

## Master Thesis

im Rahmen des  
Universitätslehrganges „Geographical Information Science & Systems“  
(UNIGIS MSc) am Zentrum für GeoInformatik (Z\_GIS)  
der Paris Lodron-Universität Salzburg

zum Thema

# „GIS-basierte Bodenabtrags- modellierung für Bayern“

## Digitale Fortschreibung des Atlas der Erosions- gefährdung in Bayern

vorgelegt von

**Dipl.Ing.agr. Frank Stumpf**  
u1022, UNIGIS MSc Jahrgang 2003

Zur Erlangung des Grades  
„Master of Science (Geographical Information Science & Systems) – MSc(GIS)“

Gutachter:  
Ao. Univ. Prof. Josef Strobl

Regensburg, 18. Mai 2005

Erklärung der eigenständigen Abfassung der Arbeit:

Ich versichere, diese Master Thesis ohne fremde Hilfe und ohne Verwendung anderer als der angeführten Quellen angefertigt zu haben und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind entsprechend gekennzeichnet.

Regensburg, 18. Mai 2005

Frank Stumpf

## **Zusammenfassung:**

Der Bodenabtrag durch Wasser ist mit die größte Bödengefährdung. Aufgrund ihrer hohen zeitlichen und räumlichen Variabilität benötigt eine nachhaltige Landnutzungsplanung eine genaue Vorhersage des Erosionsausmaßes in einer großen Auflösung.

In Teil I) wurde der „Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern/ Erosionsatlas“ (GLA-Fachberichte 1, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1986) auf Basis der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG), immer noch eine der besten landesweiten Zusammenstellungen von Erosionsvorhersagekarten, erheblich präzisiert und aufgewertet. Die Optimierungen erfolgten durch Ersatz bisher geschätzter Anteile von Flächennutzungen in Rasterzellen durch berechnete Werte anhand digitalen Datenmaterials, so dass eine stark verbesserte Zuordnung der Nutzungsanteile an die Rasterzellen erreicht wurde. Für jede der mehr als 13.000 Rasterzellen des Erosionsatlas wurde der Anteil der Flächennutzungen Acker, Grünland, Wald, Hopfen und Wein anhand der Datenbasis DLM25 aus ATKIS mittels GIS-Software berechnet. Der Vergleich des Anteils der Flächennutzungen, wie sie bisher im Erosionsatlas zu finden waren, mit den neu errechneten Werten führte zu folgenden Feststellungen:

1. Im Vergleich mit den Neuberechnungen überschätzte der Erosionsatlas die Anteile der Acker- und Grünlandflächen und unterschätzte als Ausgleich die Anteile von Wald, dadurch überschätzte der Erosionsatlas auch die mittleren Bodenabträge der Gesamtfläche.
2. Im Gesamtbild waren die Differenzen in den Anteilen der Flächennutzungen gering, so dass mit durchschnittlich 0,15 t/ha/a keine besonders hohen Auswirkungen auf den Vergleich der mittleren Abträge der gesamten Fläche für Bayern festzustellen waren.
3. Für einzelne Zellen ließen sich sehr hohe Abweichungen im Vergleich der Flächennutzungsanteile ermitteln, die zu extremen Änderungen in der Vorhersage des Bodenabtrags führen können.
4. Die digitale Datengrundlage zur Flächennutzung, das DLM25 aus ATKIS, hat gravierende Mängel, so dass die Übernahme der Nutzungsanteile aus dem DLM25 für die Ermittlung des Gesamtabtrags im Erosionsatlas nicht besonders lohnend war.

In Teil II) konnte der bisherige Erosionsatlas mit einer GIS-basierten Bodenabtragsmodellierung fortgeschrieben werden, der eine deutlich höhere Präzision und Auflösung zu eigen ist. Die höhere Genauigkeit wurde erzielt (1) durch Aufnahme neuer Datengrundlagen für die Parameter Regenerosivität, Bodenerodibilität, Hangneigung, Fruchtfolgeeinfluß und Landnutzung, (2) durch Ersatz einer eingeschränkt anwendbaren älteren Gleichung zur Bestimmung des Hangneigungseinflusses durch eine neue, (3) durch Berücksichtigung des Effektes der Querbearbeitung von Hängen auf die Erosion und (4) durch exakte Zuweisung von nur einer Form der Landnutzung zu einer Rasterzelle. Die Auflösung konnte um einen Faktor von ca. 2000 von ca. 5 km<sup>2</sup> zu 0,0025 km<sup>2</sup> erhöht werden. Aufgrund der kleinräumlichen Variationsmöglichkeiten der Landnutzung und der Topologie, die die bestimmenden Parameter für das Ausmaß des Bodenabtrags darstellen, verbesserte die höhere Auflösung dieser Parameter die Präzision der gesamten Vorhersage nochmals erheblich. Im Gegensatz zum Erosionsatlas fand ein Modellwechsel statt, da die ABAG auf die tatsächlich vorhandene reale Fläche angewendet wurde, während der Erosionsatlas die ABAG nur auf eine im Raster typische Fläche bezog. Dies verhinderte einen direkten Vergleich der Ergebnisse.

Als besonderes Ergebnis zeigte sich in der Modellierung im Mittel im Vergleich zum Erosionsatlas ein geringeres Ausmaß an Erosion (Mittelwerte von 1,6 in der Modellierung und 2,2 im Erosionsatlas), wobei beachtet werden muß, daß sich die Bezugsfläche geändert hat. Die mittleren Abträge bei Ackerflächen stellten sich nun mit 3,28 t/ha/a deutlich geringer dar als im Erosionsatlas, wo noch mindestens doppelt so hohe Werte aufgeführt waren. Die Ursache für diesen erstaunlichen Unterschied lag im wesentlichen in den in der Modellierung deutlich geringeren S-Faktoren der Ackerflächen.

Damit wurde eine neue, in Präzision und Auflösung kaum vergleichbare Grundlagenkarte für die Erosionsvorhersage in Bayern erarbeitet. Der Schätzung des mittleren Bodenabtrags in der Modellierung lagen gutes Datenmaterial im Bereich der Faktoren R, S und teilweise im Bereich des Faktors K zugrunde, während hingegen für die Faktoren L und P stark vereinfachende Annahmen getroffen werden mußten und die Datengrundlage für den Faktor C nicht zufriedenstellend war. Die Vereinfachungen führten dazu, dass ein Übertrag der Ergebnisse auf den individuellen Einzelschlag und dessen Beurteilung nicht möglich war. Jedoch erbrachte die Modellierung eine vereinfachte, aber nicht verfälschte Darstellung und Abschätzung des Bodenabtragsrisikos eines Gebietes, die sich durch Aufnahme von Datenmaterial der Landwirtschaftsverwaltung („Digitale Feldstückskarte“) noch weiter verbessern lassen könnte, so dass sogar ein Übertrag auf den Einzelschlag möglich erscheint.

## Summary:

Erosion by water is one of the largest hazards to soils. Due to its high temporal and spatial variability landuse planning for a sustainable soil use depends on a proper prediction of the extent of erosion with high resolution.

In part I) the existing „Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern (Atlas of Erosion in Bavaria)“ (GLA-Fachberichte 1, Bayerisches Geologisches Landesamt, München 1986), based on the Universal Soil Loss Equation, although still among the best existing country-wide erosion prediction maps, was greatly improved by improving precision. Higher precision was obtained by replacing average values of landuse in grid cells with localized values, derived from digital datasets, which greatly improved matching of landuse.

In every of the more than 13.000 grid cells the shares of the landuses arable land, grass land, forest, hops and viticulture were calculated based on the „Digitales Landschaftsmodell DLM25 (ATKIS)“ with sophisticated GIS-software. Comparing the landuse as considered in the old Atlas of Erosion with the new estimates yielded the following conclusions:

1. Regarding the whole country, the old Atlas of Erosion had overestimated the shares of arable and grass land and underestimated the shares of forest. This also caused, that the Atlas of Erosion overrated the average soil loss from whole land.
2. In total the differences in the shares of different landuse were small, hence the effects on the average annual soil loss in Bavaria were small either (0,15 t/ha/a).
3. Regarding the individual grid cells, large differences in landuse could be discovered, which in certain cases may cause a deviation in erosion prediction by an order of magnitude.
4. However, there is a serious deficiency in the digital dataset „DLM25 (ATKIS)“, so the gain of the substitution of the estimated shares to the calculated is small.

In part II) the old Atlas of Erosion could be updated with a GIS-based soil loss model for Bavaria, containing a much greater precision and resolution. Higher precision was obtained (1) by updating the database to estimate rainfall erosivity, soil erodibility, slope effect, cropping systems and landuse, (2) by replacing an old prediction equation for the slope effect with limited applicability by a new one, (3) by accounting for the effect of contour tillage on soil erosion and (4) by assigning one exact kind of landuse to each grid cell. Resolution was improved by a factor of approximately 2000 by replacing the former grid cells of approximately 5 km<sup>2</sup> in size by grid cells 0,0025 km<sup>2</sup> in size. This improved prediction precision further to a large extent because of the short-range changes in landuse and topography, which are the main factors determining the extent of erosion.

The GIS-based soil loss model has a different reference base than the Atlas of Erosion, because the Atlas of Erosion referenced to a typical area in a grid cell and the GIS-based soil loss model referenced to the individual, real area. Due to this fact, the results of the two different methods of predicting average soil loss cannot be directly compared.

As the outstanding result the GIS-based soil loss model showed a lower average soil loss (1,61 t/ha/a) than the Atlas of Erosion (2,2 t/ha/a). It must be kept in mind, that the referenced area had changed. The average soil loss on arable land was in the GIS-based soil loss model computed nearly half (3,28 t/ha/a) than in the Atlas of Erosion (about 7 t/ha/a). The reason for this striking change could be found in much lower S-factors for arable land in the GIS-based soil loss model.

Thus there was presented a country-wide erosion prediction in an outstanding precision and resolution. The basic data elements for the factors R, S and with restrictions for the factor K could be contributed to the GIS-based soil loss model in a high precision and resolution. More or less big simplifications have been necessary for the factors L, C and P. The consequence was, that the results of the GIS-based soil loss model could not be transformed to a judgement of the individual real area. The GIS-based soil loss model brought a simplified, but not falsified report for the danger of soil loss for a certain region, which could easily be improved with new digital datasets from the Bavarian Ministry of Agriculture, so finally a prediction of the danger for soil loss for a individual area with a good performance could be made.

### Danksagung

Einige Teile der Arbeit konnten innerhalb des ILUP-Teilprojektes „GIS-basierte Bodenabtrags- und Stoffaustragsmodellierung für Bayern“ entwickelt werden (Abschluß des Teil-Projektes im November 2004), wofür ich insbesondere Fr. Auth vom Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft zu danken habe. Ihre kritische Begleitung, zusammen mit ihren Kollegen Hr. Forstner und Hr. Schmidt, hat zum Erfolg dieser Arbeit entscheidend beigetragen.

Der Verfasser und dessen Leistungen in dieser Arbeit wurden weiterhin wissenschaftlich begleitet und unermüdlich unterstützt von Prof. K. Auerswald, Lehrstuhl für Grünlandlehre, TUM Weihenstephan, wozu ich ihm zu besonderem Dank verpflichtet bin.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Teil I ) Ergänzung des Erosionsatlas mit aktuellen Landnutzungsdaten</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Datenmaterial und Methodik</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Die Datengrundlage des Erosionsatlas.....	4
2.1.2 Neubestimmung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen des Erosionsatlas .....	8
<b>2.2 Diskussion der Ergebnisse</b> .....	<b>12</b>
2.2.1 Vergleich der Nutzungsanteile .....	12
2.2.1 Vergleich der Neuberechnung der Bodenabträge .....	16
<b>2.3 Schlußfolgerungen</b> .....	<b>17</b>
<b>3. Teil II) Bodenabtragsmodellierung</b> .....	<b>21</b>
<b>3.1 Material und Methoden</b> .....	<b>21</b>
<b>3.2 Aufnahme und Diskussion der Grundlegendaten - Einzelfaktoren der ABAG</b> .....	<b>23</b>
3.2.1 R-Faktor (Regenerosivität).....	24
3.2.2 K-Faktor (Bodenerodierbarkeit).....	24
3.2.3 S-Faktor (Hangneigungsfaktor) .....	29
3.2.4 L-Faktor (Hanglängenfaktor) .....	32
3.2.5 C-Faktor (Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor) .....	33
3.2.6 P-Faktor (Erosionsschutzmaßnahmen).....	38
<b>3.3 Bestimmung der natürlichen Erosionsdisposition und des geschätzten, mittleren langjährigen Bodenabtrags</b> .....	<b>38</b>
3.3.1 Natürliche Erosionsdisposition ( $R \cdot K \cdot S$ ) .....	39
3.3.2 Mittlerer langjähriger Bodenabtrag ( $R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$ ) .....	39
<b>3.4 Fehlerabschätzung in der Erosionsmodellierung</b> .....	<b>41</b>
<b>3.5 Schlußfolgerungen und weitere Anwendungsmöglichkeiten der Modellierung</b> .....	<b>43</b>

<b>4.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>Verzeichnis der digitalen Daten .....</b>	<b>49</b>
<b>6.</b>	<b>Kartenverzeichnis .....</b>	<b>50</b>
<b>7.</b>	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>51</b>
<b>8.</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>52</b>
<b>9.</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>53</b>

## 1. Einleitung

Die Abschätzung der mittleren jährlichen Bodenabträge eines Standorts ist in Bayern für die Landwirtschaft als auch für die Wasserwirtschaft von besonderer Bedeutung. Die Landwirte wollen nicht nur die Bodenfruchtbarkeit erhalten [1], sondern sind auch gesetzlich verpflichtet, Abträge auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu minimieren. Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) fordert als zukünftigen Standard des europäischen Gewässerschutzes einen „guten Zustand“ aller Wasserkörper, so müssen schon in der Bestandsaufnahme zur WRRL Belastungen mit ihren Auswirkungen analysiert werden [6] [7]. Für viele Fließgewässer Bayern stellen diffuse Einträge von Fest- und Nährstoffen aus Bodenabträgen eine deutlich Beeinträchtigung ihrer Qualität und damit eine Belastung dar [5].

Die zu erwartenden Bodenabträge können kleinräumlich in aufwendigen Verfahren vor Ort sehr genau ermittelt werden, jedoch ist auf diesem Weg die Berechnung der Abträge größerer (Einzugs-)Gebiete kaum möglich. Deshalb ist ein Überblick zu den mittleren, langjährigen Bodenabträge für ganz Bayern anhand von Schätzungen enorm wichtig, da nicht alle Gebiete genau vor Ort untersucht werden können. Im **Erosionsatlas** 1986 [2], verbessert 2002 [3], findet sich eine Abschätzung anhand der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) der mittleren Abträge eines typischen Schlages in einer Rastergröße von ca. 5 km<sup>2</sup>, wobei nur die durch Niederschlag ausgelösten Ereignisse berücksichtigt wurden. Mittlerweile liegen umfangreiche, erosionsbestimmende Daten in digitaler Form und in wesentlich höherer Rasterauflösung für einige Parameter der ABAG vor (Datenmaterial des BAYERISCHEN LANDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT). Anhand der besseren Datengrundlage zur tatsächlichen Flächennutzung konnte der Erosionsatlas in Teil I) dieser Arbeit ganz entscheidend präzisiert werden, indem die geschätzten Anteile der Flächennutzungen in einer Rasterzelle durch berechnete Werte anhand digitalen Datenmaterials ersetzt wurden.

Mit Hilfe der in Teil II) dieser Arbeit zu entwickelnden GIS-basierten Bodenabtragsmodellierung ist es nun möglich, die durch Niederschlag ausgelösten Bodenabträge flächendeckend in Bayern mit einer wesentlich größeren Genauigkeit abzuschätzen und auch besonders erosionsanfällige Gebiete zu identifizieren. Die Auflösung konnte um einen Faktor von ca. 2000 von ca. 5 km<sup>2</sup> zu 0,0025 km<sup>2</sup> erhöht werden. Über Modellstudien können sogar Maßnahmen zum Erosionsschutz überprüft und regionalisierte Stoffaustragsbilanzen erstellt werden. GIS stellt ein mächtiges Werkzeug zur Integrie-

rung der aktuellen Daten in die ABAG und zur Analyse dar und kann somit dem Erosionsatlas zu detaillierteren Auskünften verhelfen oder als dessen Fortschreibung angesehen werden. Grundlage für die Modellierung war teils der Übertrag von ABAG-Faktoren aus dem Erosionsatlas und teils die Neuberechnung von Faktoren der ABAG in GIS mit einer Rasterauflösung von 50 x 50 m. Mit diesen Einzelfaktoren, die verschiedenen Aspekte der Bodenerosion beschreiben, konnten nun weiterführende Berechnungen, wie z.B. die Bestimmung des Produktes der ABAG, angestellt und anschließend auch Stoffausträge in Gewässer errechnet werden (z.B. Phosphat).

Damit wurde eine neue, in Präzision und Auflösung kaum vergleichbare Grundlagenkarte für die Erosionsvorhersage in Bayern erarbeitet. Dies ist einzigartig, da in anderen veröffentlichten GIS-gestützten Erosionsmodellierungen (die zu deutlich überwiegender Anzahl auf Basis der ABAG entwickelt wurden) entweder in einem wesentlich begrenzteren Gebiet (meist im Einzugsgebiet eines Oberflächengewässers) oder in erheblich kleineren Maßstäben gearbeitet wurde. Sind vergleichbare Maßstäbe angewendet worden, so bezieht sich das Ziel der Vorhersage des mittleren Bodenabtrages meist auf einen singulären Schlag und nicht auf das Gebiet einer politischen Region (z.B. EMIL in Nordrhein-Westfalen [15]).

Die GIS-basierte Erosionsmodellierung für Bayern kann in Grundlagenkarten besonders erosionsgefährdete Gebiete identifizieren, in denen sich die Umsetzung von vor Ort entwickelten Einzelmaßnahmen zum Erosionsschutz in einer deutlichen Minderung der Stoffabträge lohnen sollte. Im Mittelpunkt der Untersuchung stand in dieser Arbeit die Entwicklung der Modellierung mit Diskussion ihrer Gültigkeitsgrenzen und Fehlermöglichkeiten und nicht die Interpretation der Ergebnisse der Modellierung hinsichtlich ihrer regionalen Unterschiede.

Einige Teile dieser Arbeit wurden innerhalb des ILUP-Teilprojektes „GIS-basierte Bodenabtrags- und Stoffaustragsmodellierung für Bayern“ entwickelt (Abschluß des Teilprojektes im November 2004).

## 2. Teil I) Ergänzung des Erosionsatlas mit aktuellen Landnutzungsdaten

Für die Bestimmung eines mittleren jährlichen Bodenabtrags in einer Rasterzelle haben die Anteile der unterschiedlichen Nutzungskategorien eine entscheidende Bedeutung. Die C-Faktoren für Ackerflächen liegen im Mittel bei 0,14, die für Wald oder Grünlandflächen bei 0,004, sie unterscheiden sich also um den Faktor 35. Das bedeutet, wenn der Anteil der Ackerfläche eines Rasters schlecht geschätzt wurde, ist mit einem erheblichen Fehler in der Bestimmung des Gesamtabtrags der Rasterfläche zu rechnen. Die Festlegung der Anteile von landwirtschaftlichen Nutzflächen und nicht-landwirtschaftlichen Flächen (im wesentlichen Wald und Siedlung) ist im Erosionsatlas 1986 per Hand anhand der Inaugenscheinnahme der Topographische Karte im Maßstab 1 : 25.000 (TK25) erfolgt. Dies Vorgehen konnte nun ersetzt werden durch kartierte, digitale Nutzungsdaten. Anschließend konnten, wie in Abb. 2.a verdeutlicht, die Bodenabträge neu berechnet und die unterschiedlichen Ergebnissen verglichen werden. Es war anzunehmen, dass die Berechnungen zu den mittleren Bodenabträgen deutlich präzisiert werden können, wenn aktuelle digitale Nutzungsdaten ausgewertet und in die Berechnungen des Erosionsatlas 2001 übertragen werden können.

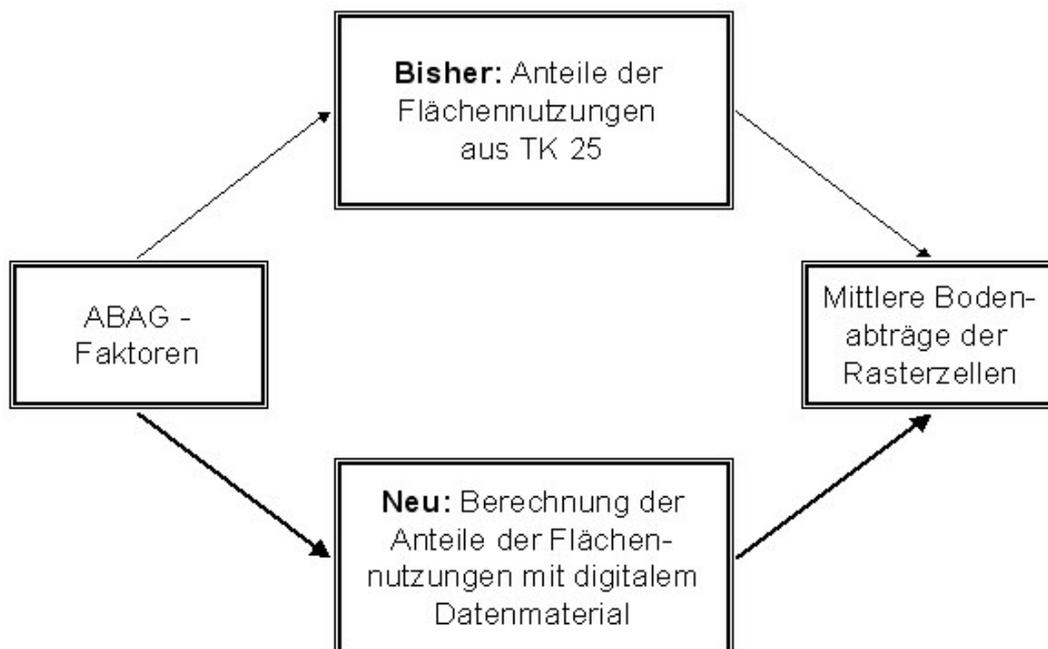


Abbildung 2.a : Schema zur Präzisierung des Erosionsatlas 1986/2001

## 2.1 Datenmaterial und Methodik

Die Grundlage für die Präzisierung der Anteile der jeweiligen Nutzung an den Rasterzellen des Erosionsatlas bildete das „Basis Digitale Landschaftsmodell“ im Maßstab 1 : 25.000 (DLM25) aus dem „Amtlichen Topographisch-Kartographisches Informationssystem“ (ATKIS) [108]. Für diese Arbeit lagen aufbereitete ATKIS-Daten für Bayern vor, die als sogenannte GRID-Vorstufe im Vektorformat aus dem Digitalen Landschaftsmodell entstanden sind und die die beste Landnutzungsdifferenzierung für digitale Daten bieten [5]. Zusätzlich wurden Informationen zum Hopfenanbau aus den Topographischen Karten im Maßstab 1 : 25.000 (TK25) und Informationen zum Weinanbau von der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR WEINBAU VEITSHÖCHHEIM (LFL VEITSHÖCHHEIM) verwendet.

