten Flächen und der außerlandwirtschaftlichen Flächen an Hand der Isohypsendichte der TK25 erfaßt. Durch diese Unterteilung war es in der Regel wesentlich einfacher, die Hangneigung zu klassifizieren. Für die Nutzungen bzw. Hangneigungsklassen wurde ihr jeweiliger Anteil am Raster festgelegt.

Durch die feine Klassenabstufung und die Ausweisung von 2 Hangneigungsklassen pro Raster mit ihren Flächenanteilen dürfte auch dieser Faktor mit einer Genauigkeit erfaßt worden sein, die der Erhebungsgenauigkeit der übrigen Faktoren äquivalent ist. Auch kann damit der am stärksten abtragsbestimmende Faktor genauer festgelegt werden, als bisher bei Erosionskarten mit z. T. viel stärkerer räumlicher Auflösung üblich war (Tab. 6.2b). Eine noch höhere Genauigkeit würde bereits wesentlich aufwendigere Methoden erfordern (vgl. DIEZ, 1985), die für eine Übersichtskarte nicht mehr zu rechtfertigen sind.

Da die Hangneigung die ausschlaggebende Einflußgröße ist, muß nicht nur im Hinblick auf die Erhebung für diesen Parameter die höchste Genauigkeit gefordert werden. Auch das Modell muß den Einfluß dieses Parameters besonders genau wiedergeben. Der S-Faktor gibt an, um wieviel der Abtrag eines Feldes beliebiger Neigung größer oder kleiner ist, als der Abtrag bei 9 % Hangneigung unter sonst völlig identischen Bedingungen. D. h. bei einer Hangneigung von 9 % ist der S-Faktor 1, bei kleineren Hangneigungen liegt er darunter, bei größeren darüber. Bei 9 % Hangneigung kann daher definitionsgemäß kein Fehler im S-Faktor auftreten. Ein Fehler in der Gleichung des S-Faktors würde sich umso stärker auswirken, je weiter die zu berücksichtigende Hangneigung vom Standard 9 % abweicht.

Im Mittel lag die Hangneigung landwirtschaftlicher Flächen bei 7,5 % (Tab. 6.2d), also sehr nahe am Standardwert. Dieser Standardwert ist daher auch als Bezugsbasis für landwirtschaftliche Flächen in bayerischen Landschaften günstig gewählt. Das gilt noch mehr für das Mittel der ausgeschiedenen S-Faktoren, das mit dem Standardwert 1 übereinstimmt. Die Diskrepanz zwischen dem S-Faktor der mittleren Hangneigung und dem mittleren S-Faktor ist darauf zurückzuführen, daß der S-Faktor überproportional mit der Hangneigung ansteigt.

Zumindest im Mittel ist daher kein modellbedingter Fehler in der Bewertung der Hangneigung zu erwarten. AUERSWALD (1986b) konnte an Hand von Erosionsmessungen zeigen, daß auch unter bayerischen Boden- und Nutzungsbedingungen der S-Faktor den Einfluß vom Standard abweichender Hangneigungen auf den Bodenabtrag vollständig erklärt. Daher kann davon ausgegangen werden, daß auch hinsichtlich des Modells die geforderte Genauigkeit erfüllt wird.

Tab. 6.2 d: Mittel der ausgeschiedenen Hangneigungen und S-Faktoren der landwirtschaftlichen und der nicht-landwirtschaftlichen Flächen

Flächennutzung	Hangneigung (%)	S-Faktor
landwirtschaftliche Flächen	7,5	1.0
nicht-landwirtschaftliche Flächen	15,6	2.6

Bei einer Hangneigung von 7,5 %, wie sie im Mittel aller landwirtschaftlichen Flächen ausgewiesen wurde, beträgt der S-Faktor 0,79. Das Mittel der S-Faktoren landwirtschaftlicher Flächen lag mit 1.0 aber um mehr als 20 % höher. Wie bereits erläutert, ist diese Diskrepanz darauf zurückzuführen, daß der S-Faktor überproportional mit der Hangneigung ansteigt. Wesentlich ist daher, daß aus einer mittleren Hangneigung, wie sie dem Kartenwerk von RICHTER (1965) zu entnehmen ist, nicht auf den S-Faktor geschlossen werden kann. In dem Erosionsatlas wurde aus diesem Grund nicht die mittlere Hangneigung der Raster erfaßt, sondern die Hangneigung typischer Einzelflächen. Diese Überlegungen gelten ebenso für den nicht-proportionalen Einfluß der Hanglänge auf den Bodenabtrag.

Hanglänge: Unter Hanglänge ist in diesem Erosionsatlas nicht die gesamte Länge eines Hanges im geomorphologischen Sinn zu verstehen. „Hanglänge“ steht für die erosionswirksame Länge einer Nutzungseinheit, z. B. eines Ackers, in Gefällrichtung. Während die oben erläuterten Faktoren Regenerosivität, Bodenerodierbarkeit und Hangneigung durch die natürlichen Gegebenheiten festgelegt sind, ist die erosionswirksame Hanglänge vom Menschen beeinflussbar. Damit ist eine hohe räumliche Variabilität und Beliebigkeit möglich. Aus diesem Grund wird von manchen Autoren vorgeschlagen für Karten einen konstanten L-Faktor anzusetzen (SCHMIDT & WITTMANN, 1984; VOLD et al., 1985). Davon wurde aus mehreren Gründen abgesehen:

1. Flurstückgrößen und damit Hanglängen sind in gewissem Maße gebietstypisch auf Grund gemeinsamer historischer Gegebenheiten (Realerbenteilung; Anerbenrecht).
2. Die Hanglänge ist keine unabhängige Variable. Mit zunehmender gebietsspezifischer Hangneigung geht i. d. R. die Hanglänge zurück (vgl. Abb. 3.5). Eine konstante Hanglänge würde daher zur Überbewertung des Hangneigungseinflusses führen.
3. Der L-Faktor muß in Abhängigkeit von der Hangneigung errechnet werden. Ein konstanter L-Faktor wäre keiner einheitlichen Hanglänge zuzuordnen und umgekehrt.

Aus diesen Gründen konnte auf eine rasterabhängige Hanglängenklassifikation nicht verzichtet werden. Wegen der geringen Sensivität dieses Faktors erschien eine Klassifikation in 50-m-Schritten ausreichend. Grundlage dafür war die Flureinteilung, wie sie den Bodenschätzungsübersichtskarten 1:25 000 von Bayern zu entnehmen ist. Diese Karten eigneten sich besonders gut für die rasche Beurteilung der Lage der Schläge am Hang und damit der Schlaglänge in Gefällrichtung, da die Talbereiche wegen der Grünlandnutzung i. d. R. durch grüne Flächen gekennzeichnet sind. Zusätzlich halfen dann noch die ebenfalls enthaltenen Höhenlinien. Eine Kontrolle, ob diese Einteilung auch heute noch zutrifft, wurde für Problemgebiete an Hand des Wegenetzes der TK25 bzw. TK50 durchgeführt.

$$L = \left[\frac{\lambda}{22,1} \right]^m$$

Dabei ist

λ = die Hanglänge in m
 22,1 die Hanglänge des Standardhanges der ABAG
 m der Hanglängenexponent

Der Hanglängenexponent nimmt mit zunehmender Hangneigung zu. Eine Vergrößerung der Schlaglänge wirkt sich also bei großer Hangneigung stärker abtragsfördernd aus, als bei kleiner Hangneigung. Die verwendeten Hangneigungsexponenten m sind in Tab. 6.2e zusammengefaßt.

Tab. 6.2 e: Hangneigungsexponenten und L-Faktoren für 100 m erosionswirksame Hanglänge in Abhängigkeit von der Hangneigungsklasse

Neigungs- klasse	mittlere Hang- neigung (%)	Längen- Exponent m	Quelle	L _{100m}
0	0,4	0.15	1	1.25
0,5	1,4	0.2	2	1.35
1	3	0.3	2	1.57
1,5	4	0.4	2	1.83
2	6	0.47	3	2.03
2	7	0.5	2,3	2.13

Quellen: 1) MUTCHLER & GREER, 1980
 2) WISCHMEIER & SMITH, 1978
 3) MURPHREE & MUTCHLER, 1981

Bewirtschaftungseinfluß: Der Einfluß von Bewirtschaftung und Bedeckung, in der ABAG C-Faktor genannt, wird durch den langjährigen Bewuchs bestimmt. Auf Ackerflächen ist es daher notwendig, die langjährige Fruchtfolge zu kennen. WISCHMEIER & SMITH (1978) geben als Maß für „langjährig“ 22 Jahre an. Diese langfristigen Fruchtfolgen sind flächendeckend für Bayern nicht erfaßt. Dies liegt zum einen daran, daß außer durch die Schlagkartei (vgl. PRESTELE, 1986) keine Fruchtfolgen erhoben werden. Zum anderen hat es innerhalb der letzten 22 Jahre in Bayern starke Verschiebungen im Fruchtartenspektrum gegeben (Abb. 6.2).

Auf Grund dieser Veränderungen ist davon auszugehen, daß die meisten Flächen in den letzten 22 Jahren nicht in einer einheitlichen Fruchtfolge bewirtschaftet wurden.

Die Funktion des Ausgleichs unterschiedlicher Erosionsereignisse bei wechselnden Feldzuständen, die das langjährige Mittel erfüllen soll, kann z. T. ersetzt werden durch den horizontalen Ausgleich, d. h. durch das Mittel mehrerer Flächen. Aus diesem Grund und da keine andere Datengrundlage verfügbar ist, scheint es gerechtfertigt, die Fruchtfolge aus der Fruchtartenverteilung der Gemeindebodennutzungserhebung abzuleiten. Diese Berechnung des mittleren C-Faktors aus den C-Faktoren der Einzelfrüchte ist dann hinreichend genau möglich, wenn lineare Beziehungen zwischen dem Anteil einer Fruchtart in der Fruchtfolge und dem C-Faktor der Fruchtfolge bestehen. Diese Bedingung ist erfüllt (AUERSWALD et. al., 1986). Dies gilt besonders, da die Fruchtfolgen, von Einzelfällen abgesehen, sich innerhalb eines relativ kleinen Bereichs an Hackfrucht- bzw. Getreideanteilen bewegen.

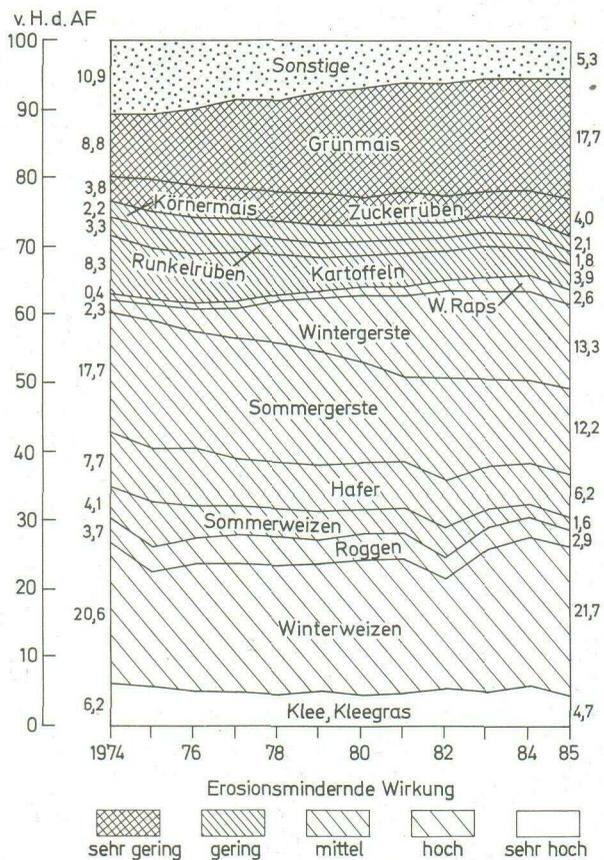


Abb. 6.2: Anteile der verschiedenen Feldfrüchte an der Ackerfläche in den Jahren 1974–1985 näherungsweise zusammengefaßt nach ihrer erosionsmindernden Wirkung (Anteile nach STEINHAUSER & KLINK, 1986)

Eine Ausnahme hiervon machen nur die Fruchtfolgen mit über- bis mehrjährigen Futterpflanzen. Bei diesen kommt es durch die 2-jährigen Nachwirkungen des „Grasnarbeneffekts“ zu einer superproportionalen Verringerung des C-Faktors. Im Mittel beträgt der Anteil des Feldfutterbaues in Bayern nur um 5 % (vgl. Abb. 6.2 und WÜRFL et al., 1982). Wegen der geringen Bedeutung des Feldfutterbaus ist der Fehler, der aus der Annahme einer ebenfalls linearen Beziehung resultiert, zu vernachlässigen.

Die C-Faktoren verschiedener Getreidearten bzw. Hackfruchtarten unterscheiden sich weniger, als die durch das individuelle Flächenmanagement bedingte Spanne innerhalb einer Fruchtart (vgl. SCHWERTMANN et al., 1987). Daher wurde innerhalb der Getreide- bzw. Hackfruchtarten nicht unterschieden. Folgende Teil-C-Faktoren wurden zur Berechnung verwendet:

Getreide:	0,08
Hackfrüchte:	0,40
Futterpflanzen:	0,004
Hopfen:	0,67
Grünland:	0,004

Es wird beim Getreideanbau davon ausgegangen, daß das Stroh am Feld verbleibt oder als Stallmist wieder auf die Fläche zurückkommt. Der Strohverkauf hat von Einzelfällen abgesehen keine Bedeutung und auch das Verbrennen von Stroh wird bis auf einige Flächen in Franken und der Oberpfalz kaum noch praktiziert.