### 2.1.1 Die Datengrundlage des Erosionsatlas

Der Erosionsatlas zeigte als Ergebnis das zu erwartende, mittlere jährliche Ausmaß des durch Regen ausgelösten Bodenabtrags auf einen für das Bezugssystem typischen Standort im bayernweiten Überblick. Andere Erosionsprozesse sind nicht berücksichtigt worden. Die Abschätzung des Bodenabtrags basierte auf der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG), die in einem Rasternetz von ca. 13.000 Rasterzellen mit einer Größe von ca. 5 km<sup>2</sup> (Zerlegung der TK25 in 25 gleich große Rechtecke) für einen dort typischen Acker-, Grünland- oder Waldstandort berechnet worden ist. Es ist also nicht der mittlere Abtrag von 5 km<sup>2</sup> berechnet worden, sondern die Bodenumlagerung auf einem typischen oder häufigsten Schlag einer Nutzungsart innerhalb dieses Untersuchungsgebietes. Für jede Rasterfläche sind die einzelnen Faktoren der ABAG als Mittelwert (R-, K-, C-, und P-Faktor) oder als typischer Wert (S- und L-Faktor) bestimmt worden, diese Faktoren sind in Karten dargestellt und ein Überblick über das zu erwartende Ausmaß des Bodenabtrags gegeben worden.

Im Jahr 2002 ist der Erosionsatlas in eine Tabellenkalkulation konvertiert und damit digitalisiert worden [3]. Außerdem sind einige Ergänzungen und Verbesserungen zur Neubewertung und Neuberechnung von Einzelfaktoren im Erosionsatlas durchgeführt worden, so dass auch die Ergebnisse gegenüber 1986 modifiziert sind [5]. In der weiteren Untersuchung wurde die letzte Version des Datenmaterials von 2001 zum Erosionsatlas verwendet, was im folgenden als Erosionsatlas 2001 bezeichnet wird [101].

Im Erosionsatlas 1986/2001 ist der Ansatz der Allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) verfolgt worden. Der langjährige, mittlere zu erwartende Bodenabtrag ist in Abhängigkeit von den natürlichen Standortbedingungen (Niederschlag, Bodenart, Morphologie) und veränderbaren Nutzungsbedingungen (Nutzungsart, Fruchtfolge, Erosionsschutzmaßnahmen, Feldzuschnitt) abgebildet worden [17]. Die ABAG lautet:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

wobei:

A = langjährig zu erwartender mittlerer Bodenabtrag in t / (ha \* a)

R = Regenerositätsfaktor in N / (h \* a)

K = Bodenerodierbarkeitsfaktor in (t \* h) / (ha \* N)

L = Faktor zur Berücksichtigung der erosionswirksamen Hanglänge (dimensionslos)

S = Hangneigungsfaktor (dimensionslos)

C = Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor (dimensionslos)

P = Faktor zur Berücksichtigung von Erosionsschutzmaßnahmen (dimensionslos)

Der Erosionsatlas 1986/2001 unterschied nach Wald-, Acker- und Grünlandflächen. Zuvorderst ist augenscheinlich der Anteil von nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen einschließlich Wald anhand von Topographischen Karten (TK25) für jede Rasterzelle bestimmt worden. Die Restflächen waren Acker und Grünland, also landwirtschaftliche Nutzfläche. Innerhalb der landwirtschaftlichen Nutzflächen ist entsprechend der Gemeindestatistik prozentual zwischen Acker und Grünland unterschieden worden, wobei nicht geprüft werden konnte, ob das Gemeindemittel auch in der speziellen Rasterzelle zutraf. In die Aktualisierung 2001 sind die Anteile der Dauerkulturen Hopfen und Wein neu aufgenommen worden und galten als besondere Ackerflächen. Für die Einzelfaktoren der ABAG läßt sich folgendes zusammenfassen [1] [2] [3] [17]:

R-Faktor (Regenerosität): Für die Bestimmung des R-Faktors einer Rasterzelle ist die räumliche Verteilung der Sommerniederschläge (dargestellt in Isoerodenten) verwendet und mit der Regression  $R = -1,48 + 0,141 * N_s$  die R-Faktoren berechnet worden. Es ist ein Mittelwert für jede Rasterzelle gebildet worden.

K-Faktor (Bodenerodierbarkeit): Die Bodenerodierbarkeit ist mit einer Zuordnung zu den Einheiten des Klassenbeschreibs der Bodenschätzung ermittelt worden, wobei in der Regel nur die Beschriebe der Ackerflächen einbezogen worden sind. Für reine Grünlandraster sind K-Faktoren von 0,30 bis 0,35 eruiert worden, wobei diese Zuordnung als unsicher gilt. Die K-Faktoren für Waldflächen sind von den Beschrieben der Ackerflächen übertragen worden. Für jede Rasterzelle ist ein mittlerer Wert für den K-Faktor festgelegt worden.

S-Faktor (Hangneigungsfaktor): Anhand der Isohypsendichte der TK25 ist jeweils eine typische Hangneigung von landwirtschaftlich genutzten Flächen und außerlandwirtschaftlichen Flächen bestimmt worden. Die S-Faktoren sind 2002 mit Hilfe einer unlängst entwickelten Gleichung [16] neu berechnet worden. Beim ermittelten S-Faktor handelte es sich nicht um einen Mittelwert für die Rasterzellen, sondern um jeweils einen typischen Wert für eine landwirtschaftliche und eine außerlandwirtschaftliche Fläche.

L-Faktor (Hanglängenfaktor): Für jede Rasterzelle ist eine typische Hanglänge (erosionswirksame Länge einer Nutzungseinheit) bestimmt worden, obwohl dieser Parameter mit einer hohen räumlichen Variabilität behaftet ist. Bei Waldflächen ist grundsätzlich ein L-Faktor von 2 angenommen worden.

C-Faktor (Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor) : Der C-Faktor für die Ackerflächen ist aus der Fruchtartenverteilung der Gemeindestatistik bestimmt worden, indem ein mittlerer C-Faktor aus den C-Faktoren der Einzelfrüchte errechnet worden ist. Für die Dauerkultur Hopfen ist ein C-Faktor von 0,67, für Grünland ein C-Faktor von 0,004 und für Wald (zu dem auch alle anderen nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen zählen) ein C-Faktor von 0,004 verwendet worden. Die C-Faktoren der Ackerflächen konnten 2002 anhand eines verbesserten Verfahren und der Datenerhebung aus den InVeKoS-Daten des Jahres 2001, auch unter Berücksichtigung der Dauerkultur Spargel und der Anteile des Mulchsaatverfahrens bei Hackfrüchten, neu berechnet werden. Dadurch hat sich ein mittlerer und kein typischer Wert für den C-Faktor je Rasterzelle ergeben. Der C-Faktor für Hopfen ist im Erosionsatlas 2001 den neuen Gegebenheiten auf 0,49 angepaßt worden.

P-Faktor (Erosionsschutzmaßnahmenfaktor) : Dieser Faktor, der nur bei Ackerflächen ungleich 1 ist, ist räumlich sehr variabel und seine Berechnung extrem aufwendig. Für den Erosionsatlas 1986 ist dieser Faktor deshalb gleich 1 gesetzt worden. In der Über-

arbeitung des Erosionsatlas 2001 ist ein P-Faktor von 0,85 für Ackerflächen verwendet worden, was einen Mittelwert aus den im kleinem Maßstab errechneten P-Faktoren für verschiedene Gebiete dargestellt hat.

Mit dem Vorliegen aller Einzelfaktoren konnten auch weitere Berechnungen zur Bestimmung der natürlichen Erosionsdisposition und zur Bestimmung des langjährigen, mittleren Bodenabtrags erfolgen, die sich aber jeweils auf standardisierte, typische Schläge in den Rasterzellen bezogen und nicht unmittelbar die Rasterzellen in ihrer Gesamtheit abgebildet haben.

Natürliche Erosionsdisposition : Das Produkt der vom Menschen kaum beeinflussbaren Einzelfaktoren R, K und S hat die natürliche Erosionsdisposition in t/ha/a ergeben, also die Abhängigkeit des Ausmaß des Bodenabtrags von den Standortfaktoren. Da die drei übrigen Faktoren den Wert 1 annehmen mußten, galt für das Ausmaß der natürlichen Erosionsdisposition die Bedingung der Schwarzbrache ( $C = 1$ ) bei einer Hanglänge von 22 m ( $L = 1$ ) und den Verzicht auf Erosionsschutzmaßnahmen ( $P = 1$ ).

Langjährige, mittlere Bodenabträge : Das Produkt der 6 Einzelfaktoren R, K, S, L, C und P hat den langjährigen, mittleren Bodenabtrag unter Berücksichtigung aller Einflußgrößen berechnet. Durch Aggregation haben sich der Bodenabtrag der typischen Ackerflächen (Acker, Wein und Hopfen), der Bodenabtrag der typischen landwirtschaftlichen Nutzflächen (Acker, Wein, Hopfen und Grünland) und der anhand der typischen Flächen geschätzte Bodenabtrag der Gesamtfläche (auch unter Berücksichtigung der sonstigen Flächen wie Wald, Siedlung, Verkehr etc.) ergeben. Die jeweiligen Nutzungsanteile haben auf einer augenscheinlichen Schätzung basiert. Der Mittelwert des Bodenabtrags der Gesamtflächen in Bayern hat im Erosionsatlas 1986 2,2 t/ha/a [2] und nach der Neuberechnung im Erosionsatlas 2001 2,7 t/ha/a [101] erreicht.

## 2.1.2 Neubestimmung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen des Erosionsatlas

Wie die Anteile der unterschiedlichen Nutzungen an den Rasterzellen des Erosionsatlas neu ermittelt wurden, verdeutlicht die Abbildung 2.1.2.a:

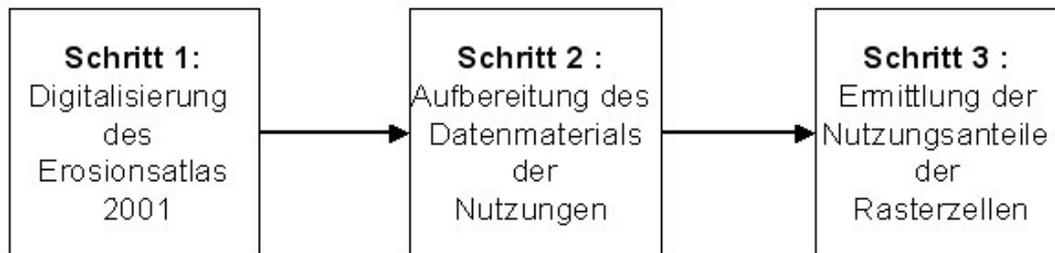


Abb. 2.1.2.a : Arbeitsschritte zur Neubestimmung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen des Erosionsatlas

### Schritt 1 : Digitalisierung des Erosionsatlas 2001

Da das Koordinatensystem des Erosionsatlas nicht rechtwinklig war, konnte kein Raster-Datensatz erstellt werden, es wurde vielmehr ein nur nahezu rechtwinkliger Vektor-Datensatz benötigt. Zu diesem Zweck wurde ein Point-Shapefile in ArcMap anhand der umgerechneten Gauss-Krüger Koordinaten erzeugt. Ausgehend von diesem Point-Shapefile wurden nun sog. Thiessen-Polygone gebildet und mit der Grenze von Bayern verschnitten. Thiessen-Polygone sind definiert als eine Punktmenge, die jeweils einen Punkt des Point-Shapefiles gemeinsam als nächsten Nachbarn haben, in diesem Fall in der Regel Vierecke, außer die bayerische Landesgrenze durchschneidet das Viereck. Damit existierte nun ein Polygon-Shapefile zu den Rasterflächen aus dem Erosionsatlas 1986/2001. 22 Rasterflächen, deren Nutzungsanteil von Wald immer größer 90 % war, existierten in der Vorlage [101] doppelt und mußten gelöscht werden (Datensatz mit Eintrag EMZ = 999 wird gelöscht). Die Daten aus dem Erosionsatlas 2001 konnten nun per „Join“ - Operation den jeweiligen Polygonen zugewiesen werden. Damit wurde der Erosionsatlas 2001 komplett als Vektor-Datensatz digitalisiert (13.103 Polygon-Daten) und in ArcMap bzw. mittels GIS-Software visualisierbar.

## Schritt 2 : Aufbereitung des Datenmaterials der Flächennutzungen

Grundlage für das Basis DLM25 war die Topographische Karte im Maßstab 1 : 25.000 und Digitale Orthophotos mit einer Genauigkeit von 3 bis 15 m [12]. Es handelte sich also um einen topographischen, nicht flurstücksscharfen Grunddatenbestand.

Der Erosionsatlas 2001 kannte 5 verschiedene Nutzungen: Acker, Hopfen, Wein, Grünland und Wald (= alle nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen). Dem aufbereiteten Vektor-Datensatz des DLM25 war eine andere Form der Nutzungseinteilung eigen, so dass dem Erosionsatlas entsprechend neu klassifiziert werden mußte. Ausgegeben wurden in der für diese Auswertung vorliegenden GRID-Vorstufe des DLM25 die in Tabelle 2.1.2.a dargestellten unterschiedliche Nutzungen mit ihren Teilnutzungen:

Nutzungsart	enthaltene Teilnutzungen
Wald	Wald, Forst, Gehölz
Siedlung	Ortslagen, baulich geprägte Flächen, Freizeitanlagen, Siedlungsfreiflächen, Bauwerke, baulich geprägte Flächen, Straßenverkehrsflächen, Flugverkehrsflächen, Gartenland
Grünland	Grünland, Heide, Moor, Moos, Gartenland
Ackerland	Ackerland
Sonderkulturen	Sonderkultur (auch Wein, Hopfen, Obst), Brachland, vegetationslose Flächen, unbestimmbare Flächen
Feuchtfläche	Nasser Boden, Sumpf, Ried, Moor, Moos
Gewässer	Wasserflächen, Einrichtungen und Bauwerke an Gewässern

Tabelle 2.1.2.a : ausgegebene Nutzungsarten im Basis-DLM25 aus ATKIS [10]

Entsprechend dem Erosionsatlas wurden Wald, Siedlung, ein Teil der Sonderkulturen, Feuchtflächen und Gewässer zu Wald bzw. zu nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen klassifiziert. Leider wurden bei den Sonderkulturen des DLM25 die Einzelnutzungen Hopfen und Wein nicht gesondert ausgewiesen. Für den Weinanbau konnte auf Daten [105] der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR WEINANBAU VEITSHÖCHHEIM zurückgegriffen werden, wo ein sehr guter, vor Ort überprüfter digitaler Datenbestand mit allen Rebflächen in Franken geführt wird. Andere Weinlagen wurden nicht berücksichtigt,

wegen ihrer sehr geringen Größe haben sie nur einen minimalen Einfluß, der in dieser kleinmaßstäblichen Betrachtung zu vernachlässigen war. Da die Rebflächen vor Ort überprüft wurden und ihre anzunehmende Genauigkeit damit über der DLM25-Grundlage aus ATKIS steht, wurden die Daten aus dem DLM25 mit den Daten der LFL VEITSHÖCHHEIM überschrieben. Also wurde überall, wo laut Datenbestand der LFL VEITSHÖCHHEIM eine Rebfläche sein sollte, Wein ausgewiesen, die jeweilige Nutzung im DLM25 wurde nicht weitergeführt.

Für die Hopfenflächen lag kein digitaler Datenbestand vor. Deswegen wurden alle Polygone aus dem DLM25 mit dem Attribut „Sonderkultur“ anhand der TK25 [107] überprüft, ob sie dem Hopfen zugeordnet werden konnten. Für Hopfen existierte eine eigene Signatur in der TK25. Das DLM25 ist allerdings mit einer besonderen Unschärfe versehen, denn die Polygone aus dem DLM25 sind „Multipart-polygone“, d.h. ein Datensatz besteht aus mehreren Einzelpolygonen. Somit konnte nur als Hopfen klassifiziert werden, wo auch die Hopfennutzung nach der TK25 überwog, also mehr Einzelpolygone über einer Hopfensignatur lagen als Einzelpolygone über einer anderen Signatur. Im Bereich der Hallertau war die Zuordnung oft einfach, gleichwohl wird eher zuviel Hopfennutzung klassifiziert worden sein, weil eine andere Ausprägung der DLM25-Klasse „Sonderkultur“ dort im Verhältnis zu Hopfenflächen selten vorkam. Also wurden einige Obst- oder Bracheflächen in der Hallertau fälschlich als Hopfen klassifiziert. Für den Hopfenanbau in Franken war die Zuordnung weit schwieriger, da dort die Anteile von Obst wesentlich höher sind. Im Bereich des Spalter Hopfenlandes war eine gute Zuordnung noch möglich. Für die Bereiche um Forchheim und Hersbruck ist aber anzunehmen, dass in erheblichen Anteilen Hopfen- und Obstflächen falsch klassifiziert worden sind.

Als Ergebnis dieser Aufbereitung entstand ein extrem großer Polygon-Datenbestand (ca. 500 MB), der die Flächennutzung in ganz Bayern auf der Grundlage des DLM25 aus ATKIS darstellt und zusätzlich die Sondernutzungen Wein und Hopfen auswies.

### **Schritt 3 : Ermittlung der Flächennutzungen in den einzelnen Rasterflächen**

Aufgrund der Größe des Polygon-Shapefiles zur Flächennutzung, die die Kapazität der Software und des vorhandenen Rechners ausreizte, konnten keine vereinfachten Auswertungen mittels ArcGIS vorgenommen werden (z.B. Operationen „dissolve“ oder „intersect“). Deshalb mußte ein im folgenden beschriebenes umständliches Verfahren gewählt werden, das aber ebenso zum Ziel führte. Die Datensätze zur Flächennutzung

und zum Erosionsatlas 2001 wurden unterteilt, so dass jeweils eine Datei nur noch einen Teil der TK-Karten abbildete. In einer sehr zeitraubenden Berechnung mittels der Operation „Intersect“ wurden den Polygonen aus dem Erosionsatlas 2001 die darin enthaltenen entsprechenden Polygone und Teilpolygone aus dem Polygon-Shapefile der Flächennutzung zugewiesen, diese Polygone erhielten einen eindeutigen Eintrag der Daten aus dem Erosionsatlas 2001. So war jedes Polygon aus der Datei der Flächennutzungen genau einem Polygon des Erosionsatlas zuzuordnen. Bei diesem Vorgang warf die Software sehr oft Fehler auf, die entweder nachträglich korrigiert oder die Berechnungen mit kleineren Datenmengen wiederholt werden mußten. So erschienen sehr viele Datensätze doppelt, allerdings mit unterschiedlicher Nutzung. Auf Grund des großen Umfangs des Datenmaterials wurden nur die Fehler > 2,5 ha gezielt bereinigt, bei Fehlern < 2,5 ha wurde eine Nutzung gelöscht, egal welche Nutzung tatsächlich in der Realität vorhanden war. Damit war allen Polygonen > 2,5 ha die richtige Nutzung nach dem DLM25 zugewiesen, bei Polygonen < 2,5 ha konnten Fehler in der Nutzungsklassifizierung enthalten sein, was allerdings kaum einen Einfluß auf das Gesamtergebnis hatte (Eine Rasterzelle des Erosionsatlas hat eine durchschnittliche Größe von über 500 ha). Die Ergebnisse des „Intersect“ konnten wieder zu einem Datensatz zusammengefügt werden.

Somit lag ein Polygon-Shapefile vor, in der jedes Polygon ein eindeutiges Nutzungsattribut und einen Eintrag aufwies, in welchem Polygon des Erosionsatlas 2001 es enthalten war. Die Datensätze wurden wiederum aufgeteilt und nach der Berechnung der Einzelflächengrößen nach Excel exportiert. Dort wurden anhand von Pivot-Tabellen die Flächensummen der einzelnen Nutzungen in den Untersuchungspolygonen des Erosionsatlas ermittelt. Die Flächensumme der erzeugten Nutzungseinzelpolygone waren meist kleiner als die Größe des Vergleichspolygons aus dem Erosionsatlas, da der DLM25-Datenbestand aus ATKIS nicht 100% flächendeckend vorlag. Da meist Siedlungs- oder Verkehrsflächen fehlten (wie z.B. Bahntrassen), wurde die Differenz der Größe des Vergleichspolygons und der Gesamtgröße der einzelnen Nutzungspolygone den Waldflächen (= nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen) hinzugezählt. Die neu berechneten Flächenanteile konnten in die Excel-Datei des Erosionsatlas 2001 übernommen und dort die Berechnungen zu den Bodenabträgen neu durchgeführt werden.

Der Datenbestand des Erosionsatlas 2001 [101] wurde im Vorfeld modifiziert. So traten in den Berechnungsalgorithmen für die einzelnen Bodenabträge nur noch der Anteil der Ackerfläche in % an der Gesamtfläche und nicht in % an der landwirtschaftlichen

Nutzfläche ein. Der C-Faktor der Ackerflächen wurde auf maximal 0,45 (= 100 % Maisanbau) begrenzt. Dadurch änderte sich im Erosionsatlas 2001 bei noch identischen Nutzungsanteilen der Mittelwert des mittleren jährlichen Bodenabtrags der Gesamtfläche aus allen Zellen von 2,70 auf 2,10 t/ha/a.

## **2.2 Diskussion der Ergebnisse**

Im folgenden werden die Ergebnisse der Neubestimmung der Anteile der Nutzungen an den Rasterzellen und ein Vergleich mit den Angaben im Erosionsatlas 1986/2001 sowie das Ergebnis der Neuberechnung der Bodenabträge in den Rasterzellen anhand der neu ermittelten Anteile der einzelnen Nutzungen und ein Vergleich mit den Ergebnissen des Erosionsatlas 1986/2001 dargestellt und diskutiert.

### **2.2.1 Vergleich der Nutzungsanteile**

Folgende Unterschiede der im Erosionsatlas geschätzten gegenüber den neu errechneten Prozentanteilen der einzelnen Nutzungen in den 13.103 Rasterflächen, dargestellt in Tabelle 2.2.1.a, traten auf und waren zu bewerten:

[Hinweis: Die Anteile der Ackerflächen im Erosionsatlas 2001 wurden in der Ursprungsversion [101] nicht korrekt berechnet und im Falle des Auftretens von Hopfen oder Wein im jeweiligen Raster um die Summe der Größe von Hopfen und Wein zu groß. Damit waren auch die Grünlandanteile nicht richtig, da sie im Erosionsatlas 2001 nicht ausgewiesen sondern aus  $100 - (\text{Sonstige}\% + \text{Acker}\% + \text{Hopfen}\% + \text{Wein}\%)$  berechnet wurden. Beim Vergleich in der Tabelle 2.2.2.a wurde dieser Fehler bereits berücksichtigt und korrigiert.]

	<b>I) geschätzte Anteile (%) der Nutzungen im Erosionsatlas 2001</b>			<b>II) errechnete Anteile (%) der Nutzungen nach DLM25 aus ATKIS</b>			<b>Differenz der Werte von I) zu II)</b>		
Nutzungsart	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum
Acker	0	<b>37</b>	99	0	<b>35</b>	100	-73	<b>2,4</b>	86
Grünland	0	<b>22</b>	97	0	<b>19</b>	95	-84	<b>3,2</b>	87
Wald/Sonstige	0	<b>41</b>	99	0	<b>46</b>	100	-98	<b>-5,5</b>	84
	<b>I) geschätzte Anteile (%) der Nutzung im Erosionsatlas 2001</b>			<b>II) errechnete Anteile (%) der Nutzung nach DLM25 aus ATKIS u. TK25</b>			<b>Differenz der Werte von I) zu II)</b>		
Nutzungsart	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum
Hopfen	0	<b>0,48</b>	40	0	<b>0,27</b>	50	-27	<b>0,21</b>	31
	<b>I) geschätzte Anteile (%) der Nutzung im Erosionsatlas 2001</b>			<b>II) errechnete Anteile (%) der Nutzung nach LfL Veitshöchheim</b>			<b>Differenz der Werte von I) zu II)</b>		
Nutzungsart	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum	Mini- mum	Mittel- wert	Maxi- mum
Wein	0	<b>0,09</b>	69	0	<b>0,13</b>	82	-28	<b>-0,03</b>	2

Tabelle 2.2.1.a : Unterschiede der neu ermittelten Anteile der Flächennutzungen nach dem DLM25 im Vergleich zu den im Erosionsatlas 2001 verwendeten Anteilen

Es zeigte sich, dass der Erosionsatlas 2001 im Gegensatz zum DLM25 die Anteile der Ackerflächen und der Grünlandflächen eher überschätzte und als Ausgleich die Anteile von Wald/Sonstige (= alle nicht landwirtschaftlich genutzten Flächen) unterschätzte. Die Differenzen in den Anteilen der Ackernutzung waren mit nur 2,4 % gering, so dass besonders hohe Auswirkungen auf den Vergleich der mittleren Abträge der gesamten Fläche für Bayern nicht zu erwarten waren. Da Grünland- und Waldflächen mit dem identischen und sehr kleinem C-Faktor von 0,004 in die Berechnungen eingingen, waren Verschiebungen vom Grünlandanteil zum Waldanteil unbedeutend für die Berechnung des Abtrags der Gesamtfläche. Die mittleren Differenzen für alle Rasterzellen bei Wein und Hopfen waren natürlich aufgrund ihres eher geringen Auftretens in Bayern sehr klein und kaum von Relevanz für ein Gesamtergebnis, gleichwohl sich der Hopfenanteil nahezu halbierte und der Weinanteil um mehr als 25 % stieg. Entscheidend war aber in allen Nutzungskategorien, dass für einzelne Zellen die Abweichungen sehr hoch sein konnten, wie die Minimal- und Maximalwerte der Abweichungen aufzeigten.

So wies der Erosionsatlas 2001 maximal 84 Prozentpunkte mehr Ackernutzung in einer Rasterzelle als die Berechnung nach dem DLM25 auf, während das DLM25 sogar 98 Prozentpunkte mehr Ackernutzung in manchen Zellen zeigte. Dass sich die Prognosen zum mittleren jährlichen Bodenabtrag der Gesamtfläche in diesen Zellen gravierend änderten, liegt auf der Hand. Da große Differenzen bei allen Nutzungen anzutreffen waren, war zu erwarten, dass eine deutliche Präzisierung des Erosionsatlas durch das DLM25 erreicht werden würde, das Gesamtergebnis an Bodenabtrag für Bayern sich jedoch kaum ändern würde.

Die Ursachen für eine divergierende Klassifikation im Erosionsatlas und nach dem DLM25, die die Unterschiede in vorheriger Tabelle ausmachten, waren schwierig nachzuvollziehen. Gravierendste Fehlerquelle im Erosionsatlas war sicherlich die augenscheinliche Betrachtung der TK 25 und die daraus folgende Festlegung der Anteile von Wald und sonstigen Flächen in 5 %-Schritten in einer Rasterzelle. Hierbei wurde vor allem bei geringen Anteilen von Wald-/Sonstigen-Flächen deren Anteil systematisch unterschätzt. Die Abweichung betrug insgesamt 5 %, was nur einer Abstufungsklasse entspricht. Eine Unterschätzung des Waldanteils erhöhte den Anteil der Ackerflächen und damit den mittleren Bodenabtrag einer Rasterzelle, eine Überschätzung des Waldanteils verringerte den mittleren Bodenabtrag. Es wurde im Erosionsatlas vor allem in den Zellen der Wald-/Sonstige-Anteil unterschätzt, in denen nur geringe Anteile von Wald- /Sonstigen-Flächen auftraten, während in den Rasterzellen, wo im Erosionsatlas 2001 bereits viel Wald ausgewiesen wurde, der Waldanteil sogar noch überschätzt wurde. Die Details verdeutlicht Tabelle 2.2.1.b

<b>Waldanteil in % an den Rasterflächen im Erosionsatlas 2001</b>	<b>Differenz zum errechneten Waldanteil in % an den Rasterflächen nach dem DLM25</b>	<b>Unter- bzw. Überschätzung des Waldanteils des Erosionsatlas 2001 gegenüber dem DLM 25</b>
10 % (ca. 2.500 Zellen)	- 10 %	- 40 %
>10 % bis ≤ 25 % (ca. 3.000 Zellen)	- 10 %	- 27 %
>25 % bis ≤ 50 % (ca. 3.500 Zellen)	- 6 %	- 12 %
> 50 % (ca. 2.000 Zellen)	+ 2 %	+ 7 %

Tabelle 2.2.1.b : Unter- bzw. Überschätzung des Waldanteils des Erosionsatlas 2001 gegenüber dem Waldanteil des DLM 25

Interessanterweise wurden im letzten Segment > 50 % Waldanteil im Erosionsatlas die Waldanteile überschätzt, nämlich um 2 %, wodurch der Waldanteil eigentlich um 7 % kleiner sein sollte. Letztendlich bedeutete dies, dass in Rasterzellen, in denen ein hohes Niveau an Bodenabträgen zu verzeichnen war, also viel Ackerland vorhanden war, die mittleren Abträge eher überschätzt wurden, da eigentlich mehr Wald-/Sonstige-Flächen vorhanden sein müßten. Dies erlangte besondere Bedeutung in Regionen mit hohen Faktorenwerten, also dort, wo das Gelände stärker modelliert und nicht eben war (z .B. Mittelgebirgslagen). Im Gegenzug heißt dies, dass in Rasterzellen mit sehr geringen Abtragswerten im Erosionsatlas 2001 diese eher unterschätzt wurden, da im Mittel mehr Ackernutzung in der Rasterzelle vorkommen müßte.

Die Zuweisung des Anteils von Acker und Grünland an einer Rasterzelle anhand der Gemeindestatistik war für einen weiteren systematischen Fehler verantwortlich. Es wäre eigentlich der gerichtete Fehler zu erwarten gewesen, dass aufgrund der Nutzungszuweisung von Acker- und Grünlandanteilen aus der Gemeindestatistik in Rasterzellen mit steileren Hangneigungen die Anteile der Ackernutzung systematisch aufgrund der gering auflösenden Modellierung überschätzt wurden. Überraschenderweise wurde der Anteil der Ackernutzung eher bei einer geringeren Hangneigung überschätzt als bei einer hohen. Die Korrelationskoeffizienten zwischen der Abweichung im Anteil Ackernutzung und dem S-Faktor pendelte um Null. In der Summe aller Flächen war dieser gerichtete Fehler also nicht nachzuweisen. Allerdings war dort, wo größere Abweichungen (> 5 %) in den Anteilen der Ackernutzung auftraten, der Mittelwert des S-Faktors geringer als bei einem geringeren Unterschied im Ackeranteil. Auch wenn man die Flächen mit nur geringem Anteil von Ackerflächen eliminierte oder diese alleine betrachtete, änderte sich diese Tatsache nicht. Dies dürfte zur Ursache gehabt, dass in den Regionen mit höherer Reliefenergie auch meist mehr Niederschlag fällt (so z.B. im Bayerischen Wald), dadurch überdurchschnittlich oft ebene feuchte und nasse Standorte auftreten, die als Grünland genutzt werden. Also mußten mehr geneigte Flächen dem Ackerbau zugewiesen sein.

Durch die Verteilung der landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) auf Acker und Grünland anhand der Gemeindestatistik entstand eine weitere systematische Fehlermöglichkeit. Im Erosionsatlas 2001 wurden in 577 Rasterzellen Ackerflächen ausgewiesen, die nach dem DLM25 nicht vorhanden waren. Dagegen zeigte das DLM25 in 217 Zellen, nahezu ausschließlich im Alpengebiet, Ackernutzung, wo im Erosionsatlas keine Ackernutzung zu finden war. Dies war dadurch zu erklären, dass im Erosionsatlas 2001

die Rasterzellen einer bestimmten Gemeinde zugeordnet wurden, während das DLM25 die Gemeindezugehörigkeit bei der Nutzung nicht unterschied.

## 2.2.2 Vergleich der Neuberechnung der Bodenabträge

Überträgt man die errechneten Anteile der Flächennutzungen an den Rasterzellen aus dem DLM25 in die Berechnungsalgorithmen des Erosionsatlas 2001, so erhielt man als Ergebnis (vgl. Tabelle 2.2.2.a), dass der Durchschnitt der mittleren jährlichen Abträge auf einer typischen Ackerfläche (Acker, Wein oder Hopfen) nur um 0,15 t/ha/a niedriger ausfiel als nach dem Erosionsatlas 2001 prognostiziert, sich also nur minimal veränderte.

	I) mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha/a im Erosionsatlas 2001			II) mittlerer jährlicher Bodenabtrag in t/ha/a nach Ermittlung der Nutzungsanteile nach DLM25			Differenz von I) zu II) in t/ha/a		
	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert	Maximum
Abtrag der AF	0	<b>6,78</b>	151	0	<b>6,80</b>	110	-110	<b>0,15</b>	151
Abtrag der LN	0	<b>2,57</b>	46	0	<b>2,44</b>	35	-27	<b>0,11</b>	15
Abtrag der Gesamtfläche	0	<b>2,10</b>	44	0	<b>1,87</b>	30	-16	<b>0,24</b>	21

Tabelle 2.2.2.a: Vergleich der errechneten Bodenabträge nach Erosionsatlas 2001 und der Neuberechnung anhand der Nutzungsanteile aus dem DLM25

Der Unterschied im Abtrag der Ackerfläche (AF) entstand im wesentlichen daraus, dass der Erosionsatlas in 577 Rasterzellen Ackernutzung aufwies, wo laut DLM25 keine Ackernutzung mehr zu finden war. Umgekehrt war dies seltener der Fall. Höher wurde der mittlere Abtrag nach dem DLM25 deshalb, weil in 217 Rasterzellen der Alpengebiete nun Ackerflächen ausgewiesen wurden, wo der C-Faktor und/oder der S-Faktor besonders hoch waren. Die Gemeindestatistik kannte diese AF nicht, ihre Klassifizierung war auch oft nicht plausibel. Im Detail, d.h. in der einzelnen Zelle, waren die Unterschiede im Abtrag der AF sehr groß (von -110 bis +150 t/ha/a), dies trat dann ein, wenn für eine Rasterzelle in einer Berechnung Anteile von Ackernutzung angezeigt wurden und in der anderen Berechnung nicht. Beim Abtrag der landwirtschaftlichen

Nutzfläche (LN) kam nun der im DLM25 noch etwas höhere Grünlandanteil (im Vergleich zum Ackeranteil) zusätzlich zum tragen. Somit war der Abtrag der LN nach den Nutzungsanteilen aus dem DLM25 im Mittel um 0,11 t/ha/a etwas geringer. Wieder konnten die Unterschiede in den einzelnen Rasterzelle sehr groß sein. Der durchschnittliche Gesamtabtrag in Bayern minderte sich nun im Vergleich der Berechnungen stärker, da mehr Nicht-LN im DLM25 (5%) ausgewiesen wurde.

Die Unterschiede in den Bodenabträgen der Gesamtfläche basierten hauptsächlich auf den Änderungen der Anteile der einzelnen Nutzungen, also speziell in der Abnahme des Ackeranteils und der Zunahme des Waldanteils. Da diese Verschiebungen in der Summe nicht allzu groß waren, konnten auch die Differenzen insgesamt (im Mittel 0,24 t/ha/a oder 11 %) nicht zu hoch sein, obwohl sie einen wesentlich höheren Änderungsfaktor wie die Differenzen der Nutzungsanteile aufwiesen. Der höhere Änderungsfaktor lag darin begründet, dass die C-Faktoren der Ackerflächen wesentlich größer als die C-Faktoren der Waldflächen waren. Im Vergleich der Übersichtskarten 2.2.2.b (mit Änderung der Berechnungsalgorithmen) und 2.2.2.c wird nun deutlich, wie stark diese in Zahlen scheinbar geringe Änderung doch bei der gegebenen Klassifizierung des Erosionsatlas 1986 auf das Kartenbild durchschlagen. Der Neuberechnung folgte oft eine Tieferstufung der Raster um eine Klasse, so dass sich eine erkennbare Verminderung der langjährigen, mittleren Bodenabträge feststellen ließ. Dies war zwar insbesondere in den Regionen mit höheren Abträgen zu verfolgen (z.B. Tertiärhügelland), aber auch in der Gesamtheit der Flächen nachzuvollziehen. Daran wird ersichtlich, dass der Erosionsatlas 2001 die Bodenabträge von der Gesamtfläche aufgrund der Schätzung der Flächennutzungsanteile überschätzte. Da der Erosionsatlas 1986 noch höhere Ergebnisse aufzeigte, wurden dort die langjährigen mittleren Bodenabträge noch deutlicher überschätzt.

### **2.3      Schlußfolgerungen**

So läßt sich erkennen, dass durch die Aufnahme der digitalen Nutzungsdaten der Erosionsatlas 1986/2001 präzisiert werden konnte und dies insbesondere, wenn man die Ebene der einzelnen Rasterzellen betrachtet. Hier waren auch beträchtliche Änderungen zu beobachten. Die Durchschnittswerte der mittleren Abträge haben sich kaum verändert, da sich auch die einzelnen Anteile der Nutzungen insgesamt nur wenig verändert haben. Der Gewinn an präziserer Information für die einzelne Zelle mit der an-

gegebenen Genauigkeit des DLM25 von 3 bis 5 (bis 15) m im Gegensatz zur Ermittlung der Anteile der Flächennutzungen per Hand sollte offensichtlich sein. Im Basis-DLM25 waren jedoch Mängel vorhanden, die ebenfalls gravierende Auswirkungen auf die Berechnungen der Bodenabträge haben konnten. Im Datenbestand traten in einzelnen Bereichen offensichtliche und deutliche Fehler auf, insbesondere in der Verteilung von Acker- und Grünland in den Fluß- und Auengebieten oder in den Alpen. In den Flußgebieten wurde zum Teil eher der Zustand von vor 30 oder 40 Jahren abgebildet, es zeigte sich dort sehr viel mehr Grünland als heute noch vorhanden ist. Die festgelegten Ackerflächen in den Alpen waren teils sehr fraglich oder offensichtlich falsch, da sie bis in den hochalpinen Bereich reichten. Im Vergleich erschienen die Topographischen Karten in Teilbereichen wesentlich aktueller als die Daten des DLM25 aus ATKIS.

Besondere Bedeutung erlangte folgender Umstand. So wies, wie in Tabelle 2.3.a veranschaulicht, das DLM25 57,3 % (= 4,04 Mio. ha) landwirtschaftliche Nutzfläche in Bayern auf, während der Agrarbericht Bayern für das Jahr 2003 hingegen nur 46,3 % (= 3,27 Mio. ha) reportierte [9]. Das DLM25 zeigte also 15 % mehr Acker- und Grünlandfläche als der Agrarbericht, und dies zu Lasten der außerlandwirtschaftlichen Fläche.

	verwendete Daten zur Neuermittlung der Nutzungsanteile/ Bayern		amtliche Statistikdaten aus den bay. Agrarberichten 2002 und 2004	
	Datengrundlage	Fläche in ha	Datengrundlage	Fläche in ha
Gesamtfläche Bayern	DLM25-ATKIS	7.051.531	Agrarbericht 2002	7.055.000
Außerlandwirtschaftliche Fläche	DLM25-ATKIS	3.245.933	Agrarbericht 2002/4	3.785.920
Landwirtschaftliche Fläche	DLM25-ATKIS	4.042.868	Agrarbericht 2004	3.269.080
Ackerfläche	DLM25-ATKIS	2.445.877	Agrarbericht 2004	2.104.500
Grünland	DLM25-ATKIS	1.337.733	Agrarbericht 2004	1.147.400
Rebland	LfL Veitshöchheim	6.604	Agrarbericht 2004	5.600
Hopfen	DLM25-ATKIS / TK25	19.322	Agrarbericht 2004	14.800

Tabelle 2.3.a: Gegenüberstellung der Datengrundlage zur Neuermittlung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen und der Statistiken aus den Agrarberichten verschiedener Jahre [9]

Es fehlten in den Agrarberichten zwar die Nutzflächen der Landwirte, die keinen Mehrfachantrag stellen, was aber nur einen sehr kleinen Flächenanteil ausmachte. Die ausgewiesene Gesamtfläche des DLM25 für Bayern war nur wenig kleiner als die tatsächliche Fläche des Freistaates, es fehlten auch einige wenige Polygone („Löcher“ in ATKIS, also kein Datenbestand, z.B. bei Bahntrassen). Dadurch wurde deutlich, dass durch den Übertrag der Flächennutzungsanteile nach dem DLM25 zwar eine Verbesserung gegenüber der Ermittlung der Anteile der Flächennutzungen per Hand erfolgte, aber in der Gesamtheit weiterhin größere Fehler enthalten sein mußten. Unterstellt man den Agrarberichten eine gute Datenbasis, dann erreichte man mit den ATKIS-Daten nur eine schlechte Annäherung an die tatsächliche Flächenbewirtschaftung in Bayern, da deutlich zuviel Acker und Grünland und deutlich zu wenig außerlandwirtschaftliche Fläche klassifiziert wurde. So wurde auch ersichtlich, dass die Übernahme der Nutzungsanteile aus dem DLM25 für die Ermittlung des Gesamtabtrags nicht besonders lohnend war, da im Vergleich zu den bisherigen Nutzungsanteilen aus dem Erosionsatlas keine deutliche Annäherung an die tatsächliche Bewirtschaftungssituation in Bayern erzielt werden konnte. Da ja nach dem DLM25 weiterhin zuviel Ackerfläche ausgewiesen wurde, war das Ausmaß des mittleren Abtrags der Gesamtfläche auf Basis der standardisierten Schläge weiterhin überschätzt. Das DLM25 zeigte 35 % Ackeranteil an der Gesamtfläche, der Agrarbericht nur 30 %. Der Erosionsatlas 2001 lag mit 37 % Ackernutzung noch weiter entfernt von den tatsächlichen Daten des Agrarberichts.

Eine weitere Schwäche der Neuberechnung lag in der Festlegung der Hopfenanteile. So wurden laut der erarbeiteten neuen Datengrundlage (DLM25 verschnitten mit der TK 25) 193 km<sup>2</sup> in Bayern als Hopfen klassifiziert, während es nach der Agrarstatistik des Jahres 2004 im Vergleichsjahr 1995 tatsächlich nur ca. 186 km<sup>2</sup> sein sollten [9]. Diese Abweichung in Höhe von 5 % wird das Ergebnis nur wenig verfälschen. Hinzu kommt allerdings, dass die Hopfenfläche bis in das Jahr 2003 auf 148 km<sup>2</sup> gesunken waren, also doch Hopfengärten in bedeutenden Ausmaß umgewidmet wurden (zu Acker). Also betrug die tatsächliche Abweichung gut 25 %, d.h. etwa 20 % der Hopfenflächen müßten eher Acker und etwa 5 % eher Obst/Sonstige Flächen sein. Der zu große Hopfenanteil ließ die Bodenabträge der Gesamtfläche in von Hopfen dominierten Regionen, z.B. der Hallertau, überschätzen.