Am problematischsten ist das Festlegen eines C-Faktors für Hopfen. Je nach Flächenmanagement kann der C-Faktor von Hopfen im Bereich von 0,13 (Minimalbodenbearbeitung mit Strohmulch) und 0,97 (normale Bodenbearbeitung mit 2-fachem Anhäufeln und 4 Grubbergängen nach dem Anhäufeln) liegen (SCHWERTMANN et al., 1981). Da über die regionale Verbreitung dieser Praktiken keine Informationen vorliegen, wurde ein mittlerer Wert von 0,67 angenommen. Er entspricht einer normalen Bodenbearbeitung mit 2-fachem Anhäufeln und einmaligem Grubbern.

Wie bereits ausgeführt, kam es in den vergangenen Jahren zu deutlichen Verschiebungen im Fruchtartenspektrum. Daher hat die Karte der C-Faktoren und die davon abgeleiteten Karten eine zeitlich begrenzte Gültigkeit. In den Jahren 1974–1979 veränderte sich in ca. der Hälfte der bayerischen Gemeinden der Getreideanteil um mehr als 6 % (vgl. WÜRFL et al., 1982). Bei der gewählten Klassenbreite der C-Faktor-Karte würde es bei dieser Veränderungsrate 8–10 Jahre dauern, bis sich der mittlere C-Faktor einer Gemeinde um eine Klassenstufe ändert.

Der C-Faktor für Grünland wurde Tab. 5B von WISCHMEIER & SMITH (1978) entnommen. Dieser Wert wird für Flächen angegeben, deren mittlerer Heuertrag 67 dt/ha beträgt. Dies entspricht einer mittleren, 2-schürigen, gedüngten Wiese (RUHRSTICKSTOFF AG, 1978).

Die Daten der Fruchtartenverteilung auf landwirtschaftlichen Flächen wurden der Gemeindebodennutzungserhebung 1983 des Bayerischen Statistischen Landesamtes entnommen.

Für die Berechnung des C-Faktors von Wald wurden die Methode der Subfaktoren und die Daten von DISSMEYER & FOSTER (1984) verwendet. Im Mittel kann sowohl für Nadel- als auch für Mischwald eine mindestens 90 %-ige Bodenbedeckung durch Streu bei guter oberflächlicher Durchwurzelung angenommen werden ($c_1 = 0,006$), eine Bedeckung durch Bäume von mindestens 20 m Höhe ($c_2 = 1,0$) und ein Gehalt an organischer Substanz von mehr als 4 % im obersten Mineralbodenhorizont ($c_3 = 0,7$). Daraus errechnet sich ein C-Faktor von $C = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 = 0,004$. Dieser wurde für alle Waldflächen verwendet.

Die Schutzfunktion des Waldes, die durch den C-Faktor erfaßt wird, berücksichtigt nur den Schutz vor Flächenerosion. Unter dieser Bedingung ist die Schutzwirkung von Grünland und Wald annähernd gleich gut. Dies gilt nicht für die besonderen Erosionsformen der extremen Steillagen, wie Rutschungen, Schneeschurf, Muren. Diese überwiegend im Alpenraum auftretenden Erosionserscheinungen sind nicht Inhalt des vorliegenden Kartenwerks. Die alpinen Erosionsformen, besonders die Blaikenbildung, können jedoch auch diese flächenhafte Erosion beeinflussen, da sie zu vegetationsfreien Flächen innerhalb der sonst gut durch die Vegetation geschützten Areale führen. In den von POPP (1984) mit Luftbildaufnahmen ausgewerteten Gebieten lag mit großer Konstanz der Anteil der durch Erosionserscheinungen vegetationsfreien Flächen bei 2 % der Gesamtfläche. Diese vegetationsfreien Flächen lassen sich von ihrer Erosionsneigung mit der Pflugfur-

chensituation im Ackerbau vergleichen (Relativer Bodenabtrag = 0,3: AUERSWALD et al., 1986). Unter Berücksichtigung der vegetationsfreien Areale steigt der mittlere C-Faktor alpiner Flächen auf 0,01, liegt also 2,6 mal so hoch wie bei ungestörten Verhältnissen. Diese 2 % vegetationsfreien Flächen und der daraus resultierende C-Faktor wurde für alle im Alpenraum liegenden Raster angenommen, deren Hangneigung mindestens mit 16 % klassifiziert worden war.

Da im Einzugsgebiet von Frankenzucker wegen des günstigeren Klimas während der Ernteperiode und der niedrigeren Erträge geringere Schmutzverluste auftreten, wurden diese differenziert nach den Einzugsgebieten der 4 Zuckerfabriken berechnet. Der Zuckerrübenanteil wurde wieder der Gemeindebodennutzungserhebung 1983 entnommen.

Neben der „quasinatürlichen“ Erosion (MORTENSEN, 1954/55) durch Oberflächenabfluß, also der durch den Menschen verstärkte, aber auf natürliche Prozesse zurückzuführende Erosion, wurden auch die Bodenverluste durch „Schmutz-“ Abfuhr bei der Zuckerrüben-ernte berücksichtigt. Während vor wenigen Jahren der Schmutzanteil noch zu Bodenverlusten von 15 t/(ha u. Zuckerrübenanbaujahr) führen konnte (MAIER & SCHWERTMANN, 1981), verringerte er sich in den vergangenen Jahren durch Verbesserungen der Schmutzabscheidung. Dennoch können immer noch Verluste von über 9 t/ha · a auftreten (Tab. 6.2f). In den einzelnen Jahren kommt es bedingt durch unterschiedliche Erträge und unter dem Einfluß der jeweiligen Witterungsverhältnisse während der Ernte zu unterschiedlich hohen Verlusten. Es wurde für die Berechnung der mittleren Schmutzverluste nicht der Mittelwert der 3 in Tab. 6.2f wiedergegebenen Jahre verwendet, sondern die mittleren Verluste des Jahres 1984, des Jahres mit den höchsten Verlusten. Damit sollte berücksichtigt werden, daß die in den Zuckerfabriken gemessenen Schmutzverluste nicht den vom Feld tatsächlich abtransportierten Bodenmengen entsprechen. Während des Transportes zur Zuckerfabrik kommt es zu einer deutlichen Verminderung des Schmutzanhanges, besonders wenn Zwischenmieten angelegt werden und mehrfach umgeladen wird.

Tab. 6.2 f: Schmutzanzhang an Zuckerrüben für die Gebiete der bayerischen Zuckerfabriken (J. Maier, Südzucker, Mannheim; frdl.pers. Mitt.)

Kampagne-jahr	Plattling	Rain	Regensburg	Ochsenfurt/Zeil
– Rübenanbau (dt/ha) –				
1983	596	551	526	381
1984	621	512	556	496
1985	670	561	612	530
\bar{x}	629	541	565	469
–Schmutzanzhang (%) –				
1983	9.1	9.7	9.1	7.5
1984	14.6	15.2	15.6	14.4
1985	9.6	8.6	9.1	6.5
\bar{x}	11.1	11.2	11.3	4.3
–Bodenverlust (t/ha·a)–				
1983	5.4	5.3	4.8	2.9
1984	9.1	7.8	8.7	7.1
1985	6.4	4.8	5.6	3.4
\bar{x}	7.0	6.0	6.4	4.5

6.3 Auswertungsmethodik

Verknüpfung der Daten und graphische Darstellung:

Aus den erfaßten Rohdaten wurden nach den oben beschriebenen Verfahren und Gleichungen die Faktoren der ABAG abgeleitet. Aus den derart gewichteten Einflußgrößen können der Bodenabtrag bzw. andere Zielgrößen berechnet werden. Ein Schema der Verknüpfung ist in Abb. 6.3 wiedergegeben.

Auf Grund der Ausprägung der Zielgröße wurde jedes Raster in eine von 6 farblich unterschiedlich ausgelegten Klassen eingeordnet. In den Fällen, in denen nur Aussagen über Teilbereiche der Raster gemacht werden (z. B. Abtrag auf Ackerflächen), konnte der Anteil der Teilbereiche an der gesamten Rasterfläche nicht dargestellt werden. Um den Karteneindruck nicht zu verfälschen, wurden die Raster nicht aufgenommen, in denen weniger als 10 % der Fläche betroffen waren. Im o.g. Beispiel wären alle Raster mit weniger als 10 % Ackerfläche frei geblieben.

Neben der kartographischen Darstellung ist auch eine statistische Auswertung nach natürlichen Grenzen möglich, da die Standortkundliche Landschaftsgliederung (WITTMANN, 1983) mit erfaßt wurde. Als Schnittstelle zu den Daten der Gemeindebodennutzungserhebung wurden die Gemeindecodenummern erhoben. Damit ist auch eine Auswertung nach politischen Einheiten möglich. So wurden die mittleren Regenerositäten der Landkreise, die in der Neuauflage des Erosionshandbuchs (SCHWERTMANN et al., 1987) aufgelistet sind, aus diesem Datenpool berechnet.

Eine Übersicht über die wichtigsten verwendeten Programme zur Datenverknüpfung und -auswertung schließt sich an die Literaturzusammenstellung an.

Statistische Methoden: Vor der statistischen Auswertung war zunächst zu klären, welche Verfahren für die Art der Datenbasis anwendbar und zulässig sind. Für die Grunddaten (also z. B. K-Faktor, Hanglängenklasse) konnte als kennzeichnende Größe in der Regel noch das arithmetische Mittel verwendet werden. Obwohl eine Normalverteilung für keine Datengruppe vorlag, wichen Schiefe und Exzess der Verteilung noch so gering von einer Normalverteilung ab, daß dieses Vorgehen zulässig erschien.

Nach der statistischen Theorie sollten nach der Multiplikation von normalverteilten Faktoren lognormalverteilte Produkte entstehen (SACHS, 1978). Dementsprechend nahm die Schiefe durch die Multiplikation verschiedener Einflußfaktoren zu. Allerdings reichte die Schiefe der Produkte häufig nicht für eine Lognormalverteilung aus. Die Verteilung der logarithmierten Werte wies dann eine negative Schiefe auf. Da das geometrische Mittel darüber hinaus nur für Werte über 0 anwendbar ist, wurde seine Anwendung weiter eingeschränkt. Als Beispiel sei der Hopfenanteil angeführt: Diese sich sehr stark auf den mittleren Abtrag eines Gebietes auswirkende Sonderkultur wird nur in wenigen Gebieten angebaut. Im weitaus größten Teil Bayerns fehlt dagegen der Hopfen vollständig. Wegen der extremen positiven Schiefe des Hopfenanteils stellt daher das arithmetische Mittel kein geeignetes Maß dar, um den Hopfenanteil in bayerischen Gemeinden zu charakterisieren. Das geometrische Mittel war wegen des Verlustes aller hopfenfreien Raster dazu noch weniger in der Lage. Wegen dieser beiden Probleme wurde nach einem anderen statistischen Maß gesucht. Da die Logarithmierung der Werte, wie die dann auftretende negative Schiefe zeigt, die Abszisse zu stark staucht, wurde neben den Mittelwerten der nicht transformierten und der logarithmierten Daten auch das Mittel der Quadratwurzeln berechnet.

$$\bar{x}_w = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{x_i}}{n} \right]^2$$

Dieses Maß brachte in vielen Fällen eine zufriedenstellende Verringerung der Schiefe. Darüber hinaus gingen dadurch alle Werte in die Mittelwertbildung ein.

Es wurde auf jeder Karte der Mittelwert angegeben, für den folgenden Bedingungen zutrafen:

1. Alle wiedergegebenen Flächen müssen berücksichtigt sein.
2. Die Verteilung, besonders die Schiefe, der gegebenenfalls transformierten Daten soll einer Normalverteilung möglichst nahe kommen.

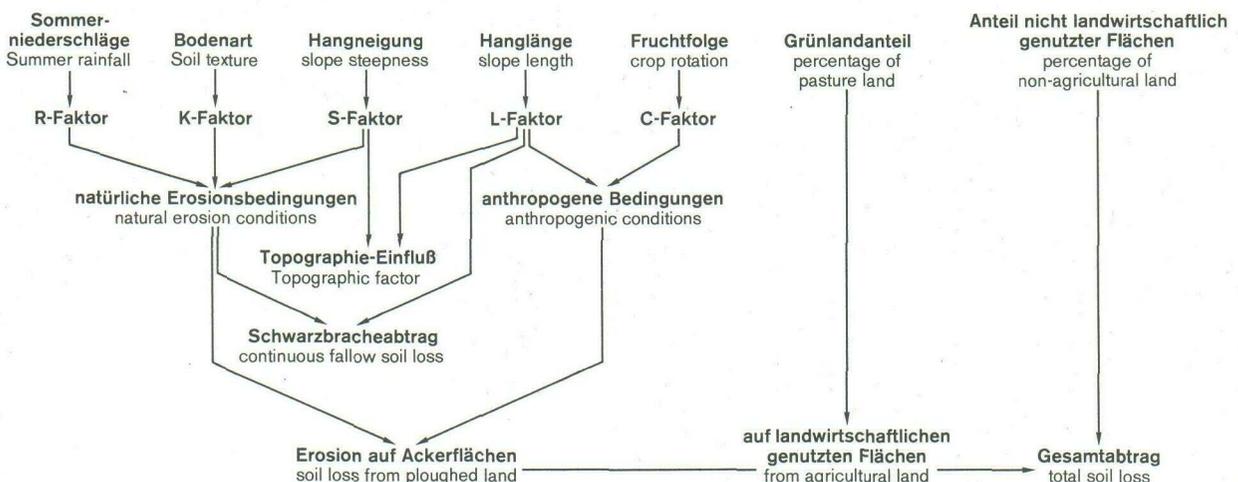


Abb. 6.3. Verknüpfung der Daten zu thematischen Karten

Welches Mittelwertmaß in den Karten wiedergegeben ist, wurde jeweils vermerkt. Dabei bedeuten:

\bar{x} : arithmetisches Mittel

\bar{x}_G : geometrisches Mittel
(= Mittel der Logarithmen)

\bar{x}_W : Mittel der Quadratwurzeln

Manche Häufigkeitsverteilungen (z. B. Abb. 4.5a) wurden als univariate Dichtefunktion dargestellt. Die Dichtefunktion hat gegenüber dem üblichen, klassifizierenden Histogramm den Vorteil, wesentlich genauer zu differenzieren und ein Ablesen der Häufigkeit bei beliebiger Klassenbreite zuzulassen. Daher ist auch das Ablesen von Klassen unterschiedlicher Klassenbreiten leicht möglich, ohne daß durch die unterschiedlichen Breiten ein falscher Eindruck von der Bedeutung einer Klasse entsteht. Die auf den Karten dargestellten Histogramme sind demgegenüber auf Grund der z. T. unterschiedlichen Klassenbreiten vorsichtig zu interpretieren. Auch die Verhältnisse der größten, häufig nach oben offenen Klasse des Histogramms lassen sich mit der Dichtefunktion unverfälscht wiedergeben.