Für eine weitere Präzisierung des Erosionsatlas, vor allem hinsichtlich des mittleren Abtrags der Gesamtfläche, wäre es erforderlich, die tatsächliche Flächennutzung in Bayern, wie sie im Agrarbericht wohl treffend definiert ist, mit einer digitalen Grundlage

genau zu erfassen. Diese Grundlage existiert seit neuestem mit der „Digitalen Feldstückskarte“ der Landwirtschaftsverwaltung bereits. Behelfen könnte man sich damit, dass die Anteile der Flächennutzungen in der Neuberechnung des Erosionsatlas proportional zu den Differenzen zum Agrarbericht geändert werden. Dies würde für den mittleren Gesamtabtrag in Bayern eine bessere Beschreibung erbringen, auf der Ebene der einzelnen Zelle aber einen Rückschritt darstellen.

Die wichtigsten Ergebnisse nochmals in Kürze:

- A) Im Vergleich mit den Neuberechnungen überschätzte der Erosionsatlas die Anteile der Acker- und Grünlandflächen und unterschätzte als Ausgleich die Anteile von Wald, dadurch überschätzte der Erosionsatlas auch die mittleren Bodenabträge der Gesamtfläche.
- B) Im Gesamtbild waren die Differenzen in den Anteilen der Flächennutzungen gering, so dass mit durchschnittlich 0,15 t/ha/a keine besonders hohen Auswirkungen auf den Vergleich der mittleren Abträge der gesamten Fläche für Bayern festzustellen waren.
- C) Für einzelne Zellen ließen sich sehr hohe Abweichungen im Vergleich der Flächennutzungsanteile ermitteln, die zu extremen Änderungen in der Vorhersage des Bodenabtrags führen können.
- D) Die digitale Datengrundlage zur Flächennutzung, das DLM25 aus ATKIS, hat gravierende Mängel, so dass die Übernahme der Nutzungsanteile aus dem DLM25 für die Ermittlung des Gesamtabtrags im Erosionsatlas nicht besonders lohnend war.

### **3. Teil II) Bodenabtragsmodellierung**

Mittlerweile liegen umfangreiche digitale Daten in wesentlich geringerer Rastergröße für viele Parameter der ABAG vor. GIS stellt ein mächtiges Werkzeug zur Integrierung der aktuellen Daten in die ABAG und zu ihrer Analyse dar und kann somit dem Erosionsatlas zu detaillierteren Auskünften verhelfen und als dessen Fortschreibung dienen. Ziel der Modellierung war es,

- I) die Berechnung der langjährigen mittleren Bodenabträge in Bayern präziser und detaillierter als mit dem Erosionsatlas 1986/2001 durchzuführen
- II) über eine bessere Abgrenzung die besonders erosionsanfälligen Gebiete für die gezielte Maßnahmenumsetzung zu identifizieren (Hot Spot Analyse)
- III) die Auswirkungen von umzusetzenden Maßnahmen in Modellstudien zu überprüfen und darzustellen („Was wäre, wenn ...“)
- IV) verschiedene Regionen wie z.B. Gewässereinzugsgebiete hinsichtlich Erosionspotential und Stoffaustragsmengen vergleichen zu können

Es waren deutliche Verbesserungen in der Detaillierung des Erosionsatlas zu erwarten, da die beiden am stärksten erosionsdifferenzierenden Faktoren S und C auf effizientem Weg neu ermittelt werden konnten. Der besondere Fortschritt der Modellierung lag aber nicht nur in einer verbesserten Detaillierung, sondern darin, dass mit allen Einzelfaktoren der ABAG mathematische Operationen ausführbar sind und so unterschiedliche Änderungen der Einzelfaktoren auf ihre Auswirkungen untersucht werden können. Es war nicht Ziel, die Bodenabträge einzelflächenscharf exakt zu bestimmen und justiziable Werte zu ermitteln. Die Modellierung sollte nur zeigen, auf welchen Flächen Bodenabtrag zu erwarten ist und nicht, wo dieser Bodenabtrag wieder abgelagert wird. Kapitel 3 zeigt die Ergebnisse der neuen Modellierung, die auf einer Rasterauflösung von 50 x 50 m fußte und diskutiert kurz Vorgehensweise und einzelne Unsicherheiten der Modellierung.

#### **3.1 Material und Methoden**

Innerhalb der Modellierung konnten anhand neuerer und besserer Datengrundlagen die Faktoren Regenerosivität R, Hangneigung S und Bedeckungs- und Bewirtschaftungsfaktor C für ganz Bayern, der Faktor Bodenerodierbarkeit K für größere Teile von

Bayern aktualisiert werden. Der Hangneigungsfaktor L und der Erosionsschutzfaktor P wurden vom Erosionsatlas 1986/2001 übernommen, da hier kein brauchbares digitales Datenmaterial vorliegt. Im Gegensatz zum Erosionsatlas 1986 wurde der Schmutzanzhang bei Zuckerrüben nicht mehr berücksichtigt. Das Ablaufschema der Modellierung zeigt Abbildung 3.1.a:

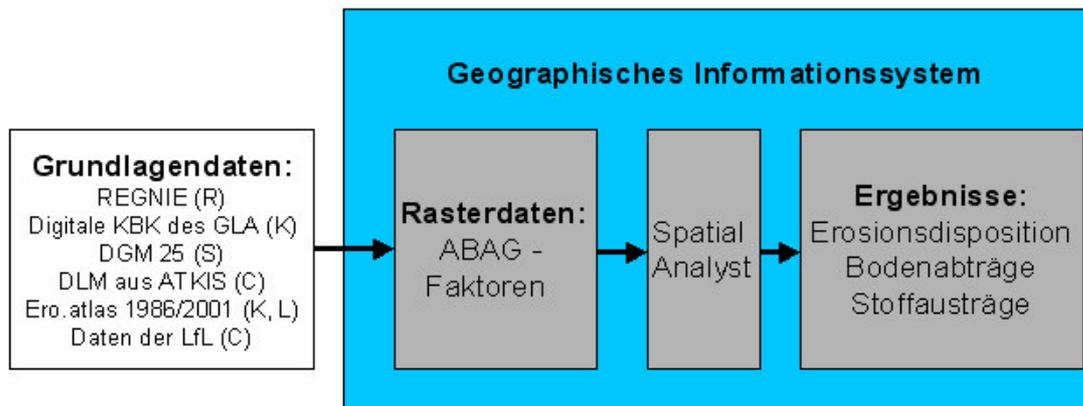


Abbildung 3.1.a: Ablaufschema der GIS-basierten Erosionsmodellierung

Um die Vergleichbarkeit mit dem analogen Erosionsatlas 1986 zu erhalten, wurde in den Karten im Anhang dessen Klassifizierung weiter verwendet. Ein Vergleich ist aber nur bedingt möglich. Der Atlas 1986/2001 errechnete den langjährigen, mittleren Bodenabtrag auf einer typischen Fläche innerhalb der Rasterzelle, während die neue Modellierung versuchte, die tatsächlichen Verhältnisse der nun viel kleineren Rasterzelle widerzuspiegeln. Die Fortschreibung verließ also die Ebene der repräsentativen Beispielsschläge. Wie auch die Histogramme verdeutlichen, können und müssen je nach Ansatzpunkt neue Klassifizierungen eingebracht werden, die die Zusammenhänge besser erschließen lassen.

Die Ergebnisse werden im Anhang auch in Karten dargestellt, wobei jeweils die Klassifizierung und die Symbolisierung des Erosionsatlas 1986 wiedergegeben wurde, obwohl bereits dargelegt wurde, dass ein Vergleich der absoluten Werte nicht sinnvoll ist. Die gedruckten Karten im Format DIN A4, deren Numerierung sich nach den Kapiteln richtet, können die tatsächliche Auflösung des Rasters nicht wiedergeben. Die gewählte zweipolige Symbolisierung mit dem Spektralverlauf von grün über gelb nach rot

ist nicht unproblematisch (der mittlere Bereich hat keine im Bezug zu anderen Bereichen hervorgehobene Bedeutung), wird aber von dem mit dem Erosionsatlas befaßten Personenkreis absolut bevorzugt. Ein sequentielles Schema in der Symbolisierung kann bayernweit die Unterschiede in den Karten nicht mehr zur Geltung bringen und erschwert die Legendenzuordnung. Die Symbolisierung wurde deswegen beibehalten, damit die Änderungen durch die Modellierung für einen mit der Erosionsproblematik vertrauten Personenkreis gut ersichtlich werden. Allerdings verleitet das Festhalten an der Klassifizierung und Symbolisierung des Erosionsatlas zu einer vereinfachten Interpretation der neuen Karten, die problematisch ist. Was grün ist, muß nicht unbedingt gut sein, was rot ist, muß nicht schlecht sein. Änderungen im Kartenbild müssen keine Verbesserung oder Verschlechterung darstellen. Aufgrund der eindeutigen Zuweisung einer bestimmten Nutzung an eine Rasterzelle genügt es, im Gegensatz zum Erosionsatlas 1986, nur noch eine Übersichtskarte je Faktor oder je Ergebnis darzustellen.

Bei der verwendeten Software handelte es sich um ArcMap 8.2 von ESRI mit der Extension Spatial Analyst. Das Untersuchungsgebiet wurde mit gleich großen Quadraten der Seitenlänge 50 m überdeckt (Cell Grid). Die Lageinformation der Zelle ist implizit durch ihre Position in der Wertematrix und der globalen Referenzierung der Gesamtmatrix gegeben. Alle Faktoren der ABAG und die Formelerggebnisse wurden im „ESRI GRID“-Format als Rasterdateien berechnet, das heißt für jede Zelle wurde ein diskreter (und kein klassifizierter) Wert des beobachteten Themas an eben dieser Stelle gespeichert. Mit den Werten lassen sich nun mathematische Operationen durchführen, so dass z.B. aus den Einzelfaktoren das Produkt der ABAG errechnet werden kann. Die Orientierung des Rasters erfolgte nach der Vorlage des DGM25 Bayern (upper left) [106]. Wurden Vektordaten zu Rasterdaten konvertiert, so wurde nur der Wert aus dem Mittelpunkt der Zelle für die weitere Berechnung verwendet.

### **3.2 Aufnahme der Grundlagendaten - Einzelfaktoren der ABAG**

Im folgenden wird vorgestellt, wie die einzelnen Faktoren in die Modellierung aufgenommen wurden und welche Schwierigkeiten und Unzulänglichkeiten im Datenmaterial auftraten. Auf eine inhaltliche Erläuterung der Einzelfaktoren der ABAG wird verzichtet.

### 3.2.1 R-Faktor (Regenerosivität)

Anhand der **REGNIE** – Daten, die die langjährige monatliche Niederschlagsverteilung in Deutschland in einer Auflösung von 60 geographischen Sekunden längenparallel und 30 Sekunden breitenparallel abbilden [14], konnten vom BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT in München (Hr. Forstner) R–Faktoren als Vektordaten für ganz Bayern berechnet werden [104]. Das Phänomen des Schneeschmelzwassers wurde nicht berücksichtigt. Im Detail erfolgte eine Aufsummierung der mittleren Monatsniederschläge aus den Jahren 1961 bis 1991 der Monate Mai bis Oktober jedes Untersuchungspunktes und die Berechnung des R–Faktors aus der Formel [17]:

$$R = 0,141 \times N \text{ (Mai-Oktober)} - 1,48$$

Im Zuge der vorliegenden Modellierung zum Bodenabtrag erfolgte lediglich eine Umwandlung in Rasterdaten mit einer Anpassung an die Rastergröße 50 x 50 m. Die Datengrundlage REGNIE löste geringere auf, was die Güte der Modellierung aber nicht beeinträchtigte, da die Sommerniederschläge räumlich nicht so stark variieren können wie andere Parameter und der Einfluß des R–Faktors auf den Bodenabtrag eher gering ist. Die Auflösung der R–Faktoren war um den Faktor 4 höher als im Erosionsatlas 1986/2001, außerdem waren die Übergänge nun kontinuierlicher, da keine klassifizierten Daten mehr als Grundlage der Berechnungen verwendet wurden. Damit war eine sehr gute Schätzung der Erosivität der Niederschläge gegeben. Wie allerdings zu erwarten war, unterschieden sich die R-Faktoren in ihren Mittelwerten im Erosionsatlas von 1986/2001 einerseits (73,92) und in der Modellierung andererseits (74,02) marginal. Damit lag die Neuerung in den Daten mehr in der Präzisierung und besseren räumlichen Auflösung (Detaillierung) als in einer Änderung in der Höhe in der Gesamtheit der Werte. Die Karte 3.2.1 zeigt die Übersicht zu den R-Faktoren, wobei dieselbe Klassifikation wie im Erosionsatlas 1986 verwendet wurde. Die höheren Lagen zeichnen sich sehr deutlich ab, so dass auch die Flußtäler erkennbar sind. Im Histogramm wird erkennbar, dass die REGNIE-Daten einen beträchtlich größeren Anteil der besonders regenarmen Gebiete (R–Faktor  $\leq 60$ ) in Bayern aufweisen.

### 3.2.2 K–Faktor (Bodenerodierbarkeit)

Als Datengrundlage für die Präzisierung der kleinräumlich sehr variablen K-Faktoren wurde die digitale Konzeptbodenkarte **KBK** (Bodenformen und ihre Verbreitung und

Vergesellschaftung im Bearbeitungsmaßstab 1 : 25.000) des Bayerischen Geologischen Landesamtes [110] verwendet und damit ein ganz neuer Weg beschritten, da im Erosionsatlas 1986/2001 die Klassenbeschriebe der Bodenschätzung ausgewertet wurden. Die digitale KBK, bei der es sich um einen Vektor-Datensatz handelte, lag zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Modellierung noch nicht für ganz Bayern vor, sondern nur für einen Querstreifen zwischen 48,0 und 48,8 Grad Nord, außerhalb dieses Bereiches führte deshalb die Modellierung die Daten des Erosionsatlas 2001 fort.

Zuerst erfolgte die Umwandlung der Vektordaten aus der digitalen KBK in Rasterdaten mit der Auflösung 50 x 50 m. Jeder Rasterzelle wurde die Legendeneinheit aus der Arbeitslegende der KBK zugeteilt, die in ihrem Mittelpunkt aufzufinden war. Anhand der Legendeneinheiten wurde eine neue Klassifikation des Rasters mit den K-Faktoren vorgenommen. Grundsätzlich lagen für die Legendeneinheiten der KBK allerdings keine K-Faktoren vor, diese waren auch nicht direkt ableitbar oder anhand der Legendenangaben [8] nach DIN 19708 [13] errechenbar. Der K-Faktor der ABAG als Maß für die bodenspezifische Erodierbarkeit sollte nach DIN 19708 eigentlich aus der Gleichung:

$$K = (K_b * K_h + K_a + K_d) * K_s$$

bestimmt werden, wobei:

$K_b$  = bodenartabhängige Anteil des K-Faktors

$K_h$  = der humusgehaltsabhängige Anteil des K-Faktors

$K_a$  = der aggregierungsabhängige Anteil des K-Faktors

$K_d$  = der wasserdurchlässigkeitsabhängige Anteil des K-Faktors

$K_s$  = der grobbodenbedeckungsabhängige Anteil des K-Faktors

ist. Zu den einzelnen Teilfaktoren gibt es jeweils Schätztabelle. Auch die nötigen Grundlagen für die Bestimmung der Teilfaktoren des K-Faktors anhand der Schätztabelle liegen mit der digitalen Konzeptbodenkarte und ihrer Arbeitslegende nicht vor. Nur selten wurde die Bodenart nach Maßgabe der Kartieranleitung KA4 genannt, für die meisten Bodenformen hingegen fanden sich nur die folgenden relevanten Angaben:

- Kurzbeschreibung der eingeschlossenen Böden
- umgangssprachliche Beschreibung der charakteristischen Bodenart
- weitere Bemerkungen

(siehe auch Tabelle 3.2.2.a im Anhang Seite 64: Auszug aus der Arbeitslegende der KBK) Es wird deutlich, dass die Zuweisung von K-Faktoren allein aufgrund der mangelnden Aussageleistung der Arbeitslegende nicht optimal möglich war. Eine andere Beschreibung der Böden lag allerdings nicht vor.

Zur Bestimmung des K-Faktors der Legendeneinheiten der KBK anhand der Arbeitslegende wurde schließlich folgendermaßen vorgegangen: Die in der Modellierung zugewiesenen K-Faktoren waren eigentlich primär die  $K_b$ -Anteile am K-Faktor. Diese beruhten im wesentlichen auf der Kurzbeschreibung und der umgangssprachlichen Beschreibung der charakteristischen Bodenart, sofern nicht eine genauere Klassifizierung nach der KA 4 vorlag. Die Auskünfte der Arbeitslegende waren nicht immer eindeutig und teils sehr weit gefaßt. So gab es Beschreibungen wie „sandige Kiese bis Lehme“ oder „weites Korngrößenspektrum“, was eine Schwankung in der Zuweisung des K-Faktors von 0,1 bis 0,5 bedeuten konnte. Eine unproblematische und eindeutige Zuordnung des K-Faktors war oft nicht möglich. Ergänzt wurden bei Vorhandensein anhand der Tabellen 3, 4, und 6 der DIN 19708 [13] die weiteren Teilfaktoren wie  $K_h$ -Anteile (angeführte höhere Humusanteile bei humosen Böden, z.B. „Torf über Kies und Lehm“),  $K_s$ -Anteile (entweder in KA 4 genannt oder als Skelettanteil in der Beschreibung vermerkt, z.B. „Lehmboden, skelettreich“ oder „g“ oder „x“ in KA 4) und  $K_d$ -Anteile (+0,033 bei Lehm, +0,066 bei tonigen Lehmen, +0,102 bei stark tonigen Lehmen, Tonen und Staunässeböden, -0,033 bei stark steinigen Böden). Die letztendlich verwendeten K-Faktoren zu den einzelnen Legendeneinheiten finden sich in einer Zusammenstellung in der Tabelle 3.2.2.b im Anhang.

Nach Fertigstellung der Rasterdaten zu den K-Faktoren erarbeitet mittels Arbeitslegende der KBK, konnten, nach Umwandlung der Vektordaten zu den K-Faktoren aus dem Erosionsatlas 2001 in Rasterdaten und des dortigen Ausschneidens des vorliegenden Streifens der KBK, beide Datensätze zu einer Gesamtdatei zum K-Faktor im Rasterformat verbunden werden. Die Karte 3.2.2 stellt das Ergebnis graphisch dar, wobei wiederum die Klassifikation des Erosionsatlas 1986 verwendet wurde.

Das bayerische Mittel der K-Faktoren für Ackerflächen unter Berücksichtigung der KBK (also ermittelt für einen Streifen Bayerns aus der KBK, für den Rest Bayerns Übernahme der Daten vom Erosionsatlas 1986) lag bei 0,35, während der Erosionsatlas 1986/2001 für Bayern ein Mittel von 0,34 erreichte. Deutliche Änderungen in der Gesamtheit traten also nicht auf, was auch der Vergleich der Histogramme belegte. Der

Erosionsatlas 1986/2001 bildete die K-Faktoren für die Ackerflächen in einem größeren Maßstab mit einer ähnlichen Genauigkeit ab, wie sie sich nach der Arbeitslegende der KBK ermitteln ließen. Im Detail gab es allerdings bedeutende Abweichungen, was allerdings aufgrund der beiden unterschiedlichen Verfahren zu erwarten war. Die höhere Auflösung in der KBK verbesserte die Untersuchung kleinerer Teilgebiete enorm, dafür war die Rasterweite des Erosionsatlas 1986/2001 zu groß. Im Vergleich zu den Bodenrodierbarkeitsfaktoren des Erosionsatlas 1986/2001 traten in der Modellierung deutlich höhere Maxima (0,71 bei Schluff) und Minima (0,05, z.B. bei Blockschutthalden) bei den K-Faktoren zu Tage. An den räumlichen Grenzen der KBK konnten beide Verfahren (Zuweisung der K-Faktoren nach Reichsbodenschätzung und Zuweisung der K-Faktoren nach Arbeitslegende der KBK) verglichen werden. Es zeigten sich die deutlichen Unterschiede in der Auflösung. Die Ausprägung der K-Faktoren an den übergreifenden Grenzen ergaben oft ein stimmiges Bild, wichen aber teils voneinander ab. Der Erosionsatlas 1986/2001 bildete nur die K-Faktoren von Ackerflächen ab, was im nachstehendem Vergleich berücksichtigt wurde. Die einzelnen Raster des Erosionsatlas 1986/2001 und damit die Auflösung sind in nachfolgender Abbildung 3.2.2.c über der blauen Trennlinie noch deutlich erkennbar.