Nachteil der Dichtefunktion ist die i. d. R. umständliche Benennung der Ordinate. Die Benennung ergibt sich jeweils aus der Einheit der Häufigkeit (%) dividiert durch die Einheit der auf der Abszisse aufgetragenen Variablen. Diese Division ist notwendig, da die Häufigkeit (in %) einer beliebigen Klasse sich dann ergibt aus dem mittleren dargestellten Ordinatenwert der Klasse multipliziert mit der gewählten Klassenbreite.

Einfach und verständlich sind die Verhältnisse bei einer Klassenbreite von 1. Dann läßt sich die Häufigkeit (in %) direkt an der Ordinate ablesen.

Eine Beschreibung der mathematischen Grundlagen dieser Form der Häufigkeitsverteilung findet sich beispielsweise bei VICTOR (1978).

6.4 Fehlerabschätzung

Die Kartenaussage bezieht sich auf die Situation typischer Schläge innerhalb der einzelnen Raster. Die Genauigkeit, mit der deren Abträge vorhergesagt wurden, läßt sich nur an Hand repräsentativ verteilter Meßparzellen überprüfen. Da diese Werte leider nicht vorliegen, soll versucht werden, wenigstens annähernd festzulegen mit welchem Fehler zu rechnen ist. Der Fehler setzt sich dabei aus 3 Gruppen von Fehlerquellen zusammen:

1. der Fehler der ABAG auf Grund der statistischen Streuung bzw. nicht erfaßter Einflußgrößen;
2. der Fehler bei der Übertragung auf Bayern;
3. der Fehler bei der Wertzuordnung für einzelne Raster.

Zu 1: Über die erreichbare Vorhersagegenauigkeit bei korrekter Anwendung der ABAG äußern sich WISCHMEIER & SMITH (1978) und SCHWERTMANN et al. (1981). Der Fehler liegt im Mittel bei 12 % des berechneten Abtrags. Mit zunehmender zeitlicher und räumlicher Auflösung, d. h. für kleine Flächen bzw. kurze Zeiträume, nimmt der Fehler zu. Die Rasterflächen stellen in dieser Hinsicht sehr große Einheiten dar.

Zu 2: Der Fehler der Abtragsvorhersage wird größer, wenn die Faktorenwerte nur geschätzt oder nicht unter Standardbedingungen ermittelt wurden. Die zu erwartenden Fehler sind je nach Faktor unterschiedlich:

R-Faktor: Die Isoerodenkarte von ROGLER & SCHWERTMANN (1981) berücksichtigt die bayerischen Niederschlagscharakteristika. Sie wurde jedoch mit der in den USA entwickelten Formel aus kinetischer Energie und maximaler 30-Minuten-Intensität berechnet, deren Gültigkeit hier bislang noch nicht überprüft wurde. Ein wesentlich größerer Fehler dürfte durch das Nichtberücksichtigen der Schneeschmelze entstehen (vgl. Kap. 7.2).

K-Faktor: Die Arbeiten von AUERSWALD & WAGNER (1984) und BECHER et al. (1985) deuten darauf hin, daß das von WISCHMEIER et al. (1971) entwickelte Nomogramm die Erosionsanfälligkeit bayerischer Böden nicht in jedem Fall richtig vorhersagt. Durch die Ableitung aus dem Klassenbeschrieb der Bodenschätzung tritt ein zusätzlicher Fehler auf: Innerhalb eines Klassenbeschriebs ist die Spannweite der vorkommenden Erodierbarkeiten relativ groß. Dies gilt besonders für Grünlandböden. Der mittlere 95 %-Vertrauensbereich des mittleren K-Faktors eines Klassenbeschriebs beträgt 0,048 ($s = 0,014$, $n = 22$) also ca. eine Klassenstufe.

L-Faktor: Dieser Faktor wurde bisher noch nicht für Bayern überprüft. Eine wesentlich andere Wirkung der Hanglänge als in den USA ist jedoch nicht zu erwarten, und die bisherigen Versuchsergebnisse deuten auch nicht darauf hin (AUERSWALD, 1984).

S-Faktor: Da dieser Faktor die Prognose am stärksten beeinflußt, wird durch ihn auch der Fehler wesentlich mitbestimmt. AUERSWALD (1986b) konnte zeigen, daß die S-Formel auch unter bayerischen Boden- und An-

baubedingungen die Wirkung der Hangneigung auf den Bodenabtrag sehr gut beschreibt (vgl. auch Kap. 6.2).

C-Faktor: Dieser Faktor wurde bisher am intensivsten den bayerischen Verhältnissen angepaßt (AUERSWALD 1984, KAINZ 1987). Fehler ergeben sich daher vor allem durch die Ableitung des mittleren C-Faktors aus der Fruchtartenzusammensetzung der Gemeinden. Diese Vorgehensweise führt dann zu korrekten Resultaten, wenn die Beziehungen zwischen dem Anteil einer bestimmten Fruchtart und dem C-Faktor annähernd linear ist. Bei nichtproportionalen Beziehungen, wie sie vor allem für den Klee gras- und Luzerneanteil gelten, treten größere Fehler auf. In den meisten Gemeinden lag aber der Anteil dieser Feldfrüchte sehr niedrig (vgl. Kap. 6.2). Ihr Anbau beschränkt sich daher auf wenige Flächen, so daß dieser Fehler tolerierbar wird.

Zu 3: Eine weitere Fehlerquelle ist die Zuordnung der Faktorenklassen zu den Rasterflächen. Wie Doppelbestimmungen an ausgewählten TK25-Blättern zeigten, wichen die von verschiedenen Bearbeitern den Rastern zugewiesenen Faktorenklassen um nicht mehr als eine Faktorenstufe voneinander ab. Der ungünstigste, allerdings relativ seltene Fall tritt auf, wenn bei allen Faktoren die Faktorenklasse gegenüber der richtigen um jeweils eine Stufe zu hoch oder zu niedrig angesetzt wurde. Dieser maximale Fehler wird umso größer, je mehr Faktoren berücksichtigt werden. Er wird mit zunehmender Faktorenzahl aber auch unwahrscheinlicher. In diesem ungünstigsten Fall der gleichgerichteten Fehler liegt der berechnete Bodenabtrag bei Berücksichtigung von 5 Faktoren um ca. 100 % über oder unter dem Abtrag bei richtiger Klassenzuweisung (Tab. 6.4). In den meisten Fällen dürfte der berechnete Wert mit einem wesentlich geringeren Fehler behaftet sein. Es ist unwahrscheinlich, daß alle Faktoren falsch eingestuft wurden, die Plausibilitätskontrollen unentdeckt passierten und der Fehler bei allen Faktoren gleichgerichtet wirkt.

Tab. 6.4: Maximaler Gesamtfehler bei Überschätzung aller Faktoren um eine Stufe

Faktoren	R	K	L	S	C	Abtrag
typische Situationen	66	0,35	150 m	10 %	30 %	Hackfrüchte
Faktorenwerte	66	0,35	2,6	1.1	0.16	11 t/ha
Faktorenwerte der nächsthöheren Klasse	70	0,40	3,0	1.4	0.18	21 t/ha
Fehler des Einzelwertes (%)	6	15	15	27	12	100
Anteil am Gesamtfehler (%)	8	20	20	36	16	100

Den größten Anteil am Gesamtfehler dieses ungünstigsten Falles hat mit 36 % die falsch eingestufte Hangneigung. Der Beitrag des R-Faktors liegt mit 8 % relativ niedrig. Die Faktoren K, L und C tragen mit ca. 20 % zum Gesamtfehler bei.

Die Homogenität von Landschaftsausschnitten in den berechneten Karten, bei der Abweichungen i. d. R. geprüft wurden und erklärbar sind, deutet darauf hin, daß dieser ungünstigste Fall selten ist. Dies wird auch dadurch belegt, daß die Grenzen der Strukturen mit den Grenzen anderer, nicht zur Datenerhebung verwendeter Karten teilweise genau übereinstimmen, sofern dies zu erwarten ist. Daher wurde auch die Standortkundliche Landschaftsgliederung nach WITTMANN (1983) mit einem genaueren Gewässernetz als Deckfolie beigelegt. Dies soll dem Auge helfen, Gesetzmäßigkeiten innerhalb einzelner Landschaftseinheiten zu erkennen.

Fehler der nichtlandwirtschaftlichen Flächen: Die Abträge dieser Flächen können nur mit einem relativ großen Fehler angegeben werden, da nur der R-Faktor und die wichtigste erosionsbestimmende Größe, die Hangneigung, mit der gleichen Genauigkeit erfaßt wurden, wie die entsprechenden Größen der landwirtschaftlichen Flächen. Für die übrigen Einflußgrößen wurden stärker generalisierte Werte verwendet. Auf die Darstellung der Abträge unter Wald in einer eigenen Karte wurde wegen dieser relativ großen Unsicherheit verzichtet.

In der Berechnung der mittleren Gesamtabträge der Rasterflächen gingen die Abträge unter Wald trotz ihrer Unsicherheit mit ein. Dies ist zulässig, da sie nur ca. den fünfzehnten Teil der Abträge von landwirtschaftlichen Flächen betragen (Abb. 6.4). Der mittlere Abtrag der Gesamtfläche, der sich aus den nach ihrem Flächenanteil gewichteten Abträgen von landwirtschaftlichen und nichtlandwirtschaftlichen Flächen zusammensetzt, wird daher im wesentlichen vom Abtrag der landwirtschaftlichen Flächen und ihrem Flächenanteil bestimmt. Diese beiden Einflußgrößen wurden genau erfaßt. Der Bodenabtrag von Waldflächen kann diesen Gesamtabtrag in 88 % der Fälle um maximal 0,5 t/ha · a verändern. Selbst eine Unterschätzung des Waldabtrags um 100 % würde damit den Bodenabtrag um weniger als den Bereich der kleinsten Abtragsklasse verändern, die in der Abbildung der Gesamtabträge ausgewiesen ist.

Schlußfolgerungen aus der Fehlerbetrachtung:

1. Die Fehler, die auf die ABAG selbst zurückzuführen sind, sind vergleichsweise gering.
2. Die größte Fehlerquelle dürfte in der Wertzuweisung der einzelnen Raster liegen.
3. Der relativ unwahrscheinliche Maximalfehler bei Fehleinschätzung aller Faktoren um eine Stufe würde den berechneten Abtrag eines Rasters um eine Klasse der gewählten Abtragsabstufung verändern.

Die Abtragsprognose ist damit hinreichend genau, sofern die der Karte zugrunde liegenden Randbedingungen berücksichtigt werden. Dies sind im wesentlichen folgende Punkte:

1. Nur der Bodenabtrag durch flächenhafte Abspülung und durch den Bodenanhang an Zuckerrüben wurde berücksichtigt.
2. Dargestellt sind nur die Verhältnisse typischer Hangbereiche. Es kommen also in jedem Raster auch wesentlich höhere und wesentlich niedrigere Werte vor.
3. Gesamtverluste aus den Rasterflächen heraus sind aus den Werten nicht direkt abzuleiten. Aus übergeordneter Perspektive sind die berechneten Abträge keine Bodenverluste, sondern Bodenumlagerungen, deren weitaus größter Teil innerhalb der einzelnen Rasterflächen stattfindet.

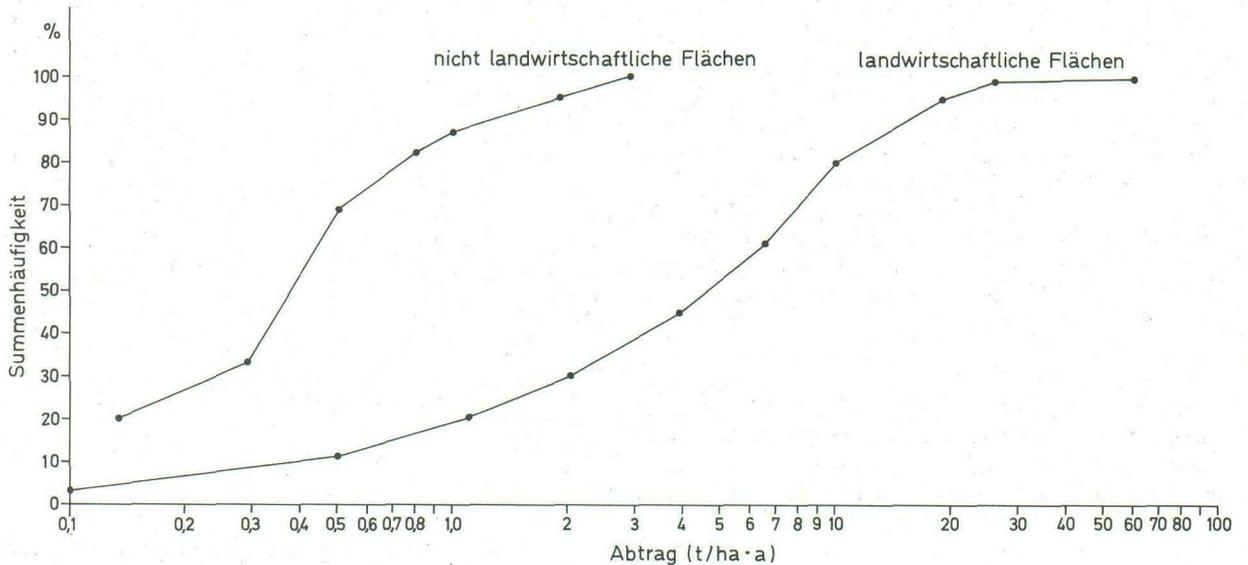


Abb. 6.4: Summenhäufigkeit der mittleren Abträge landwirtschaftlicher und nicht-landwirtschaftlicher Flächen.