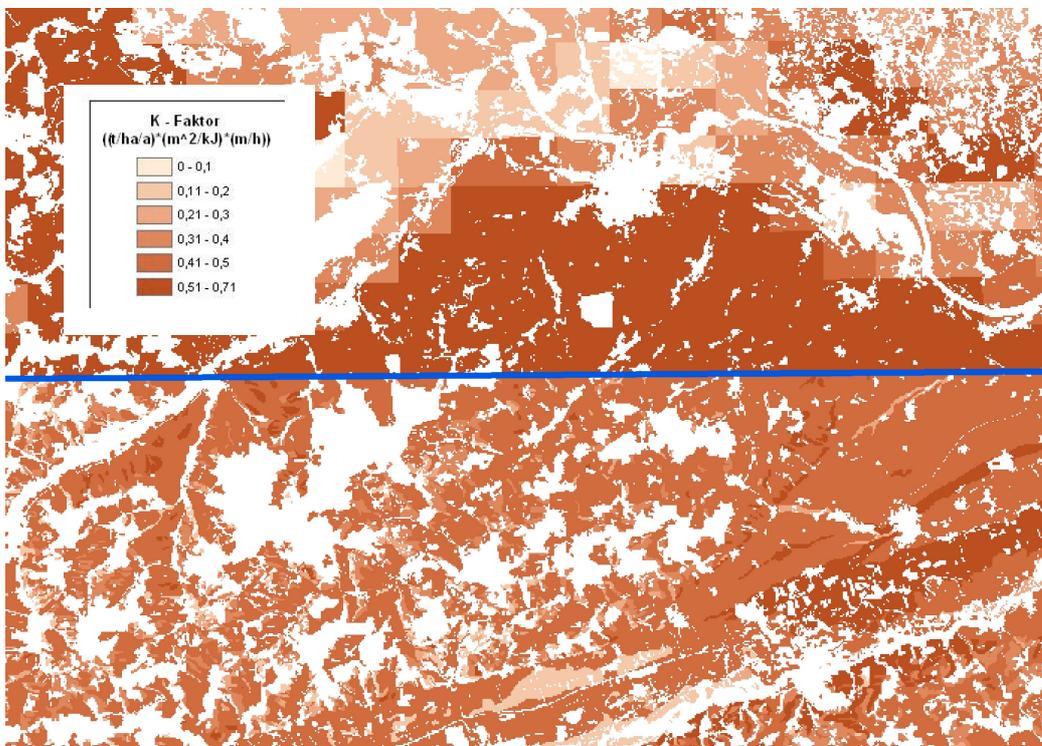


Abbildung 3.2.2.c : Vergleich der K-Faktoren von Ackerflächen aus dem Erosionsatlas 1986/2001 (oben) und der K-Faktoren der Modellierung (unten)

Unterhalb der blauen Linie zeigten sich in dem Streifen, der durch die KBK abgebildet wird, deutlich feinere Abstufungen der K-Faktoren, die Auflösung war kaum vergleichbar. Die K-Faktoren, die durch die Arbeitslegende der KBK ermittelt wurden, scheinen tendenziell eine Klasse tiefer als die K-Faktoren des Erosionsatlas 1986/2001 zu sein, was aber der Vergleich der Mittelwerte der K-Faktoren nicht bestätigte. Der Fortschritt mit Bestimmung der K-Faktoren durch die Arbeitslegende der KBK lag in der deutlich höheren Auflösung der Daten, mit dem Nachteil, dass für einige Legendeneinheiten der KBK die K-Faktoren nur sehr ungenau bestimmt werden konnten.

Zur Darstellung der Abbildungsgenauigkeit der K-Faktoren, ermittelt aus der KBK, soll auch Abbildung 3.2.2.d im Anhang dienen. Innerhalb des Forschungsverbundes Scheyern (FAM) [18] wurde für mehrere Ackerschläge alle 50 m der Boden nach Vorschrift beprobt, im Labor analysiert und die K-Faktoren anhand der Informationen zu Körnung, Humusgehalt, Steinbedeckung, Durchlässigkeit und Aggregation berechnet. Anschließend wurde auf eine Rasterweite von 12,5 x 12,5 m interpoliert. Damit war ein sehr guter und sehr genauer Datenbestand für ein kleines Untersuchungsgebiet gegeben. Dies konnte nun verglichen werden mit den wesentlich mehr generalisierenden K-Faktoren aus der KBK. Die auftretenden Unterschiede in Abbildung 3.1.2.d waren überraschend gering. Die KBK löste sehr viel kleinräumige Differenzierung auf, damit größere Legendeneinheiten gebildet werden konnten. Durch diese Generalisierung ging auch viel Information verloren. Im Beispiel Scheyern wurden zwar Unterschiede bis zu Faktor 3 im Vergleich der K-Faktoren unterschiedlicher Herkunft gefunden, aber der Überblick, den die K-Faktoren der KBK bieten, ist mit guter Genauigkeit dargestellt.

Der Fortschritt mit Bestimmung der K-Faktoren durch die Arbeitslegende der KBK lag in der deutlich höheren Auflösung der Daten und damit in der besseren Abbildung kleinräumig wechselnder Verhältnisse, z.B. in den Moränengebieten. Der Nachteil war, dass für einige Legendeneinheiten der KBK die K-Faktoren nur sehr ungenau bestimmt werden konnten. Das bedeutete auch, dass die Bestimmung der K-Faktoren mit der KBK auf jeden Fall nicht für den Einzelschlag gültig war, sondern eine strukturierte Übersicht zu einem Gebiet gab. Wie die Karte 3.2.2 darstellt, waren diese Gebietsübersichten wesentlich detaillierter als die Übersichten des Erosionsatlas 1986 und deshalb auch gut für erste Untersuchungen von kleineren Teilgebieten geeignet. Der Großteil der K-Faktoren in Bayern wurde weiterhin vom Erosionsatlas 1986/2001 bestimmt. In der Modellierung wurden im Bereich der KBK nun nicht mehr nur die K-Faktoren der Ackerflächen, sondern jeweils die K-Faktoren aus der Bodenausprägung (unabhängig von der Nutzung) verwendet. Die Übersichtskarte visualisiert im Bereich

der KBK deutlich, wo Regionen mit höheren Anteilen schluffreicher Deckschichten zu finden sind (z.B. Flußtäler, Tertiärhügelland).

Der K-Faktor in der Modellierung ließe sich auf unterschiedlichen Wege noch weiter verbessern. So könnten nach Vorlage der KBK für ganz Bayern die K-Faktoren für das Gesamtgebiet ergänzt werden, was insbesondere die K-Faktoren bei der Nutzung Wein deutlich verbessern sollte, da die dort übertragenen K-Faktoren der Ackernutzung deutlich zu hoch sein dürften. Dazu wäre es aber hilfreich, wenn eine Klassifizierung nach der KA4 Aufnahme in alle Legendeneinheiten der Arbeitslegende der KBK finden würde, damit die K-Faktoren besser und unzweifelhafter bestimmt werden können. Es verbleibt auch zu untersuchen, in welchen Teilgebieten und warum die K-Faktoren der Modellierung deutlich von denen des Erosionsatlas 1986/2001 (also der Reichsbodenschätzung) abweichen. Eine detaillierte Überprüfung der Zuordnung der K-Faktoren zu den Legendeneinheiten wäre eine wichtige Validierung der Modellierung.

Aus den Angaben der Bodenschätzung können eindeutiger K-Faktoren abgeleitet werden (vgl. Tabelle 2 b der DIN 19708 [13]), die Bodenschätzung liegt aber noch nicht in digitaler Form vor. Mit der Digitalisierung der Bodenschätzung hätte man nicht nur ein besseres Werkzeug für die Bestimmung der K-Faktoren, sondern auch eine Datengrundlage für die Auswertung von tolerierbaren Abträgen. Besonders arbeitsintensiv ließen sich die K-Faktoren auch ermitteln aus der Verknüpfung der Digitalen Flurkarte mit den Angaben aus dem Automatisierten Liegenschaftsbuch (ALKIS), wo die Beschriebe der Bodenschätzung aufgeführt sind.

### **3.2.3 S-Faktor (Hangneigungsfaktor)**

Für die Neubewertung des besonders erosionsbedeutenden S-Faktors konnte als Datengrundlage das Digitale Geländemodell DGM 25 für Bayern [106] verwendet werden. Hier handelte es sich um einen landesweiten Datenbestand, der in der Pixelgröße 50m \* 50m oder im 50 m Abstand Höhenwerte (z-Werte) in der Einheit dm mitführt. Ausgehend von dieser Datengrundlage konnte mittels ArcMap/Spatial Analyst die maximale Hangneigung einer Zelle in Grad (oder Prozent) bestimmt werden. Diese Hangneigung bildete die Grundlage für die Berechnung des S-Faktors [16], der nach DIN 19708 [13] wie folgt errechnet wird

$$S = -1,5 + [17 / (1 + e^{2,3-6,1\sin\alpha})]$$

wobei:

$\alpha$  = die Hangneigung in Grad

ist. Für alle Hangneigungen > 60 % wurde der S-Faktor von 60 % zugewiesen, da für sehr große Hangneigungen die ABAG nicht mehr uneingeschränkt gilt. Die Werte für den S-Faktor reichten kontinuierlich von 0,0491 (0 % Hangneigung) bis 10,3683 (60 % Hangneigung). Für die graphische Darstellung in Karte 3.2.3 werden die S-Faktoren in 6 Klassen analog zum Erosionsatlas 1986 eingeteilt, allerdings zeigt diese Darstellung im Gegensatz zum Erosionsatlas die S-Faktoren aller Flächen (und nicht nur der landwirtschaftlichen Nutzflächen) und die mittlere Hangneigung (und nicht eine typische Hangneigung). Die räumliche Verteilung des S-Faktors war wenig verändert, wohl aber wurde ersichtlich, dass die Maxima und Minima zunahmen. Das Histogramm verdeutlicht die Häufigkeit der Werte in den einzelnen Klassen. Zu beachten ist, dass in der Klassifizierung die neu berechneten S-Faktoren verwendet wurden und sich diesbezüglich der Erosionsatlas 1986 unterscheidet.

Der S-Faktor bestimmt das Verhältnis des Abtrags eines Hanges mit beliebiger Neigung zum Standardhang mit 9 % Gefälle. Im Erosionsatlas 1986/2001 konnte nur die typische Hangneigung einer landwirtschaftlichen und einer außerlandwirtschaftlichen Fläche innerhalb des Untersuchungsgebietes anhand der Isohypsendichte bestimmt werden, dementsprechend ergaben sich auch nur typische S-Faktoren. Nun lag eine berechnete, wenn auch maximale Hangneigung der Rasterzelle vor. Unabhängig von der anzutreffenden Nutzung konnte der tatsächliche Wert des S-Faktors für die Rasterzelle mathematisch errechnet werden.

Dieser galt allerdings nur für diese Auflösung, für besonders kleinräumige Betrachtungen müssen feinere Geländemodelle verwendet werden. Ungleichmäßig geformte Hänge konnten nicht berücksichtigt werden, außerdem erkannten die Raster nicht die Beziehungen der Topologie. Auch wenn in der Rastergröße 50 \* 50 m noch etliche Details der tatsächlichen Topologie untergingen, war der Genauigkeitsgewinn im Gegensatz zum Erosionsatlas 1986/2001 offensichtlich. Dies war ein wichtiger Fortschritt durch die Modellierung, da der S-Faktor den größten Einfluß auf die Höhe des errechneten Bodenabtrags hat.

Im Vergleich zeigte der Erosionsatlas 2001 einen Mittelwert der S-Faktoren für typische Flächen innerhalb der Raster von 1,44, während die Modellierung nur noch einen Mittelwert von 1,26 erreichte. Vor allem trat ein Unterschied in den S-Faktoren der Ackerflächen auf. So wies der Erosionsatlas 1986 für die S-Faktoren einen Mittelwert von 1,0, der Erosionsatlas 2001 einen Mittelwert von 1,06 und die Modellierung einen Mittelwert von nur noch 0,65 bei Ackerflächen auf. Dies begründete hauptsächlich den geringeren Mittelwert der Bodenabträge im Vergleich der Modellierung zum Erosionsatlas 1986/2001 (vgl. Kapitel 3.3.2).

Es muß allerdings beachtet werden, dass der Erosionsatlas 1986/2001 die S-Faktoren für typische Ackerflächen bestimmte, während der S-Faktor der Modellierung in jeder Rasterzelle auf Grundlage des DGM25 errechnet wurde. Die folgende Abbildung 3.2.3.a stellt nochmals beispielhaft an einer Rasterzelle die Unterschiede im S-Faktor des Erosionsatlas 1986/2001 zur Modellierung dar.

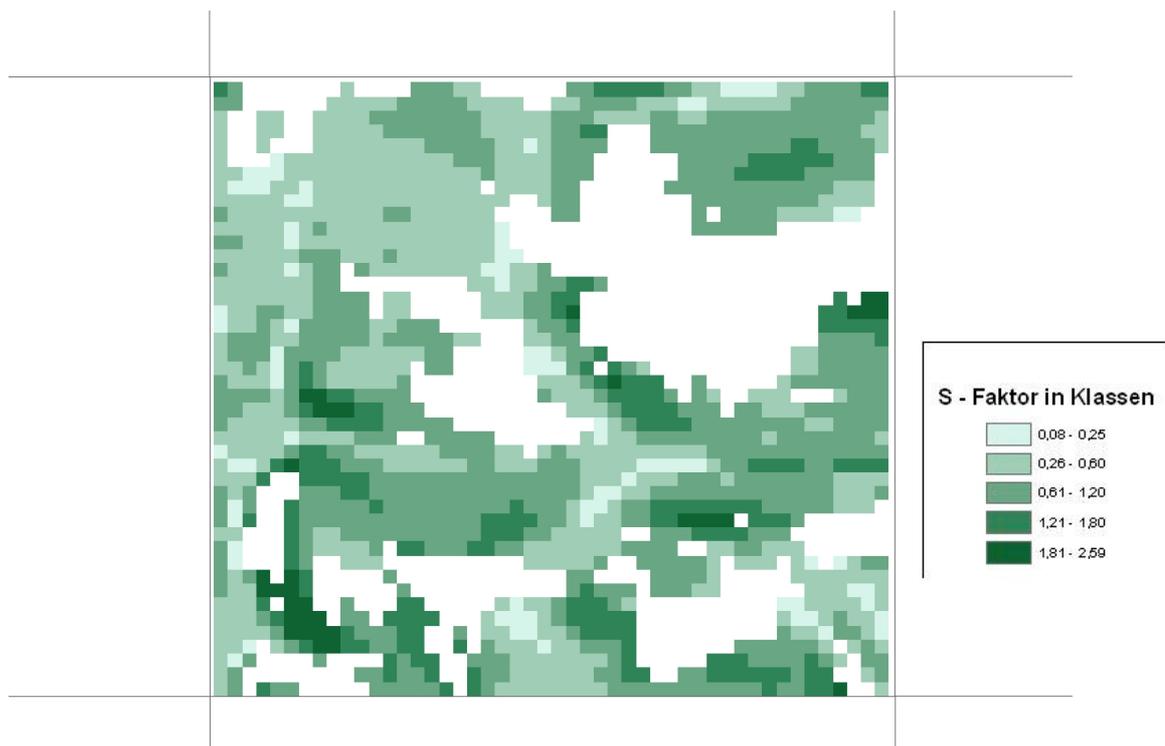


Abbildung 3.2.3.a : S-Faktoren der Ackerflächen in der Rasterzelle ID = 383307 (nördlich Regensburg, Gemeinde Lappersdorf) in der Modellierung.

Für diese Rasterzelle ermittelte der Erosionsatlas 1986/2001 für einen typischen Acker Schlag die Hangneigungsklasse 3,5 mit dem Hangneigungsfaktor 1,61. Die errechneten Hangneigungen für Ackerflächen aus dem DGM 25 zeigten nun ein anderes, wesentlich differenzierteres Bild. Der S-Faktor für Ackerflächen hatte eine Spannweite

von 0,08 bis 2,59, der Mittelwert erreichte nur 0,76. Damit wird deutlich, dass im Erosionsatlas 1986/2001, vor allem bei etwas bewegtem Gelände, der S-Faktor eines typischen Ackerschläges nicht auf die Gesamtheit der Ackerschläge innerhalb der Rasterzelle übertragen werden konnte. Auch wenn in der Rastergröße 50 \* 50 m noch etliche Details der tatsächlichen Topologie untergingen, der Genauigkeitsgewinn im Gegensatz zum Erosionsatlas 1986/2001 war immens. Dies war ein wichtiger Fortschritt, da der S-Faktor den größten Einfluß auf die Höhe des errechneten Bodenabtrags hat.

Zu Verbessern wäre der S-Faktor in seiner Genauigkeit durch Verwendung des DGM 5. Es ist allerdings anzunehmen, dass für die Modellierung der S-Faktor in besserer Qualität abgebildet wird als alle andere Faktoren und somit primär die anderer Faktoren in ihrer Präzision verbessert werden sollten. Das DGM 25 hat kleine Lücken im Datenbestand im Norden und Osten Bayerns, die dort eine gewisse Unschärfe erbringen.

### **3.2.4 L-Faktor (Hanglängenfaktor)**

Zu diesem Faktor konnte keine Neuerung in die Modellierung aufgenommen werden, es wurden im wesentlichen die Daten des Erosionsatlas 1986/2001 [101] fortgeführt. Die Vektordaten des Erosionsatlas 1986/2001 wurden in Rasterdaten konvertiert und je nach Nutzung in der Rasterdatei entweder die L-Faktoren aus dem Erosionsatlas 1986/2001 (Nutzung = Acker, Grünland, Hopfen oder Wein) oder ein L-Faktor von 2 (Nutzung = Wald) vergeben. Alle sonstigen Flächen erhielten keinen Wert (NoData). Die für Ackerflächen ermittelten L-Faktoren wurden also auch für die Nutzungen Wein und Hopfen unterstellt, was in der Realität nicht unbedingt so ausgeprägt sein sollte. Vor allem bei Wein sollten die angenommenen L-Faktoren eher zu groß bemessen sein. Karte 3.1.4 zeigt die Übersicht zum L-Faktor, in der auch die Abhängigkeit des L-Faktors von der Hangneigung zum Ausdruck kommt. In flacheren Gebieten waren die L-Faktoren trotz größerer Hanglängen kleiner als in stärker exponierten Gegenden. Aufgrund der Zuweisung des Faktors 2 für alle Waldflächen ist das Histogramm von diesem Wert dominiert.

Es ist kein zugängliches digitales Datenmaterial bekannt, aus dem die erosionswirksame Hanglänge besser ermittelt werden könnte, da dazu eine Kenntnis zu den Bewirtschaftungseinheiten und -grenzen vonnöten ist. Das Digitale Landschaftsmodell

aus ATKIS war viel zu generalisiert, als dass L-Faktoren daraus abgeleitet werden könnten. Eine gute Annäherung an den L-Faktor ließe sich mit der „Digitalen Feldstückskarte“ der Landwirtschaftsverwaltung realisieren [10], da dort meist auf der Ebene der Bewirtschaftungseinheit unterschieden wird. Ergänzt werden könnten die Daten des Digitalen Höhenmodells, da der L-Faktor auch in Abhängigkeit von der Hangneigung berechnet wird. Eine optimale Bestimmung des L-Faktors ist aber nur durch eine Aufnahme vor Ort, durch intensive Auswertung von Fernerkundungsdaten oder durch Interviews der bewirtschaftenden Landwirte möglich. An dieser Stelle verließ die Modellierung den Pfad zur möglichst genauen Abbildung der Wirklichkeit deutlich und rückte mehr auf die Ebene von beispielhaften Untersuchungen. Deshalb sollte bei detaillierten Erhebungen vor Ort in kleineren Untersuchungsgebieten der L-Faktor besser bestimmt werden.

### **3.2.5 C-Faktor (Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor)**

Das Ausmaß des C-Faktors ist aufgrund der Bindung an den langjährigen Bewuchs mit seinen jeweiligen erosionshemmenden Eigenschaften stark durch die Pflanzen kultivierenden Menschen bedingt und unterscheidet sich deutlich nach der jeweiligen Landnutzung. Ausgangspunkt für die Aufnahme des C-Faktors in die Modellierung bildete die Flächennutzung in Bayern, die auf Grundlage des Basis-Digitalen Landschaftsmodell (DLM25) aus ATKIS [108] und anderer Datengrundlagen entwickelt wurde [107] [105] (vgl. Kapitel 2) Für die Modellierung wurde nun der Vektor-Datenbestand in einen Raster-Datenbestand konvertiert und jeder Rasterzelle eine eindeutige Flächennutzung zugewiesen (Wald, Grünland, Acker, Wein, Hopfen und Sonstige [= Gewässer, Siedlung, Verkehrsflächen etc.]). Auf sonstigen Flächen ist in der Regel kein Bodenabtrag zu beobachten. Die ABAG gilt dort nicht, deswegen wurde diesen Flächen in der Erosionsmodellierung kein C-Faktor (NoData) zugewiesen. Für Flächen, bei denen sich die Nutzung nicht kurzfristig ändert (Wald, Grünland, Dauerkulturen), konnte ein einheitlicher C-Faktor angegeben werden. Bei Dauerkulturen galten die jeweiligen C-Faktoren von 0,49 für Hopfen (Mittelwert aus den unterschiedlichen Hopfenanbauverfahren und ihrem geschätzten Anteil) und 0,31 für Wein (Mittelwert aus offenen und begrüneten Bewirtschaftungsverfahren). Für Waldflächen ergab sich ein standardisierter C-Faktor von 0,004 (ausgehend von den Parametern Bodenbedeckung durch Streu, oberflächliche Durchwurzelung, Bedeckung durch Bäume und Ge-

halt an organischer Substanz), der in gleicher Höhe auch für Grünlandflächen galt [2] [3].

Für Ackerflächen hingegen wären Kenntnisse über die langjährigen Fruchtfolgen und das Flächenmanagement der Einzelschläge nötig gewesen, die aber nicht einheitlich waren und kurzfristigen Änderungen und Differenzierungen unterliegen, die einzelflächen- oder/und betriebsbedingt sind. In absehbarer Zeit werden Informationen zu Fruchtfolgen und zum Flächenmanagement für Einzelflächen auf jeden Fall nicht in verarbeiteter oder in zu verarbeitender Form vorliegen, die für eine entsprechende GIS-Modellierung von Nutzen wären. Die DIN 19708 [13] zeigt nur beispielhafte C-Faktoren auf, die regionalisiert werden können und verweist auf das nachstehende Verfahren [4].

Aus den Anteilen von Mähdruschfrüchten, rasenbildenden Ackerfutter und Mulchsaatflächen in Fruchtartenstatistiken können regionalisierte C-Faktoren bestimmt werden, die einen mittlerer C-Faktor für eine Region darstellen, der von den tatsächlichen C-Faktoren nicht weit abweicht [3]. Für die Ermittlung des C-Faktors für Ackerflächen wurden von der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT Daten zur Fruchtartenstatistik 2002 und 2003 für die einzelnen Gemeinden aus InVeKoS für Bayern bereitgestellt [102]. Zu einer Gemeinde zählten alle landwirtschaftlichen Flächen, für die die in dieser Gemeinde ansässigen Landwirte Mehrfachanträge stellen. Also sind in dieser Zusammenstellung auch Flächen benachbarter Gemeinden enthalten, da Landwirte auch landwirtschaftliche Nutzflächen in Nachbargemeinden bewirtschaften können. Die InVeKoS-Daten zeigen also eine Fruchtartenstatistik des größeren Anteils der Gemeindeflächen unter Einbeziehung einiger landwirtschaftlichen Nutzflächen benachbarter Gemeinden. Für die Erosionsmodellierung wurden die Daten gemeindscharf übernommen. Diese Unschärfe dürfte keine großen Auswirkungen haben, da aufgrund der Verzahnung ein gewisser Ausgleich zwischen den Gemeinden erfolgt und der C-Faktor eher an natürliche Gegebenheiten gebunden ist als an politische Grenzen. Die InVeKoS-Daten repräsentieren ca. 97 % der landwirtschaftliche Nutzflächen Bayerns, da sehr kleine Betriebe keine Mehrfachanträge stellen, was als Unschärfe zu vernachlässigen war (gegenüber anderen Unschärfen). Zur speziellen Verwendung für die Erosionsmodellierung für Bayern wurden in der nachstehenden Formel noch der gemeindespezifische Anteil von Spargel (besonders erosionsbedeutend) und der bayernweite Anteil von Stilllegungsflächen (als Nachwachsende Rohstoffe, Rotations- oder Dauerbrachen) berücksichtigt. Somit errechnete sich der C-Faktor nach :

$$C = \{ [830 - 15,8 * (MD + MS + RA) + 0,082 * (MD + MS + RA)^2] * (1 - 0,03 * RA) + 0,1 * RA - 0,5 * MS + 27 \} / 1000 + 0,4 * 0,0163$$

wobei:

MD = der prozentuale Anteil von Mähdruschfrüchten, inklusive deren Anteile an den Stilllegungsflächen

MS = der prozentuale Anteil von Mulchsaatflächen im Hackfruchtanbau

RA = der prozentuale Anteil von rasenbildenden Ackerfutter, inklusive deren Anteile an den Stilllegungsflächen

ist. Die so ermittelten C-Faktoren für Ackerflächen konnten mit einer Polygon-Shapedatei zu den Gemeinden in Bayern [109] räumlich indexiert und zu einer Rasterdatei umgewandelt werden. Anhand der Datengrundlage zur Flächennutzung (Zuweisung der Flächennutzung nach dem im Mittelpunkt der Rasterzelle anzutreffenden Nutzung) aus dem DLM25 wurden diese Ergebnisse nur bei Ackernutzung weitergeführt. Für Wald und Grünland wurde ein Wert von 0,004, für Hopfen ein Wert von 0,49, für Wein ein Wert von 0,31 und für sonstige Flächen kein Wert (NoData) übernommen.

Das so entstandene Kartenbild in Karte 3.2.5 (im Vergleich zum Erosionsatlas 1986 mit der zusätzlichen Klasse  $\leq 0,004$ ) müßte der Realität entsprechend bei den Ackerflächen fließende Übergänge und ein räumliches Kontinuum mit markanten Unterschieden an natürlichen Grenzen zeigen (z.B. Übertritt vom Dungau in den Vorwald oder Übergang von Tallagen zu den Hochflächen). Dies wurde jedoch durch die Übernahme der Daten aus der Gemeindestatistik verhindert. Die Auflösung nach der Gemeinde als kleinster Einheit blieb ja im Vergleich zum Erosionsatlas von 1986/2001 erhalten, damit lagen nur mittlere und generalisierte C-Faktoren für Ackerflächen vor. Die C-Faktoren konnten jetzt aber dank der ATKIS-Datengrundlage flächenscharf zu den tatsächlichen Nutzungen der Rasterzellen zugewiesen werden, d.h. für jede Rasterzelle gab es nur einen Wert für den C-Faktor. Das bedeutete eine wesentliche Verbesserung im Vergleich zum Erosionsatlas von 1986/2001, da der C-Faktor mit die höchste und wichtigste räumliche Variabilität inne hat. Allerdings waren auch die Daten des Digitalen Landschaftsmodells aus ATKIS nicht auf dem neuesten Stand und konnten somit Fehler in die Modellierung importieren (siehe auch Kapitel 2). So wies das DLM25 z.B. um Ruhpolding viele Ackerflächen auf, die teils im hochalpinen Bereich lagen und eigentlich als Grünland hätten klassifiziert sein müßten. Die später errechneten Boden-

abträge waren dort dann natürlich enorm hoch, was aber nicht der Realität entspricht und einen Fehler darstellt.

Weiter wurden in der Modellierung die Mulchsaat und Stilllegungsflächen besser berücksichtigt. Der Erosionsatlas 1986/2001 zeigte insgesamt einen Mittelwert für die C-Faktoren der Ackerflächen von 0,135, während die Datengrundlage für die Modellierung einen Mittelwert von 0,112 errechnen ließ.

Interessant ist an dieser Stelle auch der Vergleich der C-Faktoren des Jahres 2003 zu denen des Jahres 2001. Grundlage für beide Ermittlungen waren die gemeindebezogenen InVeKoS-Daten [102]. Für die C-Faktoren des Jahres 2003 wurden die tatsächlichen Mulchsaatanteile des Jahres 2001 (ausschließlich die nach KuLaP gemeldeten, also nur ein Teil der gesamten Mulchsaatflächen) in der Gemeinde sowie ein bayernweiter Stilllegungsanteil von 8,52 %, davon 2 % Nachwachsende Rohstoffe (in der Regel Winterraps) und 6,52 Rotations- und Dauerbrachen (im Verhältnis 3 : 1), eingearbeitet. Für das Jahr 2001 wurden die Stilllegungsflächen nicht berücksichtigt (zählen damit zur Hackfruchtfläche) und für die Mulchsaat wurde ein Anteil von 10 % an den Hackfrüchten angenommen. Aufgrund der Aufnahme der Stilllegungsflächen war mit einer Abnahme der C-Faktoren zu rechnen. Die InVeKoS-Daten für 2003 zeigten folgende Änderungen an den Anteilen an der Ackerfläche (AF) gegenüber 2001:

mittlere Änderung der Mähdruschanteile an der AF :	3,0 %
mittlere Änderung d. Anteile rasenbildenden Ackerfutters an der AF :	1,6 %
mittlere Änderung der Anteile von Mais an der AF :	2,1 %
mittlere Änderung der Anteile von Spargel an der AF :	0,06 %
mittlere Änderung des Zwischenfruchtanteils an der AF :	3,2 %

Demzufolge waren keine größeren Änderungen an den C-Faktoren aufgrund der geänderten Datengrundlage zu erwarten, vielmehr werden die Änderungen auf Modifikationen in der Berechnung beruhen.

Ausgewertet konnten nur die Gemeinden (1844) werden, für die tatsächlich bestimmte C-Faktoren vorlagen, d.h. die Gemeinden, wo die errechneten C-Faktoren 2001 größer als 0,02 und kleiner als 0,45 und 2003 größer als 0,01 und kleiner als 0,45 waren. Im Mittel der Daten über diese Gemeinden sanken die C-Faktoren um den Betrag von 0,023 oder um den Faktor 0,84. Den Erwartungen entsprechend waren in 94 % der

Gemeinden die C-Faktoren nun geringer, nur 6 % der Gemeinden zeigten gleiche oder höhere C-Faktoren.

Für die C-Faktoren in der Modellierung wären weitere Verbesserungen wünschenswert. Zuvorderst wird eine Datengrundlage benötigt, die die Flächennutzung in Bayern genau abbildet, damit auch jeder Zelle der richtige C-Faktor zugewiesen werden kann, da ansonsten bedeutende Fehler entstehen können (da sich die einzelnen C-Faktoren der Nutzungen deutlich unterscheiden). Die Fehler in einer falschen Nutzungszuweisung einer Zelle dürften, zusammen mit dem nur annähernd geschätzten L-Faktor, die größten Limitierungen der Modellierung sein. Die mittleren Unterschiede von einer Rasterzelle zur nächsten Rasterzelle sind für die einzelnen Faktorenwerte beim C-Faktor am größten, deshalb sollte sich zu diesem Faktor auch eine größtmögliche Genauigkeit einstellen, die mit dem momentanen Datenmaterial (DLM25) nicht zu erreichen ist. Da sich die Verhältnisse von Ackerland und Grünland nicht mehr besonders ändern werden, wäre eine einmalige Aufnahme der tatsächlichen Gegebenheiten ausreichend. Hierzu bietet sich wiederum die „Digitale Feldstückskarte“ der Landwirtschaftsverwaltung an [10], wo gerade aufgrund der EU-Agrarreform 2005 mit der Zuweisung von Acker- oder Grünlandzertifikaten an die landwirtschaftlichen Nutzflächen alle nötigen Daten bereits vorliegen, um die tatsächliche Flächennutzung mit einer größtmöglichen Genauigkeit bestimmen zu können.

Eine höhere Auflösung der InVeKoS-Daten von der Gemeindeebene nach z.B. der Gemarkung oder noch kleinerer Einheiten würde den C-Faktor der Ackerflächen noch verbessern. Ebenso wäre es günstiger, wenn die Flächen ihre eigene geographische Lage und nicht die geographische Lage des bewirtschafteten Landwirts in die Klassifizierung einbringen würden. Auch wäre es wünschenswert, wenn Stilllegungen nach ihrem tatsächlichem Anteil in der Gemeinde berücksichtigt werden könnten und das richtige Verhältnis von Rotations- zu Dauerbrachen gefunden wird. Weiter kann die Einarbeitung des tatsächlichen Anteils der Mulchsaatflächen nach Interpolation aus den nach KuLaP gemeldeten Mulchsaatflächen die Modellierung präzisieren. Eine zusätzliche Unschärfe der Modellierung besteht darin, dass viel rasenbildende Ackerfutter nicht in Rotation auf den gesamten Betriebsackerflächen stehen, sondern flächentreu und eigentlich Grünland sind. Diese senken nun die C-Faktoren der Ackerflächen, obwohl sie richtigerweise als Grünland einzustufen sind. Die richtige Klassifikation der Flächen würde zu insgesamt höheren C-Faktoren führen, da rotierendes Ackerfutter auf vielen Flächen die C-Faktoren senkt, während Grünland den Wert für eine Fläche nahe gleich Null setzt. In speziellen Untersuchungen in Hopfenanbaugebieten oder

Weinregionen sollte die in der Modellierung verwendeten C-Faktoren nochmals überprüft und gegebenenfalls vor Ort neu ermittelt werden, da hier eine größere Generalisierung vorgenommen wurde.

### **3.2.6 P-Faktor (Querbearbeitung)**

Auch zu diesem Faktor konnte keine Neuerung in die Modellierung aufgenommen werden, es wurden die einheitlichen Daten des Erosionsatlas von 2001 [101] fortgeführt. Bei Ackernutzung wurde ein P-Faktor von 0,85 angenommen, was einen Mittelwert aus den im kleinem Maßstab errechneten P-Faktoren für verschiedene Gebiete darstellt, bei allen anderen Nutzungen (Hopfen, Wein, Grünland, Wald) ein P-Faktor von 1, nicht land- oder forstwirtschaftlich genutzte Flächen erhielten keinen Wert (NoData). Karte 3.2.6 gibt einen Überblick zum Ergebnis.

Die Ermittlung, ob Ackerflächen tatsächlich quer zum Hang bearbeitet werden, kann nur per Interview oder Ortsaufnahme geklärt werden. Das bedeutet, dass die Modellierung nun für ganz Bayern einheitliche Erosionsschutzmaßnahmen [1] annahm, wobei zu beachten ist, dass einzelflächenbezogen Landwirte sehr wohl weitere Anstrengungen zum Erosionsschutz unternehmen könnten. Die dadurch entstehende Unschärfe in der Modellierung war nicht groß, da die Konturnutzung nur bei bestimmten Ereignissen und bestimmten Standortverhältnissen von Bedeutung ist und zum Tragen kommt.

## **3.3 Bestimmung der natürlichen Erosionsdisposition und des geschätzten, mittleren langjährigen Bodenabtrags**

Mittels geeigneter GIS-Software konnten nun die in Rasterdaten gefaßten 6 Faktoren in nahezu beliebiger Weise verrechnet werden. So konnte beispielsweise die natürlich Erosionsdisposition oder der mittlere, jährliche Bodenabtrag durch Multiplikation ermittelt werden. Wie in der Erläuterung der Einzelfaktoren aber deutlich wurde, sind die Ergebnisse als Schätzungen zu verstehen, denen gewisse Annahmen zu Grunde liegen. Damit war ein Übertrag auf den individuellen Einzelschlag und ein Vergleich mit den dortigen tatsächlichen Bodenabträgen nicht möglich, gleichwohl sich die Ergebnisse in einem Regionsüberblick nicht stark unterscheiden sollten.

### 3.3.1 Natürliche Erosionsdisposition ( $R \cdot K \cdot S$ )

Anhand der 3 Faktoren R (Regenerosität), K ( Bodenerodierbarkeit) und S (Hangneigungsfaktor), die aus kaum variablen und somit langfristig stabilen natürlichen Standortbedingungen abgeleitet werden, war es möglich, eine potentielle Erosionsdisposition in t/ha/a zu ermitteln, die beschrieb, wie erosionsgefährdet Gebiete aufgrund ihrer natürlichen Standortbedingungen sind. Der Einfluß sich kurzfristig änderbarer Faktoren der ABAG wie Details der Flächenbewirtschaftung bei Ackerflächen oder die erosive Hanglänge durch Änderung des Flächenzuschnittes wurden ausgeblendet. Allerdings zeigten die absoluten Werte die nicht richtige Annahme der dauerhaften Schwarzbrache, da sich ja die Vegetation ohne Eingriff weiterentwickeln würde. In einer vertiefenden Untersuchung der natürlichen Erosionsdisposition sollte die Art der Flächennutzung, also ob es sich um einen Acker-, Grünland- oder Waldstandort handelt, berücksichtigt werden. Hot-Spot-Analysen erbringen anderenfalls nur die steilen Flächen, die normalerweise mit Wald bestockt sind und deutlich weniger Bodenabtrag erwarten lassen als Schwarzbracheflächen.

Im Kartenbild bei Karte 3.3.1 zeigt sich der dominierende Einfluß der Hangneigung auf die natürliche Erosionsdisposition. In Gebieten mit geringer Geländeneigung stellten sich auch weniger hohe Erosionsabträge dar. Die beiden Faktoren R und K konnten den Einfluß des Faktors S nicht überdecken. Die 3 Faktoren zeigten häufig eine gleichgerichtete Wirkung, das heißt es war eher selten, dass z.B. hohe S-Faktoren durch niedrige K- oder R-Faktoren in ihrer Wirkung gemindert wurden. Vielmehr war öfters festzustellen, dass hohe S-Faktoren auch mit höheren K- oder R- Faktoren vergesellschaftet waren. In den Gebieten, wo der K-Faktor anhand der digitalen Konzeptbodenkarten ermittelt wurde, errechnete sich eine wesentlich detailliertere Differenzierung in der Erosionsdisposition. Die Modellierung zeigte im Mittel eine deutlich höhere Erosionsdisposition (Erosionsatlas 1986 = 22 t/ha/a, Erosionsmodellierung = 35 t/ha/a) , wobei dies hauptsächlich in der Änderung der Bezugsfläche begründet war.

### 3.3.2 Mittlerer langjähriger Bodenabtrag ( $R \cdot K \cdot S \cdot L \cdot C \cdot P$ )

Bei der Multiplikation aller Einflußgrößen auf die ABAG, also aller 6 Faktoren, erbrachte die Modellierung als Produkt den geschätzten, mittleren langjährigen Bodenabtrag durch Regen in der Einheit Tonnen pro Hektar und Jahr oder die Menge des Bodens, die umgelagert wird. Andere Erosionsprozesse wurden nicht berücksichtigt.

Da für nicht land- oder forstwirtschaftlich genutzte Flächen für die Faktoren L, C und P kein Wert zugewiesen wurden, ist dort auch kein mittlerer Bodenabtrag berechnet worden. In der Übersichtskarte 3.2.2 zeigt sich nicht überraschend ein dem Erosionsatlas 1986 sehr ähnliches Bild, wenn auch die Anteile der Abträge  $\leq 1,0$  t/ha/a sehr deutlich angewachsen waren. Wiederum wurde deutlich, dass die Hangneigung einen entscheidenden Einfluß hatte, dass aber auch die Art der Flächennutzung das Maß an Bodenabtrag wesentlich mitbestimmte. Bei überwiegender Ackernutzung zeigten sich hohe Abträge, bei überwiegender Grünland oder Waldnutzung zeigten sich nur geringe Bodenabträge. Der große Einfluß der Standortfaktoren blieb aber erkennbar. In den Flußtäälern war mit wenig Bodenabtrag zu rechnen, während in Gebieten mit bewegtem Relief oder größeren Hackfruchtanteilen höhere Abträge anzutreffen waren.

Als Ergebnis ergaben sich in der Modellierung im Mittel im Vergleich zum Erosionsatlas 1986/2001 ein geringeres Ausmaß an Erosion (Mittelwerte von 1,61 in der Modellierung, 2,2 im Erosionsatlas 1986 bzw. 2,7 im Erosionsatlas 2001), wobei beachtet werden muß, daß sich die Bezugsfläche geändert hat. Das bedeutete also nicht, dass die Erosionsproblematik in Bayern entschärft worden wäre, es zeigte sich eben nur ein Mittelwert für die Bodenabträge der möglichst realen Flächen in Bayern im Gegensatz zu typischen Flächen innerhalb eines Gebietes. Die Änderung der Bezugsfläche ist unbedingt in eine Interpretation des Vergleichs der Karten einzubeziehen, denn die übernommene Symbolisierung verleitet zu einer vereinfachten Interpretation.

Bemerkenswert war, dass sich die mittleren Abträge bei Ackerflächen nun mit 3,28 t/ha/a deutlich geringer darstellen als im Erosionsatlas 1986/2001, wo noch mindestens doppelt so hohe Werte aufgeführt waren [5]. Die Ursache hierfür lag im wesentlichen in den in der Modellierung deutlich geringeren S-Faktoren der Ackerflächen. Dagegen waren die mittleren Abträge bei der Nutzung Hopfen mit 21,86 t/ha/a in der Modellierung nur unwesentlich höher. Für die Nutzung Wein trat ein Sonderfall ein, da der Übertrag der L-Faktoren der umgebenden Ackerflächen zusammen mit den K-Faktoren aus der KBK, die wenig auf die spezielle Situation im Weinbau einging (z.B. bei Berücksichtigung des Steinanteils), auf den Weinlagen zu sehr hohen (und nicht realistischen) mittleren Abträgen führte, die mit 33,5 t/ha/a gut dreimal so hoch waren wie im Erosionsatlas 2001.

### 3.4 Fehlerabschätzung in der Modellierung

Der Schätzung des mittleren Bodenabtrags durch Regen lag gutes Datenmaterial im Bereich der Faktoren R, S und teilweise im Bereich des Faktors K zugrunde, während hingegen für die Faktoren L und P stark vereinfachende Annahmen getroffen werden mußten und die Datengrundlage für den Faktor C nicht zufriedenstellend war. Die Vereinfachungen führten dazu, dass ein Übertrag der Ergebnisse auf den individuellen Einzelschlag und dessen Beurteilung nicht möglich war. Am Einzelschlag konnten aufgrund einer nicht korrekten Faktorzuweisung erhebliche Fehler auftreten. Jedoch erbrachte die Modellierung eine nicht verfälschte, aber vereinfachte Darstellung und Abschätzung des Bodenabtragsrisikos eines (Einzugs-) Gebietes, die als Grundlage für die Identifizierung von Problemgebieten und zur Erarbeitung von Maßnahmen zur Problemlösung genutzt werden kann. Die GIS-basierte Erosionsmodellierung konnte in Grundlagenkarten besonders erosionsgefährdete Gebiete identifizieren, in denen sich die Umsetzung von vor Ort entwickelten Einzelmaßnahmen zum Erosionsschutz in einer deutlichen Minderung der Stoffabträge lohnen sollte. Auf der Grundlage der Modellierung mit ihrem momentanen digitalen Datenmaterial sollten allerdings keine verbindlichen Anordnungen oder Bestimmungen zum Erosionsschutz für die einzelnen Bewirtschaftungsflächen erlassen werden, da der tatsächliche Bodenabtrag auf dem Einzelschlag von dem empirisch ermittelten in der Erosionsmodellierung deutlich abweichen kann, da einige Parameter nur grob abgeleitet werden konnten und die gewählte Auflösung wesentlich unschärfer als die eines Einzelschlages war. In den „Hot Spots“ sollte eine Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse vorgenommen und eventuell einige Parameter (L-Faktor, Flächennutzung) in höherer Auflösung für diese Gebiete neu ermittelt werden.