7. Bedeutung nicht berücksichtigter Einflußgrößen

7.1 Schutzmaßnahmen

Die Anwendung von Schutzmaßnahmen wie Mulchsaat, Minimalbodenbearbeitung, Untersaat und Konturnutzung wurde nicht erfaßt. Diese Maßnahmen sind noch auf wenige Einzelflächen beschränkt. In einer Übersichtskarte kommen sie daher nicht zum Tragen.

Der höhenlinienparallele Anbau stellt die einzige Schutzmaßnahme dar, die weiter verbreitet ist. Jedoch gilt auch für diese Maßnahme, daß sie im Einzelfall zwar das Erosionsausmaß entscheidend reduzieren kann, aber nur in wenigen Gebieten flächendeckend zu berücksichtigen wäre. Dies liegt zum großen Teil daran, daß eine Querbearbeitung nur dann erosionsmindernd wirkt, wenn die Länge des Feldes in Gefällerrichtung eine Obergrenze nicht überschreitet. Diese Obergrenzen sind sehr niedrig anzusetzen, sie liegen je nach Hangneigung zwischen 17 und 130 m (Abb. 7.1). Wegen dieser starken Einschränkung ist in vielen Fällen selbst bei Vorliegen einer Querbearbeitung kein P-Faktor zu berücksichtigen. Die Hanglängen, die in den einzelnen Hangneigungsklassen ausgeschieden wurden, lagen im Mittel weit über den zulässigen Hanglängen (Abb. 7.1). Nur auf 9 % der Raster hätte unter den gegebenen Hangneigungen und Hanglängen eine Berücksichtigung einer Querbearbeitung zu einer niedrigeren Erosionsprognose geführt. Wie stark die Erosionsminderung ausgefallen wäre, ist in Tab. 7.1 zusammengestellt. Demnach betrug der mittlere P-Faktor der Flächen, die die Hanglängenbedingung erfüllten, 0,58. Im Mittel aller Rasterflächen läge der mittlere P-Faktor im betrachteten Idealfall bei 0,96. Dies würde einer um 4 % verringerten Erosion entsprechen, gegenüber den in den Karten ausgewiesenen Werten. Da aber bei weitem nicht alle Flächen quer bearbeitet werden, liegt der Fehler durch Nichtberücksichtigen der Querbearbeitung noch niedriger.

Tab. 7.1: Anteil der P-Faktoren-Klassen unter der Annahme, daß alle Felder der Raster quer zum Gefälle bearbeitet würden

P-Faktor	Anteil der Raster (%)
1,0	90,9
0,5	3,4
0,6	4,1
0,7	1,3
0,8	0,2
0,9	0,1
(wirksame Querbearbeitung)	9,1

Der geringe Anteil von Flächen mit wirksamer Querbearbeitung beruht darauf, daß in dem Hangneigungsbereich, in dem Querbearbeitung erosionsmindernd wirkt (< 16 % Hangneigung), aus arbeitswirtschaftlicher und landtechnischer Sicht lange Schlaglängen vorteilhaft sind und daher vorherrschen. Kurze Schlaglängen kommen erst in wesentlich steileren Lagen vor, in denen aber auch die maximal zulässige Hanglänge sehr

stark zurückgeht und nur noch eine geringe oder keine Wirkung der Querbearbeitung zu erwarten ist (Abb. 7.1).

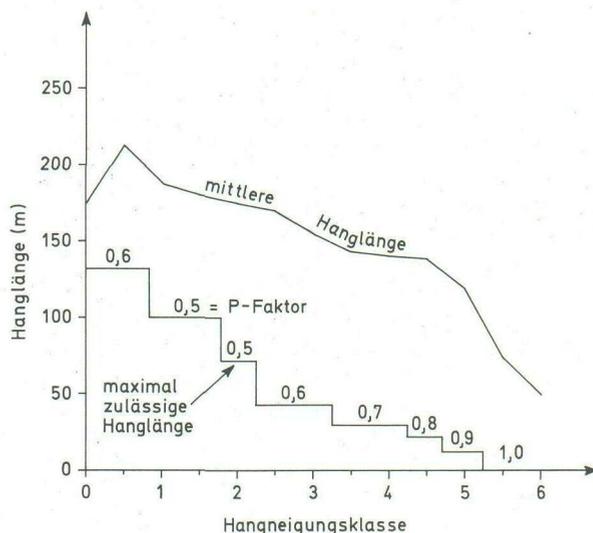


Abb. 7.1: Mittlere erfaßte Hanglängen, maximal zulässige Hanglängen für die Wirksamkeit einer Querbearbeitung und P-Faktoren jeweils in Abhängigkeit von der Hangneigungsklasse.

Darüber hinaus ist eine Querbearbeitung nur wirksam, wenn alle Bewirtschaftungsmaßnahmen quer zum Hang ausgeführt werden. Dies kann aus der Lage eines Feldes zum Hang, d. h. aus dem verfügbaren Kartenmaterial nicht geschlossen werden. I. d. R. werden auch bei quer liegenden Feldern zumindest manche Bewirtschaftungsfahrten hangauf-hangab durchgeführt oder das Vorgewende in Gefällerrichtung bearbeitet. Auch in diesen Fällen kann die Querbearbeitung nicht berücksichtigt werden.

Der geringfügige Genauigkeitserfolg durch Berücksichtigen einer Querbearbeitung hätte wegen der zweifelhaften Datengrundlage und vor allem wegen der geringen Wirkung den Erfassungsaufwand nicht gerechtfertigt. Bei anderen Faktoren, besonders bei der Hangneigung, hätte ein größerer Erfassungsaufwand die Genauigkeit der Abtragsprognose wesentlich stärker verbessert.

7.2 Schneeschmelze

Die Schneeschmelze als weiterer Einflußfaktor auf den flächenhaften Bodenabtrag durch Wasser wurde ebenfalls nicht berücksichtigt. Die zu diesem Erosionsprozeß vorliegenden Daten- und Modellgrundlagen sind noch nicht genügend ausgereift. Die bisher vorliegenden Informationen lassen folgende grobe Abschätzung zu:

In Minnesota/USA liegt eine ähnliche Jahresverteilung der Regenerosivität vor wie in Bayern. Auch die Jahreserosivität der Niederschläge liegt in Teilen dieses Bundesstaates in ähnlicher Größenordnung wie in Bayern. Daten, die in diesem Bundesstaat ermittelt wurden, lassen erkennen, daß in Gebieten mit Bodenabtrag durch Schneeschmelze die Gesamterosion bei Schwarzbrache um ca. 7 % erhöht ist (MEYER 1980). Der R-Faktor wäre, wenn Schmelzwassererosion auftritt, näherungsweise mit 1,07 zu multiplizieren, die Jahresverteilung des R-Faktors, die in die Berechnung des C-Faktors eingeht, entsprechend zu ändern.

Besonders in den schneereichen Gebieten Bayerns – Alpen, Moränengürtel, Mittelgebirgslagen – ist daher mit etwas höherer Erosion zu rechnen. In diesen Gebieten liegen die Anteile der Sommergetreidearten, von Kartoffeln (Bayerischer Wald) und von Mais (Voralpenland) erheblich über dem bayerischen Durchschnitt (WÜRFL et al., 1982). Viele Felder gehen daher im gepflügten Zustand in den Winter, was einem relativen Bodenabtrag von 0,3 entspricht. Damit ist zusätzlich mit einer Erosion von $0,3 \times 7\% = 2\%$ des Schwarzbracheabtrags zu rechnen.

Wo nur geringe Schneehöhen auftreten, dürfte mit einer weniger als 7 % erhöhten Erosivität gerechnet werden. Allerdings liegen in diesen Gebieten die Felder zu einem höheren Prozentsatz im Stadium „Saatbett bis 10 % Bodenbedeckung“ (Winterweizen) oder „10 % bis 50 % Bedeckung“ (Wintergerste, Raps) vor und sind daher deutlich erosionsanfälliger. Die relativen Bodenabträge dieser Feldzustände liegen zwischen 0,4 und 0,5. Da beide Einflüsse sich z. T. kompensieren, kann angenommen werden, daß in ganz Bayern die Bodenabträge von Ackerflächen um 2 % des Schwarzbracheabtrags höher liegen, sofern die Erosion durch Schneeschmelze mitberücksichtigt wird.

In 85 % der Fälle liegt dieser zusätzliche Abtrag unter $2 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$. Damit erhöht sich die Erosion auf Ackerflächen um 10–15 %. Dies entspricht den Messungen, die van VLIET & WALL (1981) in Ontario machten. Diese Schätzung ist allerdings sehr vorsichtig. Nach dem von WISCHMEIER & SMITH (1978) vorgeschlagenen und auch von McCOOL et al. (1982) empfohlenen Verfahren errechnet sich für Freising eine durch die Schneeschmelze um ca. 30 % verstärkte Erosivität.

7.3 Vorflutbelastung und Austräge aus Wassereinzugsgebieten

Die auf den Karten getroffenen Aussagen gelten nur unter genau festgelegten Rahmenbedingungen. Die angegebenen Bodenverluste treten in typischen Hangbereichen innerhalb der Raster auf. Es sollte keine Aussage über den Gesamtverlust eines Rasters gemacht werden. In praktisch jeder Rasterfläche treten Kuppen, Hänge und Täler auf, also Bereiche, die gekennzeichnet sind durch geringe bzw. hohe Erosion oder durch Akkumulation. Das Mittel der Verluste dieser 3 Bereiche fällt wesentlich niedriger aus, als der Abtrag von typischen Hangbereichen. Der überwiegende Teil des auf den Karten ausgeschiedenen Bodenabtrags stellt nur eine Bodenverlagerung, großräumig betrachtet aber keinen Bodenverlust dar. Der Bodenverlust i. e. S. war nicht Ziel der Untersuchungen, denn die Bodenverluste, die am Hang auftreten, werden aus bodenkundlicher, land- und forstwirtschaftlicher Sicht nicht durch die Akkumulation von Kolluvien am Hangfuß kompensiert. Diese Akkumulationen stellen in vielen Fällen ebenfalls Schädigungen dar. Es kann zu Ertragseinbußen durch Überdecken der Pflanzen mit Abschwemm Massen, zur schädigenden Anreicherung von Agrochemikalien, zu Überdüngung, Wasserüberschuß und zur Ausbildung einer ungünstigen Bodenstruktur kommen (vgl. STÜRMER et al., 1982).

Demgegenüber sind die Gesamtausträge eines Gebietes weniger aus bodenkundlicher, sondern mehr aus wasserwirtschaftlicher Sicht von Bedeutung. Sie bestimmen die Gewässergüte, die wesentlich von der Schwebstoffführung und dem Eintrag an algenverfügbaren Nährstoffen und Agrochemikalien beeinflusst wird. Die Menge des Gesamtaustrags durch den Vorfluter richtet sich nach der Größe des Wassereinzugsgebietes. Je größer ein Einzugsgebiet ist, umso größer wird die Wahrscheinlichkeit, daß Material, das an Stellen hoher Erosionsdisposition abgetragen wird, an Akkumulationsstandorte gelangt und dort wieder abgelagert wird. Der Anteil am gesamten verlagerten Material, der ein Wassereinzugsgebiet verläßt, heißt Sedimentaustragsverhältnis. Dieses wurde in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes in Tab. 7.3 aufgelistet. Die Größe eines Einzugsgebietes kann dem Verzeichnis der Bach- und Flußgebiete Bayerns (RUHS, 1978) entnommen werden.

Tab. 7.3: Sedimentaustragsverhältnis – Anteil des Abtrages, der in den Vorfluter gelangt, in Abhängigkeit von der Größe des Vorflutereinzugsgebietes

Einzugsgebiet (km ²)	Austragsverhältnis (relativ)
1	0,33
2	0,30
5	0,26
10	0,24
25	0,20
50	0,17
100	0,14
250	0,10
500	0,07

(nach Wischmeier in STEWART et al., 1975; verändert)

Die angegebenen Austragsverhältnisse lassen eine überschlägige Kalkulation zu. Für den Fall, daß eine Rasterfläche (ca. 5 km²) die Größe eines Einzugsgebietes darstellt, wäre demnach mit einem Austrag zu rechnen, der ca. 26 % des Abtrags vom Hang beträgt. Da die Einzugsgebiete aber i. d. R. größer sind, ist mit geringeren Austrägen zu rechnen. Als Beispiel sei das Wassereinzugsgebiet des Marchenbachs (Nr. 1669324) genannt, der zwischen Haag und Inkofen in den Werkkanal der Amper mündet. Es stellt ein typisches, kleines, asymmetrisches Tal im Tertiärhügelland dar, das von einer Wasserscheide 6. Unterteilung abgegrenzt wird. Sein Einzugsgebiet umfaßt 9,6 km² (RUHS, 1978). Dies entspricht in etwa 2 Rasterflächen und einem Sedimentaustragsverhältnis von 24 %. Der mittlere Abtrag der land- und forstwirtschaftlichen Flächen dieses Gebietes beträgt 7,5 t/ha · a. Dieser hohe Wert wird gut durch die entsprechende Bodenkarte von Freising-Nord (BRUNNACKER, 1963) belegt, auf der schon 1959/60 fast nur Bodenformen mit Erosionserscheinungen (erodierte Parabraunerden und Kolluvien) ausgeschieden worden waren und die Hänge zusätzlich durch Erosionssignaturen gekennzeichnet sind.

Der ausgeprägte Schwemmfächer, den der Marchenbach ins Ampertal vorbaut, zeugt von hohen Bodenusträgen in der Vergangenheit. Er dokumentiert gleichzeitig das Prinzip des Sedimentaustragsverhältnisses: Am Übergang von der kleineren Einheit zur größeren Einheit kommt es häufig zur Sedimentation. Dadurch ist der Gesamtverlust der größeren Einheit relativ geringer.