Insbesondere für den Faktor S, aber auch für die Faktoren R und K sind die möglichen Fehler im Vergleich zum Erosionsatlas 1986/2001 reduziert (wobei für den Faktor K eine alte Fehlerquelle durch eine neue ersetzt wird) worden. Die Faktoren L und P gingen mit der gleichen Fehlerabschätzung wie im Erosionsatlas in die Modellierung. Für den Faktor C tritt eine besondere Situation ein. Dadurch, dass einer Zelle nur noch eine Nutzung zugesprochen wurde und die C-Faktoren für unterschiedliche Nutzungen hohe Unterschiede aufweisen, konnte bei falscher Klassifizierung der Nutzung (z.B. Acker statt Grünland, Hopfen statt Acker etc.) ein großer Fehler in der Berechnung des mittleren, jährlichen Abtrags entstehen. Eine falsche Klassifizierung war aufgrund der Mängel des Digitalen Landschaftsmodells nach ATKIS durchaus möglich, gleichwohl die Fehlerwahrscheinlichkeit schwierig einzuschätzen ist. Der C-Faktor war damit der

am meisten limitierende Faktor an der Güte der Modellierung. Betrachtete man allerdings eine aggregierte Region und nicht ein einzelne Zelle, so zeigte die Modellierung ein genaueres Bild als der Erosionsatlas1986/2001, weil die Nutzung insgesamt mit einer wesentlich höheren Genauigkeit erfaßt wurde. Im Erosionsatlas wurden ja der deutlich größeren Rasterzelle Anteile der verschiedenen Nutzungen nach Augenschein und Gemeindestatistik zugeteilt. Dadurch, dass der Rasterzelle keine eindeutige Nutzung zugewiesen wurde, wirkten sich diesbezügliche Fehler nicht so heftig aus wie in der Modellierung. In der einzelnen Zelle der Modellierung konnte der Fehler durch eine falsche Klassifizierung der Nutzung im Bodenabtrag also sehr groß sein, jedoch wird dieser Fehler bei Betrachtung eines gesamten Gebietes wenig ins Gewicht fallen. Dennoch führten die Fehler häufig dazu, dass extrem hohe Bodenabträge errechnet wurden (falsche Zuweisung von Acker statt Grünland in Gebieten mit hoher Erosionsdisposition, zum Beispiel im Alpenraum). So erscheint es sinnvoll, bei Gebietsaggregationen die maximale Höhe der Bodenabträge auf ein bereinigtes Maß von beispielsweise 50 t/ha/a zu begrenzen oder Raster mit besonders hohen Abträgen hinsichtlich ihrer Flächennutzung genau zu überprüfen.

Die Abträge der Nutzung Wein wurden in der Modellierung nur schlecht abgebildet, da L-Faktoren der umgebenden Ackerflächen übertragen und zu hohe K-Faktoren aus der KBK zugewiesen wurden, was die mittleren Abträge deutlich überschätzen ließ. Hier zeigte der Erosionsatlas 2001 eine viel bessere und genauere Abbildung, die allerdings auf die Modellierung kaum übertragen werden konnte.

Für eine tatsächliche Überprüfung der Ergebnisse der Modellierung müßten nun zahlreiche 20-jährige Meßstellen eingerichtet werden, da die ABAG den mittleren Bodenabtrag für eben diesen Zeitraum bestimmt. Dem errechneten Bodenabtrag aus der Modellierung kann dann der gemessene Bodenabtrag der Meßstellen gegenübergestellt werden.

Als vorläufiges Beispiel zur Validierung der Güte der Modellierung kann hier aber die Untersuchung des Tattenbachtals im Lkr. Pfarrkirchen herangezogen werden (vgl. Abbildung 3.4.a im Anhang). Das Untersuchungsgebiet wurde innerhalb des ILUP-Projektes mittels aufwendiger Geländearbeit sehr detailliert auf die ABAG-Faktoren hin untersucht. Anhand dieser Faktoren wurde von der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT unter Verwendung des Verfahrens **dABAG** (Aufnahme von Topologiebeziehungen) eine sehr kleinräumige Zusammenstellung der mittleren jährlichen Bodenabträge erarbeitet. Die Gegenüberstellung in Abb. 3.4.a zeigt die vielen Gemein-

samkeiten und die wenigen Unterschiede der Ergebnisse der kleinräumigen, arbeitsintensiven Erosionsprognose nach dABAG und der Vorhersage des mittleren Bodenabtrags durch die Modellierung. Dabei wird deutlich, dass die Modellierung eine gute und auch in vielen Fällen ausreichende Grundlage für die Bewertung des Bodenabtragsrisikos bot, die einige aufwendige Geländearbeiten in Zukunft entfallen lassen könnte. Im Detail ergaben sich natürlich Unterschiede, was aufgrund der bayernweiten Annahmen in der Modellierung nicht anders zu erwarten war. Allerdings gaben diese recht geringen Unterschiede nicht Anlaß, das Ergebnis der Modellierung als verfälscht zu betrachten.

### **3.5      Schlußfolgerungen und weitere Anwendungsmöglichkeiten der Modellierung**

Die primären Ziele der Modellierung (Vgl. Kapitel 3, Seite 21):

- I) die Berechnung der mittleren Bodenabträge in Bayern präziser und detaillierter als mit dem Erosionsatlas 1986/2001 durchzuführen
- II) über eine bessere Abgrenzung die besonders erosionsanfälligen Gebiete für die gezielte Maßnahmenumsetzung zu identifizieren (Hot Spot Analyse)

wurden erreicht, wenn auch die Ergebnisse in Teilen einer Plausibilitätsprüfung unterzogen werden müssen. Damit erhielt man eine bessere Grundlage für eine konkrete Maßnahmenplanung (z.B. Maßnahmenpläne im Rahmen der WRRL) und es erscheint plausibel, dass die Modellierung für die Einschätzung der Gewässerbelastung durch diffuse Stoffeinträge in Teilen besonders aufwendige, detaillierte Aufnahmen vor Ort ersetzen kann. Es wäre wünschenswert, den errechneten langjährigen, mittleren Bodenabträgen die von der Bodenart abhängigen tolerierbaren Abträge in gleicher Rasterauflösung gegenüberstellen zu können.

Die besondere Stärke der Erosionsmodellierung lag auch darin, dass mit gezielten Änderungen an einzelnen Faktoren unterschiedliche Szenarien untersucht werden können. Dies entsprach dem Ziel

- III) die Auswirkungen von umzusetzenden Maßnahmen in Modellstudien zu überprüfen und darzustellen („Was wäre, wenn ...“),

was besonders in Zusammenhang mit der Umsetzung der WRRL wichtig ist. Exemplarisch konnte nun gezeigt werden, wie sich das Ausmaß an Bodenabtrag verringern ließe, wenn Hackfrüchte ausschließlich im Mulchsaatverfahren angebaut werden und welche maximalen Hanglängen unter dieser Voraussetzung zugelassen werden können, um den Bodenabtrag nicht über beispielsweise 5 t/ha/a steigen zu lassen. Für eine weitere Minderung des Erosionsrisikos ließe sich beispielsweise auch im Modell der Anteil von Grünland oder Wald gegenüber der Ackerfläche erhöhen (Änderung im C-Faktor). Ebenso könnten mehr einzelflächenbezogene Erosionsschutzmaßnahmen bei der Bewirtschaftung der Ackerflächen unternommen (Änderung im P-Faktor) oder die erosive Hanglänge gemindert werden (Änderung im L-Faktor) [1]. Damit sind Maßnahmenpläne hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf Bodenabtrag und Stoffaustrag bewertbar [5].

Die Modellierung des Bodenabtrags bot weitere Möglichkeiten, die für das Ziel

- IV) verschiedene Regionen wie z.B. Gewässereinzugsgebiete hinsichtlich Erosionspotential und Stoffaustragsmengen vergleichen zu können

wichtig waren. Neben der Höhe der Bodenabträge der Einzelzellen waren auch durch Gebietsaggregationen weitere Ableitungen von besonderem Interesse bei einer umsetzungsorientierten Anwendung. Mittels der Erstellung von zonalen Statistiken können beliebige Räume (z.B. Einzugsgebiete oder Gemeinde) hinsichtlich ihrer erosionsbedeutenden Standorteigenschaften oder ihres Bodenabtrags in einem einheitlichen Modell ausgewertet und verglichen werden.

In einem weiteren Schritt konnten die Ergebnisse der Erosionsmodellierung für Untersuchungen zur Gewässergüte von Oberflächengewässern, insbesondere der Phosphatbelastung, weiterverwendet werden [5]. Dazu wurden ähnlich wie die C-Faktoren die P-Gesamt-Gehalte für jede Gemeinde Bayerns bestimmt [103] [109]. Aufgrund von festgelegten Verpflichtungen der Landwirte zu Bodenbeprobungen liegen Untersuchungsergebnisse für die Gehalte an sog. CAL-extrahierbarem Phosphat von Landwirten in jeder Gemeinde Bayerns für Acker und Grünland vor. Aufgrund des Wohnsitzes eines Landwirts wurden die Ergebnisse einer Gemeinde zugeordnet, die Stichprobenanzahl je Gemeinde war meist ausreichend. Für jede Gemeinde wurde ein Mittelwert an CAL-extrahierbarem Phosphat aus den Jahren 1997 bis 2001 für Acker und Grünland gebildet. Vom Gehalt an CAL-extrahierbarem Phosphaten konnte auf den P-

Gesamt-Gehalt im Oberboden rückgeschlossen werden. Für Waldflächen wurden einheitliche P-Gesamt-Gehalte angenommen [3].

Der erosionsbedingte, partikuläre Phosphortransport in einem Einzugsgebiet konnte mit folgender Gleichung ermittelt werden [3]:

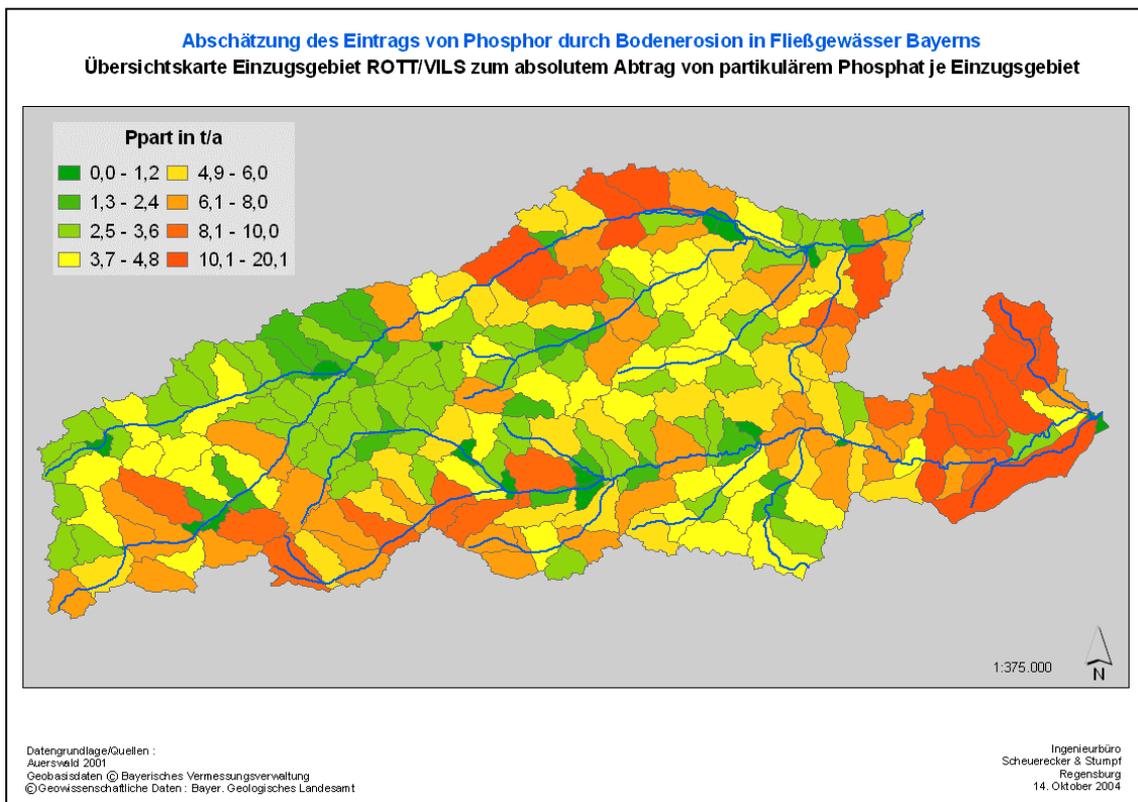
$$P_{\text{part}} = \sum (\text{Abträge } A \times \text{P-Gehalt } P_t \times \text{Anreicherung } eER) \\ \times \text{Sedimentanlieferung } SDR \times \text{Anreicherung } sER$$

wobei eER von der Höhe des Abtrags und SDR sowie sER von der Größe des Einzugsgebietes abhängig sind. Alle diese benötigten Daten lagen als Datenbestand beim BAYERISCHEN LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT vor [111]. Somit konnte eine Prognose oder eine Annäherung für den P-Austrag, der ja auch der P-Eintrag in das Fließgewässer ist, dargestellt werden. Auf diesem Wege konnten Einzugsgebiete unterschiedlicher Größe hinsichtlich ihres Einflusses auf die Gewässergüte und ihres Beitrags zur diffusen Stoffbelastung untersucht werden. Da die Topologie weder in der Erosionsmodellierung noch in der Näherung zum partikulärem Phosphataustrag berücksichtigt werden konnte, ist nicht ableitbar, welche Einzelflächen für den Phosphataustrag besonders bedeutend und wo auch Nährstoffsenken in der Landschaft zu suchen waren.

Als Vorarbeit wurde die Anreicherung eER in Abhängigkeit der Höhe des Abtrags für die Raster errechnet, die land- oder forstwirtschaftlich genutzt werden. Für jede genutzte Rasterzelle wurde anschließend das Produkt von Abtrag, P-Gesamt-Gehalt und Anreicherung eER gebildet. Jede Rasterzelle konnte einem bestimmten Einzugsgebiet zugeordnet werden. Zu jedem der Einzugsgebiete, die durch eine bestimmte Fläche repräsentiert wurden, wurde die Summe der vorher errechneten Produkte gebildet. Damit wurden anhand von Rasterdaten Attribute in einem Vektordatensatz festgelegt. Für jedes der Einzugsgebiete wurde anschließend der weitere Rechenweg beschriftet, also weiter multipliziert mit den Faktoren SDR und sER, die vorher für jedes Einzugsgebiet in Abhängigkeit von der Größe des Einzugsgebietes berechnet wurden. Als Resultat zeigen sich die Abträge an Phosphat in t/a, die ein Einzugsgebiet mit den Oberflächengewässern verlassen (Karte 3.5.1).

Dabei war zu beachten, dass mit zunehmender Größe des Einzugsgebietes auch die absoluten Phosphatabträge anstiegen. Für die Vergleichbarkeit der Einzugsgebiete kann es sinnvoll sein, dies in Relation zur Größe des Einzugsgebietes zu setzen. An-

hand dieser Ergebnisse ließen sich Einzugsgebiete erkennen, die für die diffuse Stoffbelastung der Oberflächengewässer eine gesteigerte Bedeutung haben und wo am ehesten mit der Umsetzung von Maßnahmen zur Minderung der Bodenabträge begonnen werden sollte. Andere Gebiete wiesen geringere mittlere P-Austräge auf und waren deshalb in dieser Hinsicht weniger kritisch zu beurteilen. Eine Validierung der errechneten Einträge am Gewässer war aber aktuell aufgrund des Fehlens langjähriger Messungen kaum möglich.



Karte 3.5.1: Beispielskarte zu partikulären Phosphatabträgen

## 4. Literaturverzeichnis

- [1] AID (Hrsg.) (1994): „1108 – Erosionsschäden vermeiden“
- [2] Auerswald, K. und Schmidt F. (1986): „Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern (Erosionsatlas)“; Geologisches Landesamt München
- [3] Auerswald, K. (2002): Erosionsbedingte Stoffverlagerung und Gewässerbelastung in Bayern, Prognoseberechnungen im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, unveröffentlicht
- [4] Auerswald, K. (2002) : Schätzung des C – Faktors aus Fruchtartenstatistiken für Ackerflächen in Gebieten mit subkontinentalen bis subatlantischen Klima nördlich der Alpen. Landnutzung und Landentwicklung 43; 269 – 273.
- [5] Auth, S.; Forstner, S.; Rintelen, P.-M.; Halama, M. und Auerswald, K. (2005): Nährstoffbelastung der Gewässer durch die Landwirtschaft: (10. Februar 2005)
- [6] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004): Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Bayern - Basisinformationen
- [7] Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2004): Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Bayern – Bestandsaufnahme und Grundlagen
- [8] Bayerisches Geologisches Landesamt : KBK25 Kartierlegende04\_04\_2003, Anhang zu den digitalen Konzeptbodenkarten
- [9] Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten: Agrarbericht 2002 und 2004: [http://www.stmlf.bayern.de/agrarpolitik/daten\\_fakten/](http://www.stmlf.bayern.de/agrarpolitik/daten_fakten/) (25. Januar 2005)
- [10] Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten/ Bayerisches Staatsministerium der Finanzen (Hrsg.) (2004): Digitale Feldstückskarte Bayern
- [11] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (2002): Basis-DLM25 (Ebenen)
- [12] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie/ Geodatenzentrum: Datenblatt Digitales Landschaftsmodell: [http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz\\_home1.gdz\\_home\\_start?gdz\\_home\\_para1=Produktsteckbriefe&gdz\\_home\\_para2=Produktsteckbriefe&gdz\\_home\\_menu\\_nr=13&gdz\\_home\\_menu\\_nr2=1&gdz\\_home\\_para3=/auftrag/html/gdz\\_produktd\\_deu.htm&gdz\\_home\\_spr=deu&gdz\\_home\\_para-0=0](http://www.geodatenzentrum.de/geodaten/gdz_home1.gdz_home_start?gdz_home_para1=Produktsteckbriefe&gdz_home_para2=Produktsteckbriefe&gdz_home_menu_nr=13&gdz_home_menu_nr2=1&gdz_home_para3=/auftrag/html/gdz_produktd_deu.htm&gdz_home_spr=deu&gdz_home_para-0=0); (24. Juli 2004)
- [13] Deutsches Institut für Normung DIN (2003): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser, DIN 19708; Entwurf November 2003
- [14] Deutscher Wetterdienst: REGNIE Methode: [http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/-Hydrometeorologie/a\\_href\\_pages/regnie\\_methode.htm](http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/-Hydrometeorologie/a_href_pages/regnie_methode.htm) (25. Januar 2005)
- [15] Geologischer Dienst NRW (2000): Karten der Erosions- und Verschlammungsgefährdung

- [16] Nearing, M.A. (1997): A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss. Soil Sci. Soc. Am. J., 61: 917-919.
- [17] Schwertmann, U.; Vogl, W. und Kainz, M. (1987): Bodenerosion durch Wasser; Ulmer
- [18] Technische Universität München Weihenstephan: Forschungsverbund FAM : <http://fam.weihenstephan.de> (18. September 2004)

## 5. Verzeichnis der digitalen Daten

- [101] Auerswald, K.: „Atlas\_2001.xls“
- [102] Auerswald, K.: „C-Faktor.xls“ und „C-2003.xls“
- [103] Auerswald, K.: „P-Gehalte.xls“, „P-Abtrag.xls“, „P-Hopfen.xls“
- [104] Bay. Landesamt für Wasserwirtschaft München : „r\_faktoren (.shp/.shx/.dbf)“
- [105] Bayerische Landesanstalt für Weinbau Veitshöchheim : „rebflächen-franken (.shp/.shx/.dbf)“
- [106] Geobasisdaten © Bayerischen Vermessungsverwaltung : „DGM 25“
- [107] Geobasisdaten © Bayerischen Vermessungsverwaltung : „TK 25“
- [108] Geobasisdaten © Bayerischen Vermessungsverwaltung : „ATKIS DLM 25“
- [109] Geobasisdaten © Bayerischen Vermessungsverwaltung : „Verwaltungsgrenzen“
- [110] Geowissenschaftliche Daten : © Bayerisches Geologisches Landesamt : „Konzeptbodenkarten 7926, 7934, 7942“
- [111] Informationssystem Wasserwirtschaft der bayer. Wasserwirtschaftsverwaltung : „ezg-rott-vils (.shp/.shx/.sbn/.sbn/.dbf)“

## 6. Kartenverzeichnis

Karte 2.2.2.b	Übersichtskarte zum langjährigen mittleren Bodenabtrag des Erosionsatlas 2001 (modifiziert) .....	54
Karte 2.2.2.c	Übersichtskarte zum langjährigen mittleren Bodenabtrag nach Neuberechnung anhand der Nutzungsanteile des DLM25 .....	55
Karte 3.2.1	Übersichtskarte der Regen – Erosivität .....	56
Karte 3.2.2	Übersichtskarte der Bodenerodibilität.....	57
Karte 3.2.3	Übersichtskarte des Hangneigungseinflusses .....	58
Karte 3.2.4	Übersichtskarte des Hanglängeneinflusses .....	59
Karte 3.2.5	Übersichtskarte des Bedeckungs- und Bewirtschaftungseinflusses .....	60
Karte 3.2.6	Übersichtskarte des Schutzmaßnahmeneinflusses.....	61
Karte 3.3.1	Übersichtskarte der natürlichen Erosionsdisposition (R*K*S) .....	62
Karte 3.3.2	Übersichtskarte zum mittleren jährlichen Bodenabtrag (R*K*S*L*C*P) .....	63
Karte 3.5.1:	Beispielskarte zu partikulären Phosphatabträgen.....	46