Von den 7,5 t, die im Mittel pro Hektar und Jahr abgetragen werden, gelangen 24 %, d. h. 1,8 t/ha · a in diesen Vorfluter. Zusammen sind dies 1 700 t/a. Für das Einzugsgebiet des Marchenbachs wird eine mittlere jährliche Abflußhöhe von 200 mm/m² angenommen (KERN, 1973). Im Mittel ist daher mit einer Sedimentfracht von 0,9 g/l zu rechnen.

Das Sedimentaustragsverhältnis liefert nur einen Anhaltspunkt über die zu erwartenden Verluste. Spezielle lokale Gegebenheiten der unterschiedlichen Wassereinzugsgebiete können damit nicht berücksichtigt werden. Im Beispiel Marchenbach sind alle Unterhänge noch unter Grünlandnutzung. Die Äcker reichen nicht bis zum Vorfluter. Es wird daher ein höherer Anteil des Abtrags von Ackerflächen in diesen Grünstreifen ausgefiltert als bei gleichmäßiger Verteilung von Acker- und Grünland.

7.4 Erosionsdetailkarten zur Einzelfeldberatung

Die ABAG ist ein sehr flexibles Instrument zur Beratung in Fragen des Bodenabtrags. Ursprünglich wurde sie entwickelt für die Erosionsprognose von Einzelflächen. Für diesen Maßstab liegen die meisten Erfahrungen vor, die Faktorenwerte sind verifiziert, und es können daher die genauesten Ergebnisse erwartet werden.

Trotz der Auslegung für die Einzelfeldberatung der Landwirte läßt sich die ABAG, wie im vorliegenden Fall geschehen, auch verwenden, um Übersichtskarten als Entscheidungshilfen für die Fachbehörden zu erstellen. Im folgenden soll kurz gezeigt werden, daß die ABAG so flexibel ist, daß der Maßstab auch ins andere Extrem verändert werden kann. Sie kann auch auf großmaßstäbige Karten angewendet werden. In diesen Karten können dann sogar Inhomogenitäten innerhalb einzelner Schläge berücksichtigt werden. Bodenbedeckungen, wechselnde Hangneigungen oder Bodenarten lassen sich entsprechend ihrer Position am Hang gewichtet berücksichtigen. Den Schlüssel dafür bietet die Gewichtungsgleichung für unregelmäßige Hänge:

$$BVA_i = \frac{i^{m+1} - (i-1)^{m+1}}{N^{m+1}}$$

Dabei ist:

- BVA_i der Bodenverlustanteil des i-ten Teilstücks
- m der Hanglängenexponent
- i die Nummer des zu gewichtenden Teilstücks
- N die Zahl der Teilstücke

Auf die genaue Anwendung dieser Gleichung soll hier nicht eingegangen werden. Informationen über die detaillierte Berechnung von unregelmäßigen Einzelhängen bieten die Veröffentlichungen von SCHWERTMANN et al. (1987), WISCHMEIER & SMITH (1978) und vor allem von NEIBLING & FOSTER (1977).

Welche Möglichkeiten die ABAG für die großmaßstäbige Erosionsprognose bietet, sei an zwei benachbarten Einzelfeldern exemplarisch erläutert. Die Äcker gehören zum Staatsgut Brandhof, Gemeinde Hagenbüchach in Mittelfranken. Der mittlere R-Faktor beträgt 50, der C-Faktor 0,20. Innerhalb der Felder treten sowohl wechselnde Hangneigungen (Abb. 7.4a) als auch wechselnde Bodenerodierbarkeiten (Abb. 7.4b) auf.¹⁾ Zusammen mit der hangabwärts zunehmenden Transportkraft des Abflusses führt dies zu wechselnden Abtragsintensitäten innerhalb der einzelnen Felder (Abb. 7.4c). Die dargestellten Isoabtragslinien wurden aus den berechneten Abträgen der Teilflächen nach statistischer Glättung mit Hilfe eines digitalen Geländemodells ermittelt. Aus Abb. 7.4c wird deutlich, wie differenziert bei diesem Maßstab eine Erosionsprognose erfolgen kann. Eine ebenso differenzierte Erosionsberatung wird dadurch möglich. Gegenüber den Übersichtskarten bietet der Maßstab der Detailkarte eine fast tausendfach höhere Auflösung. Innerhalb dieses weiten Bereiches ist die ABAG wirkungsvoll einsetzbar.

¹⁾ Hangneigung und Bodenerodierbarkeit wurden von Herrn Kagerer, Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau bestimmt.

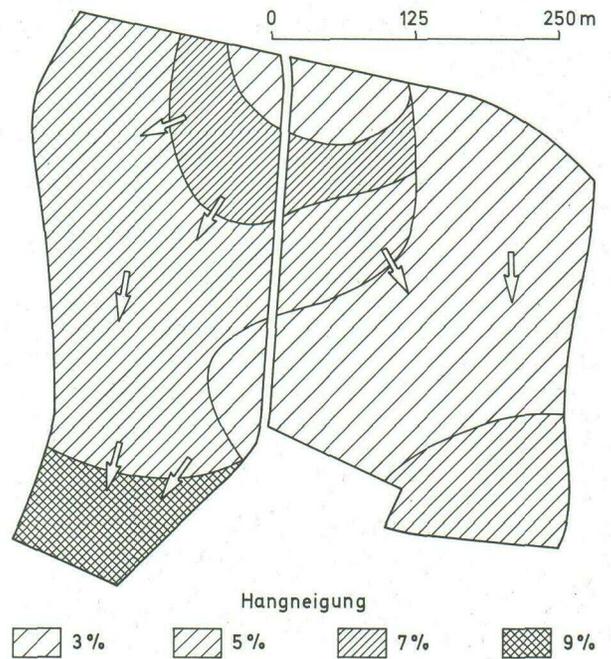


Abb. 7.4a: Flächen gleicher Hangneigung für 2 Felder des Brandhofs (Maßstab ca. 1:7 000)

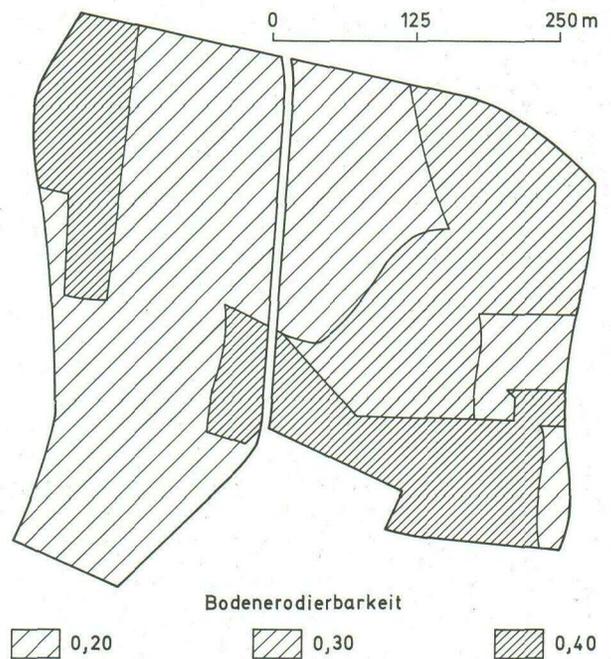


Abb. 7.4b: Flächen gleicher Erodibilität für 2 Felder des Brandhofs; klassifiziert nach dem Klassenbeschrieb der Reichsbodenschätzung (Maßstab ca. 1:7 000)

Auf den beiden Feldern liegt der Bodenabtrag großflächig unter 5 t/ha. Am linken Feld ist ein mittlerer Abtrag von 4,3 t/ha · a zu erwarten, am rechten Feld einer von 2,3 t/ha · a zu erwarten. Die Ackerzahlen liegen zwischen 38 und 45. Als tolerierbar kann daher ein Bodenabtrag zwischen 4 und 5 t/ha · a angesehen werden.

Die detaillierte Abtragsberechnung zeigt deutlich, daß die pauschale Behandlung eines Feldes als Einheit zu Fehlschlüssen führen kann. Während für die Gesamtfläche der Bodenabtrag unter der Toleranzgrenze liegt, treten in einzelnen Hangbereichen Bodenabträge auf, die über $13 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ betragen und damit nicht mehr zu akzeptieren sind. Trotz einer im Mittel geringen Erosionsneigung treten wegen einer sehr ungünstigen Hangform so hohe Abträge am Hangfuß des linken Feldes auf.

Auf einem großen, flachen Ober- und Mittelhang kann sich viel Oberflächenabfluß ansammeln. Im Unterhang nimmt die Hangneigung stark zu. Der aus dem Ober- und Mittelhang zuströmende Abfluß hat wegen der dort vorliegenden geringen Hangneigung nur eine geringe Sedimentfracht. Wegen der höheren Hangneigung im Unterhang kommt der zuströmende Abfluß in die Lage, wesentlich mehr Boden zu transportieren. Dadurch nimmt der Bodenabtrag im Unterhang sehr stark zu.

Mit einer so differenzierten Abtragsprognose kann auch eine entsprechend detaillierte Empfehlung für

erosionsmindernde Maßnahmen erteilt werden. Um die hohen Bodenverluste am Unterhang zu vermeiden, ist es unnötig, auf der gesamten Fläche eine Nutzungseinschränkung einzuführen. Da die Ursache der hohen Bodenabträge der aus dem Ober- und Mittelhang stammende Zufluß ist, kann die Erosion wirkungsvoll vermindert werden, wenn dieser Zufluß unterbunden wird. Dazu wäre ein stabiler Feldrain etwa auf Höhe der unteren 5 t-Linie in der Lage. Wo die optimale Position des Feldrains unter dem Gesichtspunkt der Erosionsminimierung liegt, läßt sich wiederum mit Hilfe der ABAG errechnen. Das Verfahren dazu beschreibt VOGL (1984).

Da sich am Unterhang des linken Feldes kein weiterer Acker anschließt, dem das abgeteilte Stück zugeschlagen werden könnte, sondern Wald stockt, ist zu überlegen, ob nicht der unterste Teil des linken Feldes aus der Ackernutzung genommen und aufgeforstet werden sollte. Würde die Fläche mit mehr als $8 \text{ t/ha} \cdot \text{a}$ Bodenabtrag aufgeforstet, so gingen nur 4% der Ackerfläche verloren, der Bodenabtrag wäre aber sehr wirkungsvoll reduziert.

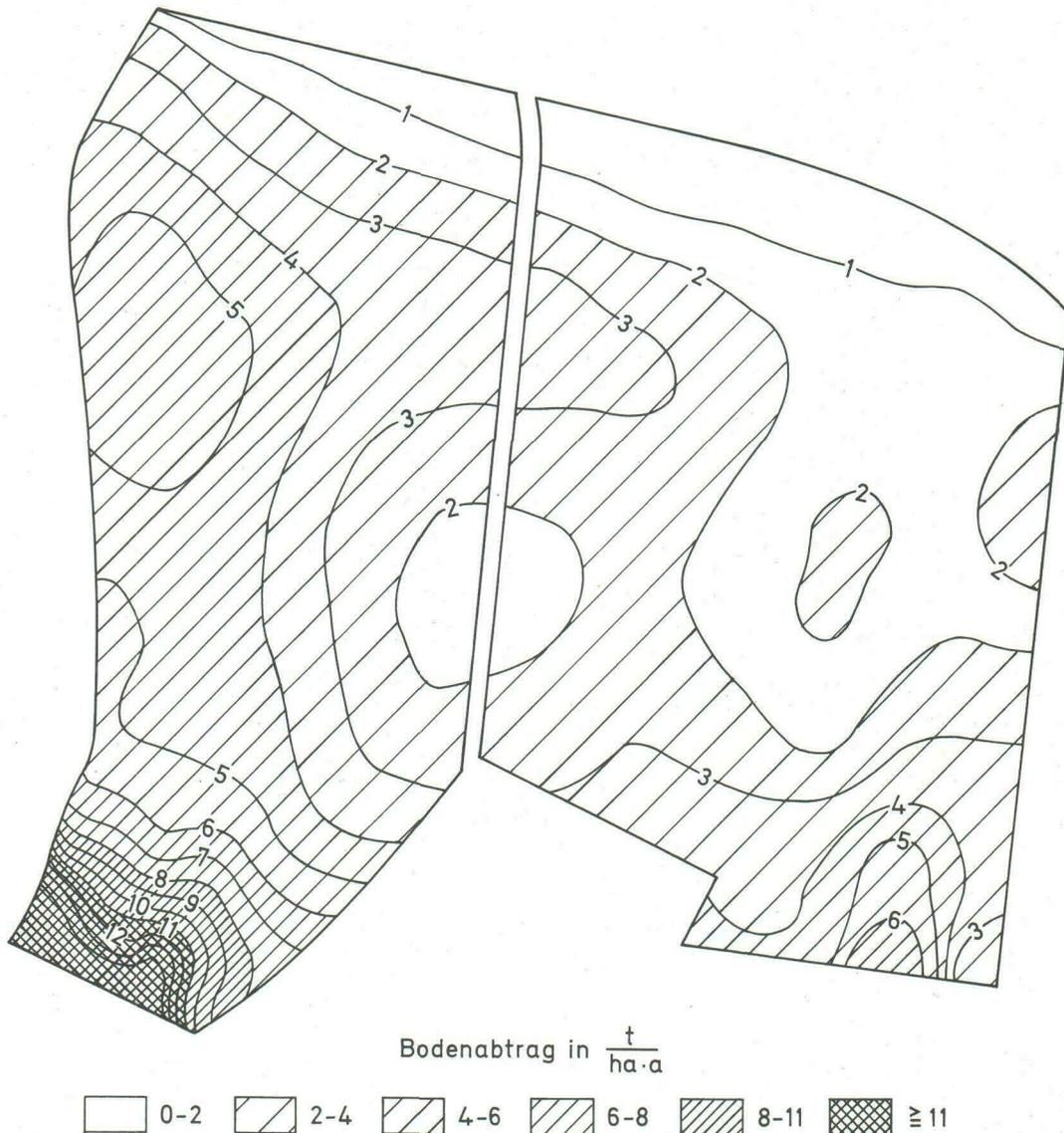


Abb. 7.4c: Flächen gleicher Abtragsintensität für 2 Felder des Brandhofs; Trendflächenglättung mit einer 2-dimensionalen Regression 8. Grades (Maßstab ca. 1:3 600)

8. Index

8.1 Literatur

- AHRENS H., 1960: „Die Bodenkarte 1:5 000 auf der Grundlage der Bodenschätzung, ihre Herstellung und ihre Verwendungsmöglichkeiten“, Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **8**, 164 S., Krefeld
- AUERSWALD K., 1987 a: „Die Bestimmung der Bodenfruchtbarkeit aus dem Klassenbeschrieb der Reichsbodenschätzung zum Festlegen von tolerierbaren Bodenabträgen (T-Wert)“, Z. Acker- & Pflanzenbau, im Druck
- AUERSWALD K., 1987 b: „Sensitivität erosionsbestimmender Faktoren“, Wasser & Boden, im Druck
- AUERSWALD K., 1986 a: „Einstufung der Bodenerodibilität (K-Faktor) nach dem Klassenbeschrieb der Reichsbodenschätzung für Südbayern“, Z. Kulturtechnik & Flurber., **27**, 344–351
- AUERSWALD K., 1986 b: „Eignung der Hangneigungsfaktoren verschiedener Erosionsmodelle unter bayerischen Anbauverhältnissen“, Z. Kulturtechnik & Flurber., **27**, 218–224
- AUERSWALD K., 1984: „Die Bestimmung von Faktorenwerten der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung mit künstlichen Starkregen“, Diss. TU München/Weihenstephan
- AUERSWALD K., M. KAINZ, W. VOGL, 1986: „Vergleich der Erosionsgefährdung durch Maisfruchtfolgen“, Bayer. Landw. Jb., **63/1**, 3–8
- AUERSWALD K., C. WAGNER, 1984: „Die Erodibilität ausgewählter Böden der bayerischen Schichtstufenlandschaft“, Z. f. Pflanzenern. & Bodenk., **147**, S. 765–776
- BEASLEY D., L. HUGGINS, 1980: „ANSWERS user's manual“, Purdue Univ. Agric. Eng. Dep., 55 S.
- BECHER H., K. AUERSWALD, M. BERNARD, 1985: „Erodibilität repräsentativer Böden der Hallertau“, Z. Pflanzenernähr. Bodenk., **148**, 670–680
- BERGSMA E., 1980: „Provisional rain erosivity map of the Netherlands“, in M. de Boodt & D. Gabriels (Hrsg.): „Assessment of erosion“, Wiley, 121–126
- BOLLINE A., A. LAURENT, P. ROSSEAU, J. PAUWELS, D. GABRIELS, J. AELTERMAN, 1980: „Provisional rain erosivity map of Belgium“, in M. de Boodt & D. Gabriels (Hrsg.): „Assessment of erosion“, Wiley, 111–120
- BRUNNACKER K., 1963: „Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25 000, Blatt-Nr. 7356 Freising Nord“, Bayer. Geol. Landesamt, München
- BURROUGHS E. jr., E. SUNDBERG, 1982: „Surface erosion from forest roads – a proposed research program using simulated rainfall“, USDA, Agric. Reviews and Manuals, Western Series **26**, 187–190
- CROSBY C., P. MCPHEE, A. SMITHEN, 1983: „Introduction of the Universal Soil Loss Equation in the Republic of South Africa“, ASAE-Paper **2072**, 15 S.
- DICK A., 1985: „Der Schutz des Bodens – Beantwortung der Interpellationen der Fraktionen von CSU und SPD im Bayerischen Landtag (Drs 10/6171 und 10/6352) durch den Bayerischen Staatsminister für Landesentwicklung und Umweltfragen.“ Bayer. Staatsmin. Landesentw. Umweltfragen, 119 S.
- DIERCKE, 1983: „Satellitenbild-Atlas Deutschland“, DTV, München, 131 S.
- DIEZ T., 1985: „Grundlagen und Entwurf einer Erosionsgefährdungskarte von Bayern“, Mitteil. Dt. Bodenkundl. Ges. **43/II**, 833–840
- DISSMEYER G., G. FOSTER, 1984: „A guide for predicting sheet and rill erosion on forest land“, USDA-Forest Service, Techn. Puplic., R 8-TP 6, 40 S.
- ELWELL H., 1979: „Modelling soil losses in Zimbabwe Rhodesia“, Papers ASAE **79-2050**
- FAO, 1981: „World soil charter“, Report 21. Session of the FAO Conference, FAO, Rom
- FOSTER G., 1980: „Soil erosion modelling: special considerations for nonpoint pollution evaluation of field sized areas“, in: Overcash M. & J. Davidson (Hrsg.): „Environmental impact of nonpoint source pollution“, Ann Arbor Sci.
- HÄCKEL H., J. WINKLER, 1985: „Über den mittleren Jahresverlauf landwirtschaftlich wichtiger Witterungsfaktoren“, Bayer. Landw. Jb. **62**, 437–492
- HAHN H., M. ANDERSON, J. ARNOLD, K. AUERSWALD, H. DREGNE, T. DUNNE, R. FREEZE, W. FYFE, R. HORN, R. KATES, H. KUNTZE, 1986: „Environmental changes associated with use of land and water“, in McLaren D., B. Skinner (Hrsg.): „Resources and world development“, Dahlem Konferenzen, Springer, Berlin, im Druck
- HAZARD J., 1900: „Die geologisch-agronomische Kartierung als Grundlage einer allgemeinen Kartierung des Bodens“, Lw. Jb. **29**, (zit. n. MÜCKENHAUSEN, 1950)
- KAINZ M., 1987: „Oberflächenabfluß, Nährstoffabflüsse und Bodenabtrag unter Mais und Zuckerrüben-Bestimmung von Faktorenwerten der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung mit einem Regensimulator“, Diss. TU München/Weihenstephan
- KARL J., 1977: „Erosionsversuche auf zwei Skiabfahrten und im angrenzenden Wald bei Achenkirch, Tirol“, Beiträge zur Umweltgestaltung, Erich Schmidt-Verlag, Berlin, **A 62**, 65–69
- KARL J., 1962: „Bodenerosion und ihre Bekämpfung am Nordrand der Alpen, dargestellt am Beispiel der Trauchgauer Flyschberge“, Symposium of Bari, 1962 (Gentbrugge) **59**, 36–42
- KARL J., W. HÖTL, 1974: „Analyse alpiner Landschaften in einem homogenen Rasterfeld“, Schriftenreihe Bayer. Landesst. f. Gewässerkd. München **10**, 32 S.
- KARL J., M. PORZELT, 1976: „Vergleichende Messungen von Abfluß und Bodenabtrag“, Wasser und Abwasser, bau-intern **3/1976**, 46–48

- KERN H., 1973: „Mittlere jährliche Abflußhöhen 1931–1960“, Schriftenreihe Bayer. Landesst. Gewässerkd. **5**, 24 S.
- KNICKMANN H., J. WURM, 1956: „Übersichtskarte der Ertragswerte der landwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns, 1:800 000“ in Bayer. Arbeitsgemeinschaft f. Raumforschung (1960): „Deutscher Planungsatlas – Band V“, München
- KNISEL W. (Hrsg.), 1980: „CREAMS: a field scale model for Chemicals, Runoff, and Erosion from Agricultural Management Systems“, USDA, Cons. Res. Rep. **26**, 643 S.
- KOHLMANN H., A. KASTNER, 1975: „Der Hopfen“, Hopfen-Verlag, Wolnzach, 388 S.
- LARSON W., 1981: „Protecting the soil resource base“, J. Soil & Water, zit. n. STOCKING, 1984
- MAIER J., U. SCHWERTMANN, 1981: „Das Ausmaß des Bodenabtrags in einer Lößlandschaft Niederbayerns“, Bayer. Landw. Jb. **58**, 189–194
- McCOOL D., W. WISCHMEIER, L. JOHNSON, 1982: „Adjusting the USLE to the Pacific Northwest“, Transactions ASAE **25**, 928–934
- McLAREN D., B. SKINNER, 1986: „Resources and world development“, Dahlem Konferenzen, Springer, Berlin, im Druck
- MEYER L., 1980: „Adding erosion from snowmelt to an erosion prediction equation“, in Knisel W. (Hrsg.): „CREAMS: a field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems“, 444–445
- MOSS A., P. GREEN, 1983: „Movement of solids in air and water by raindrop impact-Effects of drop size and water depth variations“, Aust. J. Soil Res. **21**, 257–269
- MORTENSEN H., 1954/55: „Die quasinatürliche Oberflächenformung als Forschungsproblem“, Z. Ernst-Moritz-Arndt-Universität, Greifswald, Math.-nat. Reihe **4**, 625–628
- MÜCKENHAUSEN, 1950: „Bisherige Untersuchungen über den Bodenabtrag in Deutschland und anderen Ländern und Folgerungen für die Landwirtschaft“, Geol. Jb. **65**, 580–510, 547–550
- MURPHREE C., C. MUTCHLER, 1981: „Verification of the slope factor in the universal soil loss equation for low slopes“, J. Soil & Water Cons. **36**, 300–302
- MUTCHLER C., J. GREER, 1980: „Effect of slope length on erosion from low slopes“, Transact. ASAE **23**, 866–876
- NAPIER T., 1986: „Socio-economic factors influencing the adoption of soil erosion control practices in the United States“, in „Workshop on Erosion Assessment for the EEC: Methods and Models“, Brüssel, 23 S.
- NEIBLING W., G. FOSTER, 1977: „Estimating deposition and sediment yield from overland flow processes“, in: „International symposium on urban hydrology, hydraulics, and sediment control“, Univ. Kentucky, 75–86
- PASÁK, V., M. JANEČEK, M. SABATÁ, 1983: „Ochrana zemědělské pudy před erosi“, Metodiky **11**, 77 S.
- PIERRE J., W. WISCHMEIER, 1960: „The slope-practice method shows farmers how to control soil losses“, County Agent & Vo-Ag Teacher **16**, 28–29
- POPPT., 1984: „Änderung der Landnutzung und Verlauf der Bodenerosion seit 1917 in Teilgebieten der Allgäuer Alpen nach Luftbildserien und Geländeaufnahmen“, Diss., TU München/Weihenstephan
- PRESTEL H., 1986: „Die Schlagkartei in der bayerischen Landwirtschaftsberatung, Konzeption und Auswertung“, Diss., TU München/Weihenstephan, 190 S.
- RICHTER G., 1965: „Bodenerosion – Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland“, BLR, Bad Godesberg, Bundesanstalt f. Länderkunde & Raumforschung
- ROGLER H., U. SCHWERTMANN, 1981: „Erosivität der Niederschläge und Isoerodentkarte von Bayern“, Z. f. Kulturtechnik & Flurber. **22**, 99–112
- ROOSE E., 1977: „Use of the universal soil loss equation to predict erosion in West Africa“, SCSA, 60–74
- RUHR-STICKSTOFF AG (Hrsg.), 1978: „Faustzahlen für Landwirtschaft und Gartenbau“, 8. Aufl., Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup
- RUHS P., 1978: „Verzeichnis der Bach- und Flußgebiete in Bayern“, Bayer. Landesamt Wasserwirt., 2 Bände
- SACHS L., 1978: „Statistische Methoden“, 5. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 552 S.
- SCHMIDT F., 1979: „Die Abschätzung des Bodenabtrags in Hopfengärten mit Hilfe der Kupferbilanz“, Diss. TU München/Weihenstephan
- SCHMIDT F., O. WITTMANN, 1984: „Einstufung der potentiellen Erosionsgefährdung mit Hilfe der ABAG auf der Grundlage der Bodenschätzung“, Mitteil. Dt. Bodenkundl. Ges. **39**, 133–138
- SCHWERTMANN U. & MITARBEITER, 1981: „Die Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser in Bayern“, Bayer. Staatsmin. Ernähr. Landw. Forsten, 126 S.
- SCHWERTMANN U., W. VOGL, M. KAINZ, 1987: „Vorausschätzung des Bodenabtrags durch Wasser“, Ulmer
- SINGER M., Y. MATSUDA, J. BLACKARD, 1981: „Effect of mulch rate on soil loss by raindrop splash“, Soil Sci. Soc. Am. J. **45**, 107–110
- SOKOLLEK V., K. WULFF, 1984: „Entwicklung einer Erosionsgefährdungskarte für ein Flurbereinigungsgebiet in Osthessen“, Mitteil. Dt. Bodenkundl. Ges. **39**, 157–162
- SOMMER C., M. ZACH, M. DAMBROTH, 1981: „Bodenerosion erfordert alternative Formen der Bodenbearbeitung“, Berichte über Landwirtschaft **197**, 71–79
- STÄBLEIN G., 1981: „Geomorphologische Standortaufnahme mit dem EDV-Symbolschlüssel, Beispiele von

- Dateien und Auswertungen“, Z. Geomorph. N.F. Suppl.-Bd. **39**, 39–49
- STEINHAUSER H., C. LANGBEHN, U. PETERS, 1978: „Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre, Band 1: Allgemeiner Teil“, Ulmer, Stuttgart, 304 S.
- STEINHAUSER H., A. KLINK, 1986: „Raps und Gerste weiter die 'Renner'“, Bayer. Lw. Wochenbl. **1986/28**: 12, 13, 18
- STEWART B., et al. (Hrsg.), 1975: „Control of water pollution from cropland – Vol. I – A manual for guideline development“, USDA-EPA, 111 S.
- STOCKING M., 1984: „Erosion and soil productivity: a review“, FAO Consultants' Working Paper **1**, 102 S.
- STOCKING M., H. ELWELL, 1973: „Soil erosion hazard in Rhodesia“, Rhod. agric. J. **70**, 93–101
- STRUBELT W., W. WENDLING, 1985: „Waldsterben und Raumordnung“, in Bundesforschungsanstalt Landeskunde und Raumordnung (Hrsg.): „Informationen zur Raumentwicklung“, **10**. **1985**: 841–857
- STÜRMER H., H. BECHER, U. SCHWERTMANN, 1982: „Ertragsbildung bei Mais auf erodierten Hängen“, Z. Acker- und Pflanzenbau, **151**, 315–321
- VICTOR N., 1978: „Alternativen zum klassischen Histogramm“, Meth. Inform. Med. **17**, 120–126
- VLIET L. VAN, G. WALL, 1981: „Soil erosion losses from winter runoff in Southern Ontario“, Can. J. Soil Sci. **61**, 451–454
- VOLD T., M. SONDHEIM, N. NAGPAL, 1985: „Computer assisted mapping of soil erosion potential“, Can. J. Soil Sci. **65**, 411–418
- VOGL W., 1984: „Bodenerosion und kulturbautechnische Maßnahmen“, Berichte aus der Flurbereinigung **52**, 161–165
- VOSS W., H. PREUSSE, 1976: „Die Gewässerbelastung durch den Austrag gelöster und fester Substanzen“, Forschung und Beratung, Reihe C, **30**, 229–237
- WILHELMY H., 1981: „Geomorphologie in Stichworten – I. Endogene Kräfte, Vorgänge und Formen“, Hirt, 104 S.
- WILLIAMS J., P. DYKE, C. JONES, 1982: „EPIC-A model for assessing the effects of erosion on soil productivity“, in Laurenroth W. et al. (Hrsg.): „Analysis of ecological systems: State of the art in ecological modelling“, Elsevier, 553–572
- WISCHMEIER W., 1976 a: „Use and misuse of the universal soil loss equation“, J. Soil & Water Cons. **31**, 5–9
- WISCHMEIER W., 1976 b: „Cropland erosion and sedimentation“, in Stewart B., et al. (Hrsg.): „Control of water pollution from cropland – Vol. II – An overview“, – US-DA-EPA, S. 31–58
- WISCHMEIER W., 1975: „Estimating potential erosion“, in Stewart B. et al. (Hrsg.): „Control of water pollution from cropland“, USDA, **1**, 7–21
- WISCHMEIER W., 1962: „Storms and soil conservation“, J. Soil & Water Cons. **17**, 55–59
- WISCHMEIER W., C. JOHNSON, B. CROSS, 1971: „A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites“, J. Soil & Water Cons. **26**, 189–193
- WISCHMEIER W., D. SMITH, 1978: „Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning“, USDA, Agric. Handbook No. **537**
- WISCHMEIER W., D. SMITH, 1965: „Predicting soil erosion losses east of the Rocky Mountains-Guide for selection of practices for soil and water conservation“, USDA, Agric. Handbook No. **282**
- WITTMANN O., 1986: „Der Bodenkataster Bayern-Bodeninformation für Standortkunde, Boden- und Umweltschutz“, Amtsblatt Bayer. Staatsmin. Landesentw. Umweltfragen, **3**, München
- WITTMANN O., 1983: „Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern – Übersichtskarte 1:1 000 000“, Materialien **21**, 30 S., Bayer. Geol. Landesamt, München
- WITTMANN O., 1982: „Erosion von landwirtschaftlichen Flächen in Nordbayern“, Laufener Seminarbeiträge **5/82**, 96–100
- WOLMAN M., 1986: „Criteria for land use“, in Mc Laren D., B. Skinner (Hrsg.): „Resources and world development“, Dahlem Konferenzen, Springer, Berlin, im Druck
- WÜRFL P., J. DÖRFLER, P.-M. RINTELEN, 1984: „Die Einteilung Bayerns in landwirtschaftliche Erzeugergebiete und Agrargebiete“, Bayer. Landw. Jb. **61**, 377–423
- WÜRFL P., J. DÖRFLER, P.-M. RINTELEN, M. SITTARD, R. FELDLE, 1982: „Karten zur Agrarstruktur im Freistaat Bayern. Teil B: Bodennutzung; Teil C: Anbau auf der Ackerfläche“, Arbeiten Bayer. Landesanst. Betriebswirt. Agrarstruktur **15**, 1. Aufl.
- ZWARTENDYK J., 1986: „Human factors influencing resource availability and use“, in Mc Laren D., B. Skinner (Hrsg.): „Resources and world development“, Dahlem-Konferenzen, Berlin, im Druck

8.2 Programme

- Verwendungszweck:** Allgemeine Statistische Prozeduren
- Programmname:** SPSS⁺ und SPSS 9 (Version für BS200)
- Herkunft:** SPSS Inc.; BS2000-Version der Universität Mannheim
- Dokumentation:** Beutel P., W. Schubö, 1983: „SPSS 9 Statistik-Programmsystem für die Sozialwissenschaften“, Fischer, Stuttgart, 323 S.
- Verwendungszweck:** normale und logarithmische Häufigkeitsverteilung mit Verteilungsmaßen
- Name:** UG1STAT
- Autor:** MUNDREY E., 1972; NLFb, Hannover
MIELKE H., 1980; BGLA (Version 080480)
- Verwendungszweck:** Berechnen verschiedener Mittelwert- und Streuungsmaße geschichteter Daten
- Name:** LEGLIED
- Autor:** AUERSWALD K., 1985; BGLA
- Verwendungszweck:** Abtragsberechnung
- Name:** ABTRAG
- Autor:** AUERSWALD K., 1985; BGLA
- Verwendungszweck:** Karten-Layout
- Name:** SICAD
- Autor:** SIEMENS AG, München
- Verwendungszweck:** Berechnen der Gaus-Krüger-Koordinaten und Rasterklassifikation
- Name:** EROS
- Autor:** RIEGEL F., 1985, BStMLU
MESSLI A., 1985, BGLA
- Verwendungszweck:** Berechnung der Abträge unregelmäßiger Hänge
- Name:** KOMPLEX
- Autor:** AUERSWALD K., 1986; BGLA
- Verwendungszweck:** Berechnung von Trendflächen
- Name:** UG1TRND
- Autor:** MUNDREY E., 1971; NLFb, Hannover
MIELKE H., 1980; BGLA (Version 280980)
- Verwendungszweck:** Digitales Geländemodell
- Name:** STAMPEDE-System
- Autor:** Hess. Zentrale f. Datenverarb. Version: GLA-151184

8.3 Mittlere Abträge bayerischer Landschaften

In der folgenden Tabelle sind die arithmetischen Mittelwerte der Abträge für Großlandschaften und Teillandschaften 1. Ordnung (WITTMANN, 1983) angegeben. Die einzelnen Raster wurden derjenigen Landschaftseinheit zugeordnet, die den größten Teil der Rasterfläche einnimmt. In die Berechnung der Werte, die sich nur auf eine bestimmte Nutzung beziehen, z. B. Abträge von Ackerflächen, gingen nur die Raster ein, auf denen diese Nutzung mit einem Flächenanteil von mindestens 10 % vertreten war. Der unterschiedliche Flächenanteil wurde darüberhinaus nicht berücksichtigt,

Nr.	Landschaftseinheit Kurzbezeichnung	Abträge (t/ha · a)			Gesamtzahl der Raster
		Ackerfläche	landwirtschaftl. Fläche	Gesamtfläche	
11	Unterrhein-ebene	2,34	2,10	1,24	10
20	Spessart-Odenwald	14,59	8,79	3,43	380
21	Grundgebirgsspessart	17,02	10,87	6,31	54
22	Buntsandsteinspessart	13,00	7,47	2,52	261
23	Buntsandsteinoedenwald	16,62	10,90	4,70	65
30	Rhön	10,68	5,99	2,90	246
31	Vorrhön	10,48	6,29	2,96	211
32	Hohe Rhön	11,65	4,51	2,53	35
40	Fränkische Platten	11,42	10,24	7,52	1 018
41	Nördl. Fränk. Platten	10,84	9,64	6,40	338
42	Südl. Fränk. Platten	11,71	10,55	8,08	680
50	Keuper-Lias-Land	5,79	4,20	2,50	1 722
51	Haßberge	9,20	7,37	2,91	56
52	Steigerwald	7,81	5,91	2,62	128
53	Frankenhöhe	4,47	2,88	1,77	80
54	Itz-Baunach-Hügelland	9,11	7,09	4,43	198
55	Keuperbecken	3,94	3,06	1,62	445
56	SW. Keuperabdachung	4,32	3,02	1,88	355
57	Nördliches Albvorland	8,84	5,79	3,55	153
58	Mittl. u. Südl. Albvorland	5,75	3,86	2,87	241
59	Nördlinger Ries	3,64	2,93	2,59	66
60	Fränkische u. Schwäb. Alb	8,90	6,77	3,95	1 454
61	Nördliche Frankenalb	9,04	6,50	3,65	469
62	Mittl. u. Südl. Frankenalb	7,82	6,40	3,87	512
63	Schwäbische Alb	9,33	6,55	4,20	170
64	Oberfränk. Braun- u. Schwarzjura-gebiet	8,95	5,30	3,10	95

sondern alle Raster, die die 10 %-Marke überschritten, gingen gleichwertig in die Berechnung ein.

Die in der Tabelle ausgewiesenen Mittelwerte können nur einen Anhaltspunkt dafür liefern, ob sich einzelne Landschaften in ihrer Gefährdung unterscheiden. Innerhalb der einzelnen Landschaften treten sehr große Unterschiede in der Erosionsgefährdung einzelner Flächen auf. Die Standardabweichung liegt in der Regel in der gleichen Größenordnung wie der Mittelwert, in manchen Landschaften sogar noch darüber. Die Zahlen sind daher nicht geeignet, um weitere Berechnungen darauf aufzubauen.

Nr.	Landschaftseinheit Kurzbezeichnung	Abträge (t/ha · a)			Gesamtzahl der Raster
		Ackerfläche	landwirtschaftl. Fläche	Gesamtfläche	
65	Oberpfälzer Jurarand	11,00	9,34	5,00	208
70	Obermain-Schollenland	9,21	5,74	3,86	187
71	NE. Obermain-Schollenland	9,06	5,54	3,71	92
72	S Obermain-Schollenland	9,36	5,94	4,00	95
80	Frankenwald/Fichtelgebirge	9,17	5,67	2,92	506
81	Frankenwald	8,77	5,06	2,24	164
82	Münchberger Hochfläche	10,98	7,28	4,84	87
83	Hohes Fichtelgebirge	10,20	5,45	1,97	69
84	Brand-Neusorger-Becken	13,29	6,93	3,47	22
85	Steinwald	14,28	8,36	2,96	16
86	Bayerisches Vogtland	7,70	5,56	3,38	68
87	Selb-Wunsiedler-Bucht	6,77	4,39	2,53	80
91	Oberpf. Becken- u. Hügelland	5,05	3,27	1,68	359
100	Oberpfälzer Wald	9,53	5,45	3,08	558
101	Mitterteicher Basaltgebiet	8,43	4,56	2,41	20
102	Naab-Wondreb-Senke	8,33	5,87	2,90	69
103	Vorderer Oberpf. Wald	8,48	5,13	3,10	314
104	Innerer Oberpf. Wald	10,40	5,39	2,04	101
105	Cham - Further Senke	15,92	7,26	5,36	54
110	Bayerischer Wald	23,11	6,70	3,70	850
111	W Vorwaldrand	15,34	7,78	4,26	191
112	Südl. Vord. Bayer. Wald	26,88	7,17	4,40	479

Landschaftseinheit		Abträge (t/ha · a)			Gesamtzahl der Raster
Nr.	Kurzbezeichnung	Ackerfläche	landwirtsch. Fläche	Gesamtfläche	
113	Innerer Bayer. Wald	18,07	2,29	1,27	180
120	Tertiär/Donautal/Lechplatte	13,09	9,43	7,02	2 639
121	Donauried u. Unt. Illertal	1,58	1,28	1,06	118
122	Ingolstädter Donauniederung	1,09	0,98	0,77	112
123	Ostbay. Donauniederung	8,64	7,44	6,18	267
124	Unteres Lechtal	1,02	0,85	0,62	45
125	Unteres Isartal	2,75	1,96	1,64	80
126	Unteres Inntal	2,86	2,35	2,00	42
127	N Iller-Lech-Platte	12,62	5,29	3,33	455
128	Oberbayer. Tertiärhügelland	12,02	9,56	7,12	550
129	Niederbayer Tertiärhügelland	19,70	14,98	11,34	970
130	Schotterpl. u. Altmoränen	7,79	3,66	2,63	1 054
131	Lechfeld	1,57	1,05	0,90	100
132	Münchener Schotterebene	2,28	1,50	0,88	385
133	Mühd. u. Öttinger Schotterfelder	4,14	2,42	1,57	69
134	Südl. Iller-Lech-Platte	9,03	1,40	1,05	248
135	Loisach-Isar-Altmoräne	7,55	5,60	4,52	54
136	Erdinger, Isen-Altmoräne	20,37	10,99	8,51	102
137	Alzplatte	17,85	10,98	8,99	96

Landschaftseinheit		Abträge (t/ha · a)			Gesamtzahl der Raster
Nr.	Kurzbezeichnung	Ackerfläche	landwirtsch. Fläche	Gesamtfläche	
140	Jungmor. u. Molassevorberge	13,46	2,79	2,07	1 221
141	Bodenseebcken		0,44	0,52	14
142	Westl. Allg. Hügelland	4,01	0,34	0,44	32
143	Allg. Jungmo. u. Molassevorb.	5,77	0,50	0,49	212
144	Obb. Jungmo. u. Molassevorb.	15,10	3,41	2,49	963
150	Bayerische Alpen	5,30	0,88	4,02	835
151	Kürnacher Molassebergl.		0,62	1,61	69
152	Allgäuer Molassevoralpen		0,94	3,05	50
153	Allg. Flysch- u. Helvet. Voralpen		1,36	4,05	34
154	Obb. Flysch-Voralpen	13,76	0,98	2,76	96
155	Mittlere Bay. Kalkalpen		0,88	4,82	275
156	Chiemgauer Alpen		1,02	2,80	110
157	Allgäuer Hochalpen		0,97	5,38	73
158	Karwendel u. Wetterstein		0,43	5,92	44
159	Berchtesgadener Alpen		0,49	4,82	84
	Anzahl der berücksichtigten Raster	10.071	11.788	13.067	13.067

8.4 Mittlere Abträge bayerischer Landkreise

Für die folgende Tabelle gelten sinngemäß die gleichen Berechnungsbedingungen wie für Tab. 8.3. Die kreisfreien Städte wurden, da sie i. d. R. nur wenige Raster umfassen und der Anteil der landwirtschaftlichen Flächen gering ist, dem entsprechenden Landkreis zuge schlagen und nur ausnahmsweise aufgeführt.

Landkreis	Abträge (t/ha · a)			Gesamt- zahl der Raster
	Acker- fläche	landwirt- schaftl. Fläche	Gesamt- fläche	
Aichach-Friedberg	4,7	3,42	2,51	141
Altötting	11,2	6,32	4,40	101
Amberg-Sulzbach	7,0	4,99	2,57	245
Ansbach	3,6	2,43	1,70	391
Aschaffenburg	12,1	7,86	3,57	138
Augsburg	5,8	2,78	1,64	226
Bad Kissingen	11,4	7,91	4,23	223
Bad Neustadt (Rhön- Grabfeld)	8,5	6,32	3,94	198
Bad Tölz-Wolfratsh.	21,6	1,23	1,64	199
Bamberg	7,6	5,71	3,46	225
Bayreuth	8,9	5,36	3,25	255
Berchtesgaden	17,7	1,56	1,50	108
Cham	13,6	6,32	3,61	279
Coburg	7,3	5,59	3,54	130
Dachau	4,9	3,70	2,95	103
Deggendorf	13,5	6,73	4,38	162
Dillingen a. d. Donau	4,2	2,94	2,20	146
Dingolfing-Landau	11,5	9,91	7,40	163
Donauries	6,8	4,83	3,43	236
Ebersberg	11,5	4,18	2,70	101
Eichstätt	4,6	3,88	2,34	223
Erding	13,0	7,83	6,47	154
Erlangen-Höchstadt	2,9	2,13	1,14	107
Forchheim	6,3	4,08	2,25	123
Freising	9,8	7,96	6,51	146
Freyung-Grafenau	26,2	3,90	2,20	175
Fürstenfeldbruck	3,5	2,45	1,80	79
Fürth/Bayern	2,1	1,70	1,14	70
Garmisch- Partenkirchen	-	0,24	1,28	174
Günzburg	8,6	3,95	2,62	144
Haßberge	9,4	7,54	4,33	189
Hof	8,4	5,48	3,34	176
Ingolstadt	1,2	1,00	0,68	24
Kelheim	19,3	16,98	11,37	188
Kitzingen	8,4	7,24	5,91	127
Kronach	9,5	5,20	2,47	129
Kulmbach	7,8	5,14	3,13	123
Landsberg am Lech	5,2	1,92	1,50	165
Landshut	12,0	9,90	7,60	255
Lauf an der Pegnitz (Nürnberger Land)	7,2	4,25	2,16	147
Lichtenfels	9,9	7,04	4,21	97
Lindau am Bodensee	-	0,36	0,46	62
Main-Spessart- Kreis	12,9	10,13	5,05	249
Miesbach	6,8	0,46	1,03	153
Miltenberg	14,7	9,19	4,08	133
Mindelheim (Unterallg.)	8,5	2,03	1,49	239
Mühdorf am Inn	18,1	9,89	7,77	145
München	0,8	0,62	0,22	151

Landkreis	Abträge (t/ha · a)			Gesamt- zahl der Raster
	Acker- fläche	landwirt- schaftl. Fläche	Gesamt- fläche	
Neuburg- Schrobenhausen	3,0	2,17	1,42	133
Neumarkt i. d. Oberpfalz	5,8	4,55	2,94	250
Neustadt a. d. A. - Bad Windsheim	4,3	3,42	2,29	235
Neustadt a. W. u. Weiden	5,8	3,42	1,89	274
Neu-Ulm	3,9	2,18	1,62	92
Nürnberg u. Schwabach	2,4	1,83	0,52	52
Oberallgäu u. Kemp.	-	0,43	1,11	287
Ostallgäu u. Kaufb.	2,0	0,56	0,82	255
Passau	17,8	8,55	6,29	292
Pfaffenhofen/Ilm	15,9	13,34	9,67	142
Regen	22,9	3,47	2,00	177
Regensburg	9,4	7,78	4,77	273
Rosenheim	14,0	2,84	2,11	262
Roth	2,9	2,02	1,12	165
Rottal-Inn	12,5	7,78	5,93	239
Schwandorf	6,6	4,23	2,17	278
Schweinfurt	10,5	9,66	6,74	160
Starnberg	5,8	2,80	1,59	81
Straubing-Bogen	15,7	9,63	6,50	234
Tirschenreuth	8,1	4,99	2,47	202
Traunstein	16,9	4,97	3,55	273
Weilheim-Schongau	9,7	1,01	0,88	170
Weißenburg- Gunzenhausen	4,7	3,15	1,99	180
Würzburg	14,4	13,27	9,89	204
Wunsiedel i. Fichtelg. Gemeindefreie Fläche	6,7	4,13	2,15	112
			0,99	128
Anzahl der berücksichtig- ten Raster	10.071	11.788	13.067	13.067

Einheiten der Standortkundlichen Landschaftsgliederung von Bayern

Legende zur Deckfolie

1. Rhein-Main-Niederung

1.1. Untermainebene

2. Spessart-Odenwald

2.1. Grundgebirgsspessart

2.2. Buntsandsteinspessart

2.2.1. Hochspessart

2.2.2. Nordspessart

2.2.3. Mainspessart

2.3. Buntsandsteinodenwald

2.3.1. wärmer

2.3.2. kühler

3. Rhön

3.1. Vorrhön

3.1.1. Südrhön

3.1.2. Östliche Vorrhön

3.1.3. Nördliche Vorrhön

3.2. Hohe Rhön

4. Fränkische Platten

4.1. Nördliche Fränkische Platten u. Grabfeld

4.1.1. Nördl. Fränkische Platten u. Grabfeld

4.1.2. Nördliche Gipskeuperplatte

4.2. Südliche Fränkische Platten

4.2.1. löblehmreich

4.2.2. Lößgebiete

4.2.3. Steigerwaldvorland-Kitzinger Sandgebiet

4.2.4. Steigerwaldvorland-Gerolzhofener Platte

4.2.5. Tauber-Gäuplatten

4.2.6. Südl. Gipskeuperplatte

1. wärmer

2. kühler

5. Fränkisches und Schwäbisches Keuper-Lias-Land

5.1. Haßberge

5.2. Steigerwald

5.2.1. Nördl. und Mittlerer Steigerwald

5.2.2. Südlicher Steigerwald

5.3. Frankenhöhe

5.4. Itz-Baunach-Hügelland

5.5.–5.6. Mittelfränkisches Keuperbecken

5.5.1. Nördliche und Östliche Keuperabdachung, tongründig

5.5.2. Keuperbecken, sandig:

1. Regnitz-Senke

2. Rezat-Rednitz-Senke

5.6. Südwestl. Keuperabdachung

5.6.1. tongründig

5.6.2. sandig

5.7. Nördl. Albvorland

5.8. Mittleres und Südl. Albvorland, Albtrauf

5.9. Ries

5.9.1. Westries, Gäugebiet

5.9.2. Ostries, Sandgebiet

6. Fränkische und Schwäbische Alb

6.1. Nördliche Frankenalb

6.1.1. löblehmarm

6.1.2. löblehmbeeinflußt

6.1.3. mit ± Kreideüberdeckung

6.2. Mittlere und Südliche Frankenalb

6.2.1. löblehmarm

6.2.2. löblehmbeeinflußt

6.2.3. Mittl. Frankenalb mit Kreideüberdeckung

6.2.4. Ingolstädter Donaualb, Lößgebiet

6.3. Schwäbische Alb

6.3.1. Riesalb

6.3.2. Egaualb, Lößgebiet

6.3.3. Monheimer Höhensand

6.4. Oberfränkisches Braun- u. Schwarzjuragebiet

7. Obermain-Schollenland

7.1. Nordöstl. Obermain-Schollenland

7.2. Südl. Obermain-Schollenland

8. Frankenwald, Fichtelgebirge u. Vogtland

8.1. Frankenwald

8.2. Münchberger Hochfläche

8.3. Hohes Fichtelgebirge

8.4. Brand-Neusorger Becken

8.5. Steinwald

8.6. Bayer. Vogtland

8.7. Selb-Wunsiedler Bucht

9. Oberpfälzer Becken- und Hügelland

9.1.1. wärmer

9.1.2. kühler

10. Oberpfälzer Wald

10.1. Mitterteicher Basaltgebiet

10.2. Naab-Wondrebsenke

10.2.1. Waldsassener Schiefergebirge

10.2.2. Naab-Wondrebsenke

10.3. Vorderer Oberpfälzer Wald

10.3.1. Vorderer Oberpfälzer Wald

10.3.2. Naab-Hügelland

10.4. Innerer Oberpfälzer Wald

10.5. Cham-Further Senke

11. Bayerischer Wald

11.1.–11.2. Vorderer Bayerischer Wald

11.1.1. Westlicher Vorwaldrand

11.1.2. Falkensteiner Vorwald

11.2.1. Lallinger Winkel u. Südl. Vorwaldrand

11.2.2. Ilzland

11.2.3. Vorderer Bayerischer Wald mit Regensenke

11.3. Innerer Bayerischer Wald

12. Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal

12.1. Donauried und Unteres Illertal

12.2. Ingolstädter Donauniederung

12.2.1. Ingolstädter Donauau

12.2.2. Donaumoos

12.3. Ostbayerische Donauniederung

12.3.1. Regensburg-Straubinger Donauau

12.3.2. Dungau:

1. mäßig trocken

2. mäßig trocken bis mäßig feucht

3. mäßig feucht

12.4. Unteres Lechtal

12.5. Isartal

12.6. Unteres Innatal

12.7. Nördliche Iller-Lech-Platte

12.7.1. Aindlinger Terrassentreppe

12.7.2. Schwäb. Donauhügelland

12.7.3. Biburger Hügelland

12.7.4. Nördl. Schotterriedel- und Hügelland

12.8. Oberbayerisches Tertiärhügelland

12.8.1. sandig

12.8.2. löblehmbeeinflußt

12.8.3. löblehmreich

12.9. Niederbayerisches Tertiärhügelland

12.9.1. wärmer, löblehmbeeinflußt

12.9.2. wärmer, löblehmreich

12.9.3. kühler

12.9.4. Neuburger Wald

12.9.5. Unteres Rottal

13. Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten- u. Altmoränenlandschaft

13.1. Lechfeld

13.2. Münchener Schotterebene

13.2.1. südlich

13.2.2. nördlich, einschl. randl. Schotterfelder

13.2.3. Dachauer- und Erdinger Moos einschl. Isarauen zwischen München und Freising

13.3. Mühldorfer und Öttinger Schotterfelder

13.4. Südliche Iller-Lech-Platte

13.4.1. Mittl. Schotterriedel- u. Hügelland

13.4.2. Südl. Schotterriedel- und Altmoränenlandschaft

13.5.–13.7. Altmoränenlandschaften

13.5.1. Altmoräne des Loisach-Ammer-Gletschers

13.5.2. Altmoräne des Isargletschers

13.6.1. Erdinger Altmoräne

13.6.2. Isener Altmoräne

13.7. Alzplatte

14. Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne u. Molassevorberge

14.1. Bodensee-Becken

14.2. Westallgäuer Hügelland

14.3. Allg. Jungmoräne u. Molassevorberge

14.4. Oberbayer. Jungmoräne u. Molassevorberge

14.4.1. Jungmoräne des Isar-Loisach-Ammergletschers, nördl. Teil

14.4.2. südl. Teil mit Molassevorbergen

14.4.3. Jungmoräne des Inn-Chiemsee-Salzachgletschers nördl. Teil

14.4.4. südl. Teil m. Molassevorbergen

15. Bayerische Alpen

15.1. Kürnacher Molassebergland u. Adelegg

15.2. Allgäuer Molassevorbergen

15.3. Allgäuer Flysch- u. Helvetikumvorbergen

15.4. Oberbayerische Flyschvorbergen

15.4.1. Ammergauer Flyschberge

15.4.2. Tegernseer Flyschberge

15.4.3. Teisendorfer Flyschberge

15.5. Mittlere Bayerische Kalkalpen (Ammergebirge, Kocheler Berge, Mangfallgebirge)

15.6. Chiemgauer Alpen

15.7. Allgäuer Hochalpen

15.8. Karwendel und Wetterstein

15.9. Berchtesgadener Alpen

Verzeichnis der auf den Karten verwendeten Abkürzungen:

A	Bodenabtrag in t/ha·a
a	Jahr
AF	Anteil der Ackerfläche an der LN
C	Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor
ha	Hektar
K	Bodenerodierbarkeitsfaktor
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
L	Hanglängenfaktor
LN	Anteil der landwirtschaftlichen Nutzfläche
m	Meter
mm	Millimeter
R	Regenerositätsfaktor
S	Hangneigungsfaktor
T	Tolerierbarer Bodenabtrag in t/ha·a
t	Tonne
\bar{x}	Arithmetisches Mittel
\bar{x}_g	Geometrisches Mittel (Mittel der Logarithmen)
\bar{x}_w	Mittel der Quadratwurzeln
ZR	Bodenverluste durch Schmutzanhang an den Zuckerrüben in t/ha·a
%	Prozent