## 7. **Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

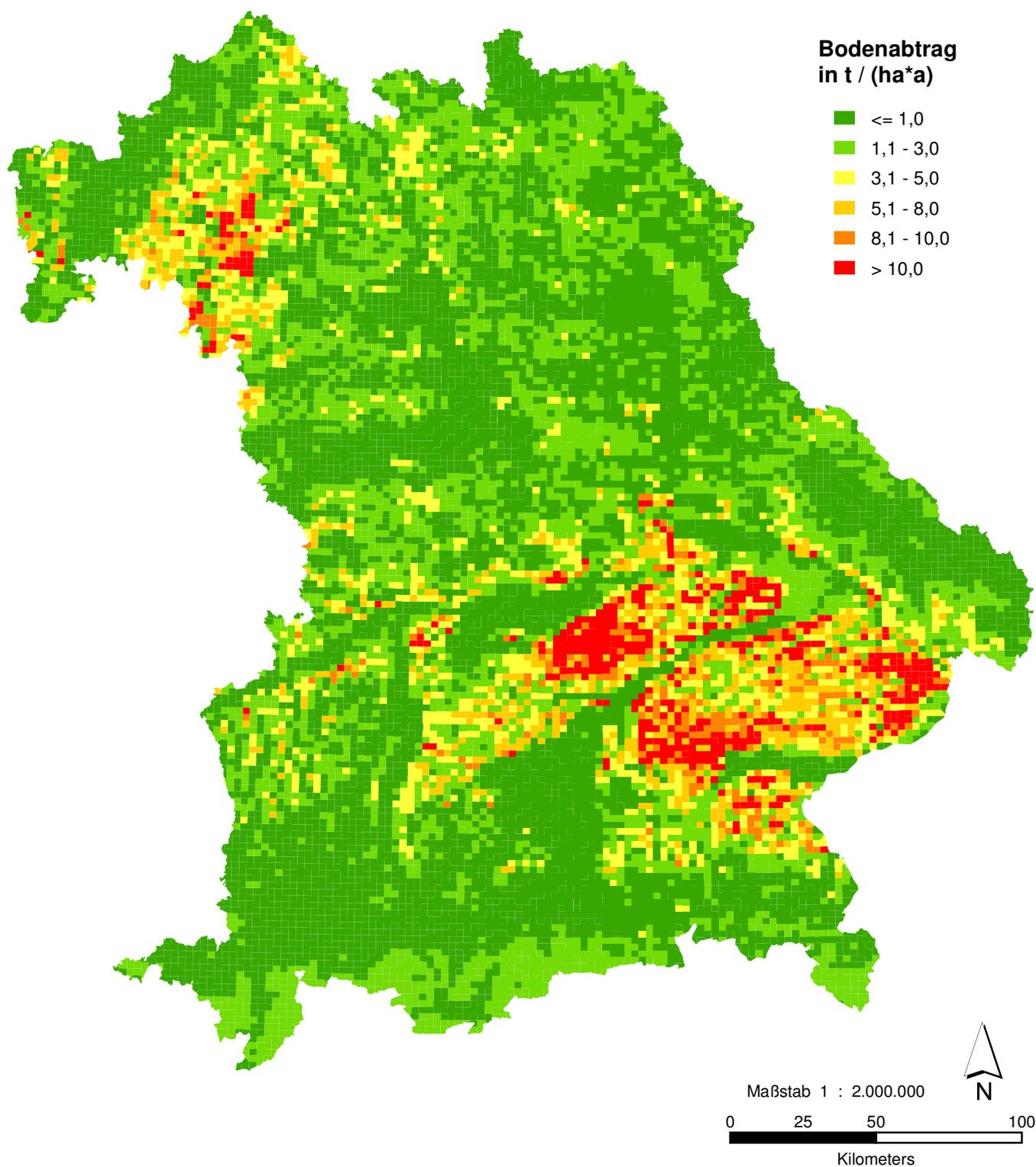
Abbildung 2.a : Schema zur Präzisierung des Erosionsatlas 1986/2001 .....	3
Abbildung 2.1.2.a : Arbeitsschritte zur Neubestimmung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen des Erosionsatlas.....	8
Tabelle 2.1.2.a : ausgegebene Nutzungsarten im Basis-DLM25 aus ATKIS [10] .....	9
Tabelle 2.2.1.a : Unterschiede der neu ermittelten Anteile der Flächennutzungen nach dem DLM25 im Vergleich zu den im Erosionsatlas 2001 verwendeten Anteilen .....	13
Tabelle 2.2.1.b : Unter- bzw. Überschätzung des Waldanteils des Erosionsatlas 2001 gegenüber dem Waldanteil des DLM 25.....	14
Tabelle 2.2.2.a: Vergleich der errechneten Bodenabträge nach Erosionsatlas 2001 und der Neuberechnung anhand der Nutzungsanteile aus dem DLM25 .....	16
Tabelle 2.3.a: Gegenüberstellung der Datengrundlage zur Neuermittlung der Nutzungsanteile an den Rasterzellen und der Statistiken aus den Agrarberichten verschiedener Jahre [9].....	18
Abbildung 3.1.a: Ablaufschema der GIS-basierten Erosionsmodellierung.....	22
Tabelle 3.2.2.a: beispielhafter Auszug aus der Arbeitslegende der KBK.....	64
Tabelle 3.2.2.b : K – Faktoren für die Legendeneinheiten der KBK.....	65
Abbildung 3.2.2.c : Vergleich der K – Faktoren von Ackerflächen aus dem Erosionsatlas 1986/2001 (oben) und der K – Faktoren der Modellierung (unten) .....	27
Abbildung 3.2.2.d : Detaillierungsgrenzen der K – Faktoren aus den Konzeptbodenkarten .....	69
Abbildung 3.2.3.a : S – Faktoren der Ackerflächen in der Rasterzelle ID = 383307 (nördlich Regensburg, Gemeinde Lappersdorf) in der Modellierung .....	31
Abbildung 3.4.a : Vergleich der Erosionsberechnung der LfL und der Modellierung im Tattenbachtal/ Lkr. Pfarrkirchen. Hier: Vergleich des Verhältnisses der tatsächlichen Abträge zum tolerierbaren Abtrag .....	70

## 8. Abkürzungsverzeichnis:

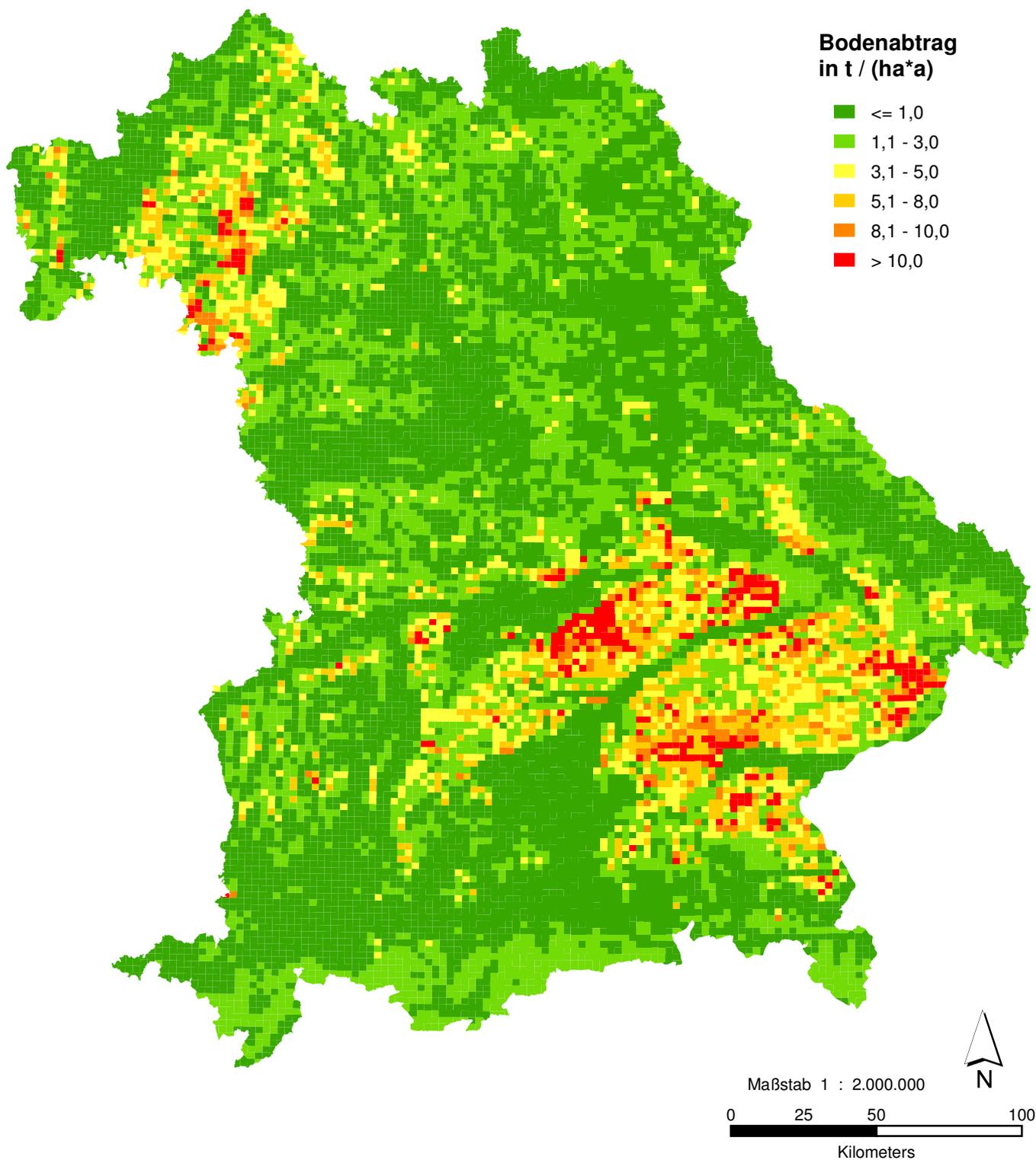
ABAG	=	Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
AF	=	Ackerfläche
ALKIS	=	Automatisiertes Liegenschaftsbuch
ATKIS	=	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
CAL	=	Calciumacetatlaktatlösung
dABAG	=	differenzierte Allgemeine Bodenabtragungsgleichung
DGM25	=	Digitales Höhenmodell ( 50 m Abstand)
DLM25	=	Digitales Landschaftsmodell 1 : 25.000
GIS	=	Geographisches Informations System
InVeKoS	=	Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem
KBK	=	Konzeptbodenkarten
KuLaP	=	Bayerisches Kulturlandschaftsprogramm
LN	=	Landwirtschaftliche Nutzfläche
TK25	=	Topographische Karten 1 : 25.000
WRRL	=	Wasserrahmenrichtlinie

## 9. Anhang

**GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern**  
**Karte 2.2.3.b : Übersichtskarte zum langjährigen mittleren**  
**Bodenabtrag des Erosionsatlas 2001 (modifiziert)**

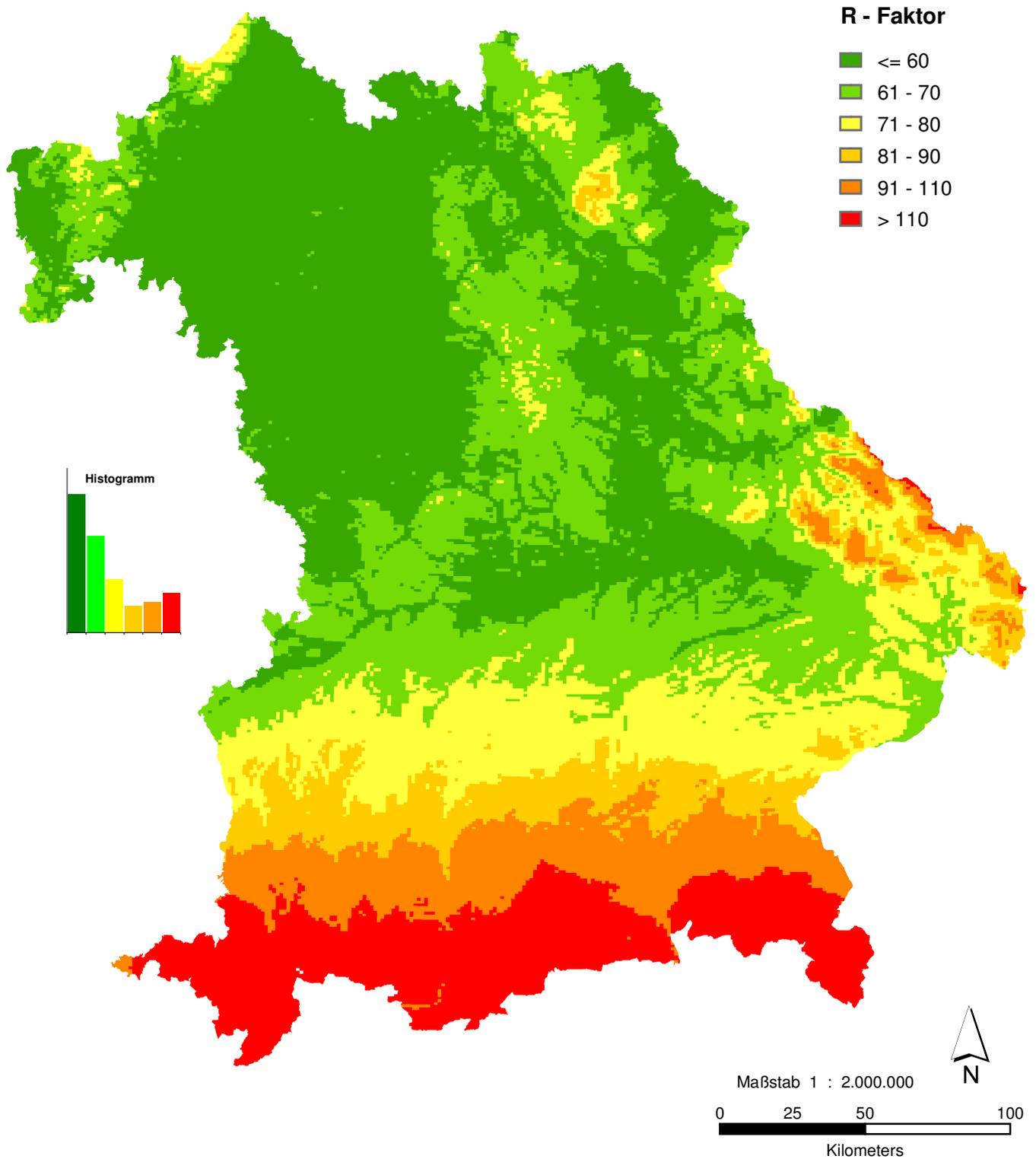


**GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern**  
**Karte 2.2.3.c : Übersichtskarte zum langjährigen, mittleren Bodenabtrag**  
**nach Neuberechnung anhand der Nutzungsanteile des DLM25**



# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.1 : Übersichtskarte der Regen - Erosivität

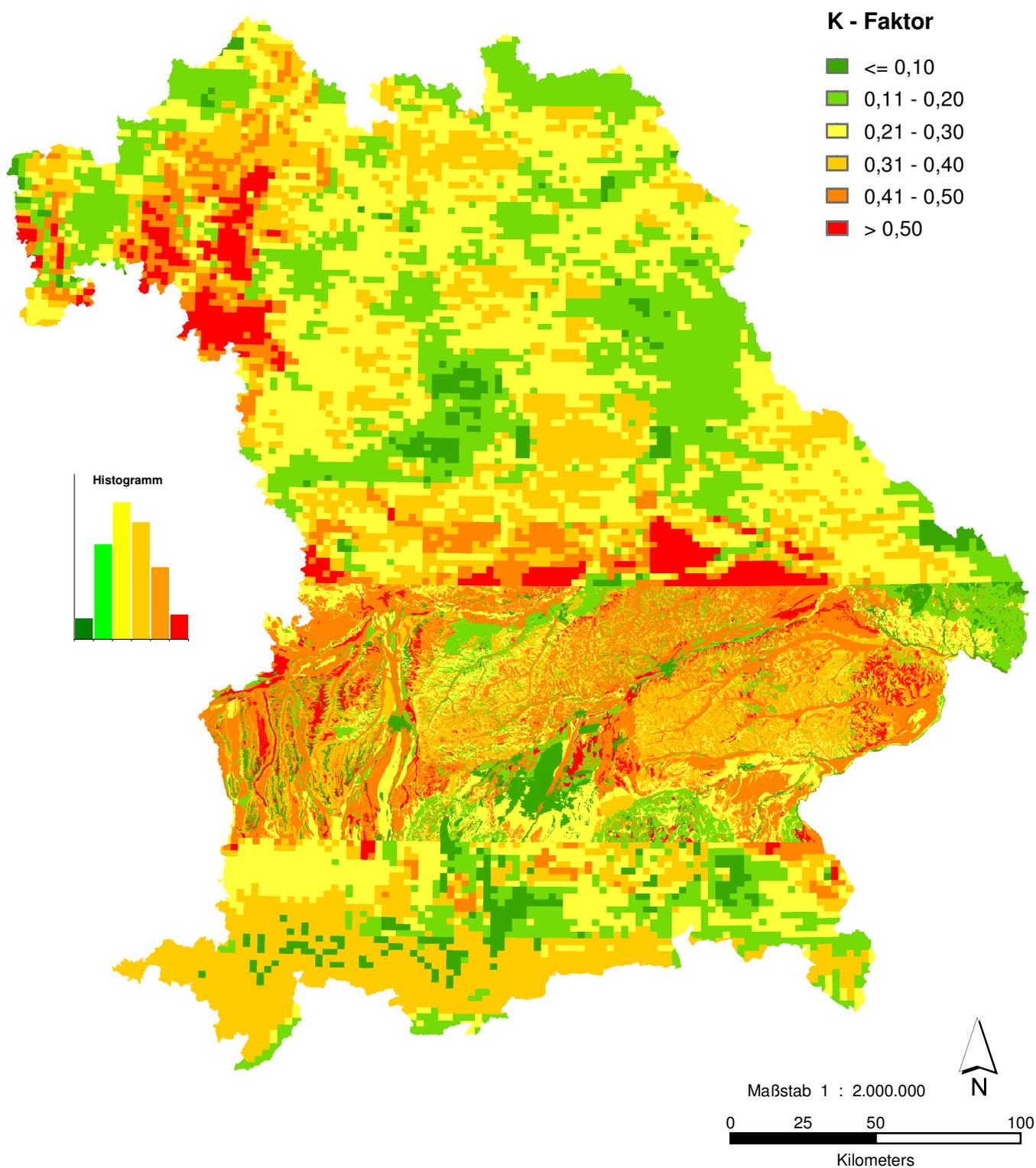


Datengrundlage/Quellen :  
Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung  
Landesamt für Wasserwirtschaft, München

Bearbeitung und Kartographie:  
F. Stumpf (u1022)

# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.2 : Übersichtskarte der Bodenerodibilität

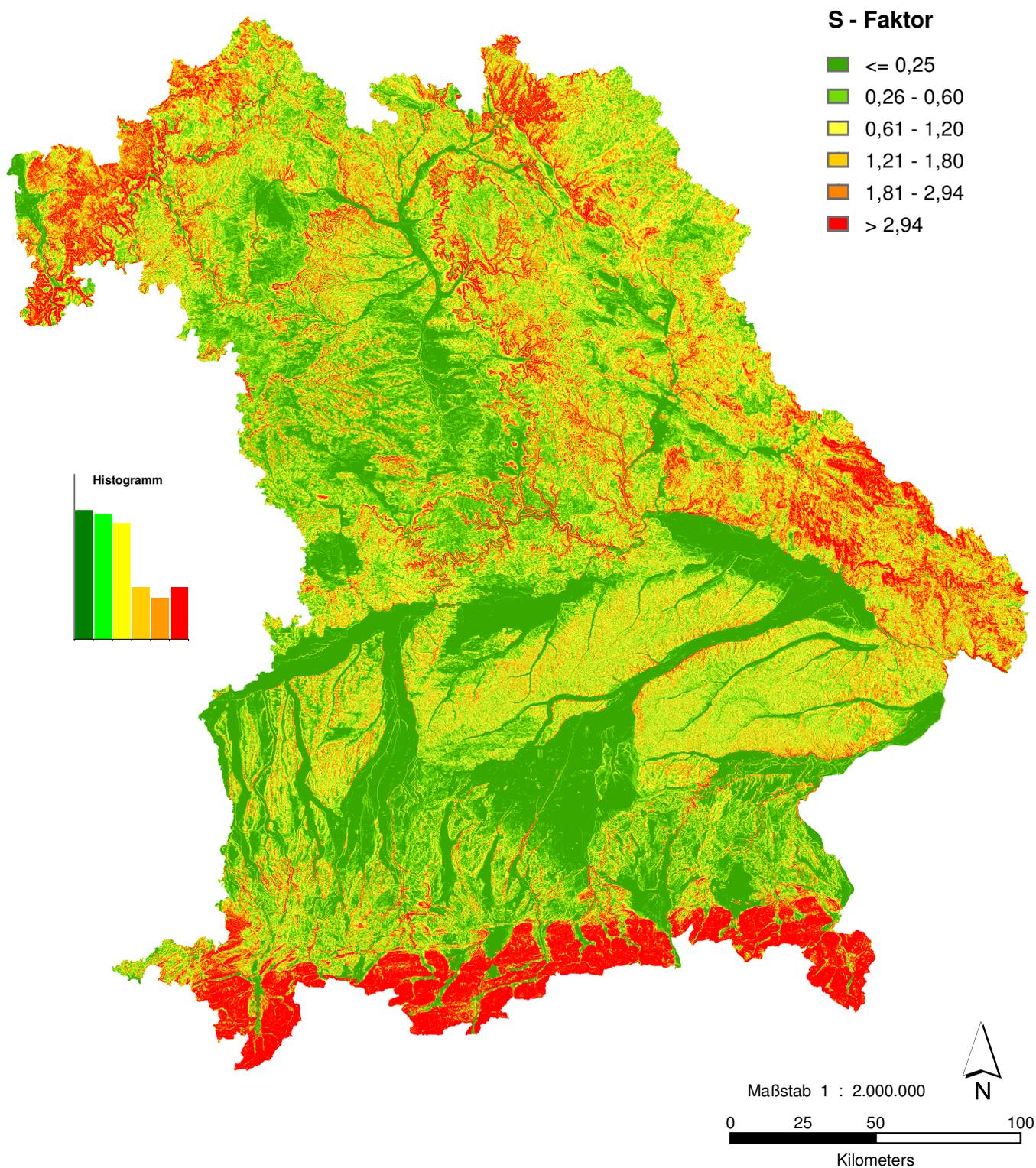


Datengrundlage/Quellen :  
Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung  
Geowissenschaftliche Daten © Bayer. Geologisches Landesamt  
Atlas\_2001.xls (Auerswald 2001)

Bearbeitung und Kartographie:  
F. Stumpf (u1022)

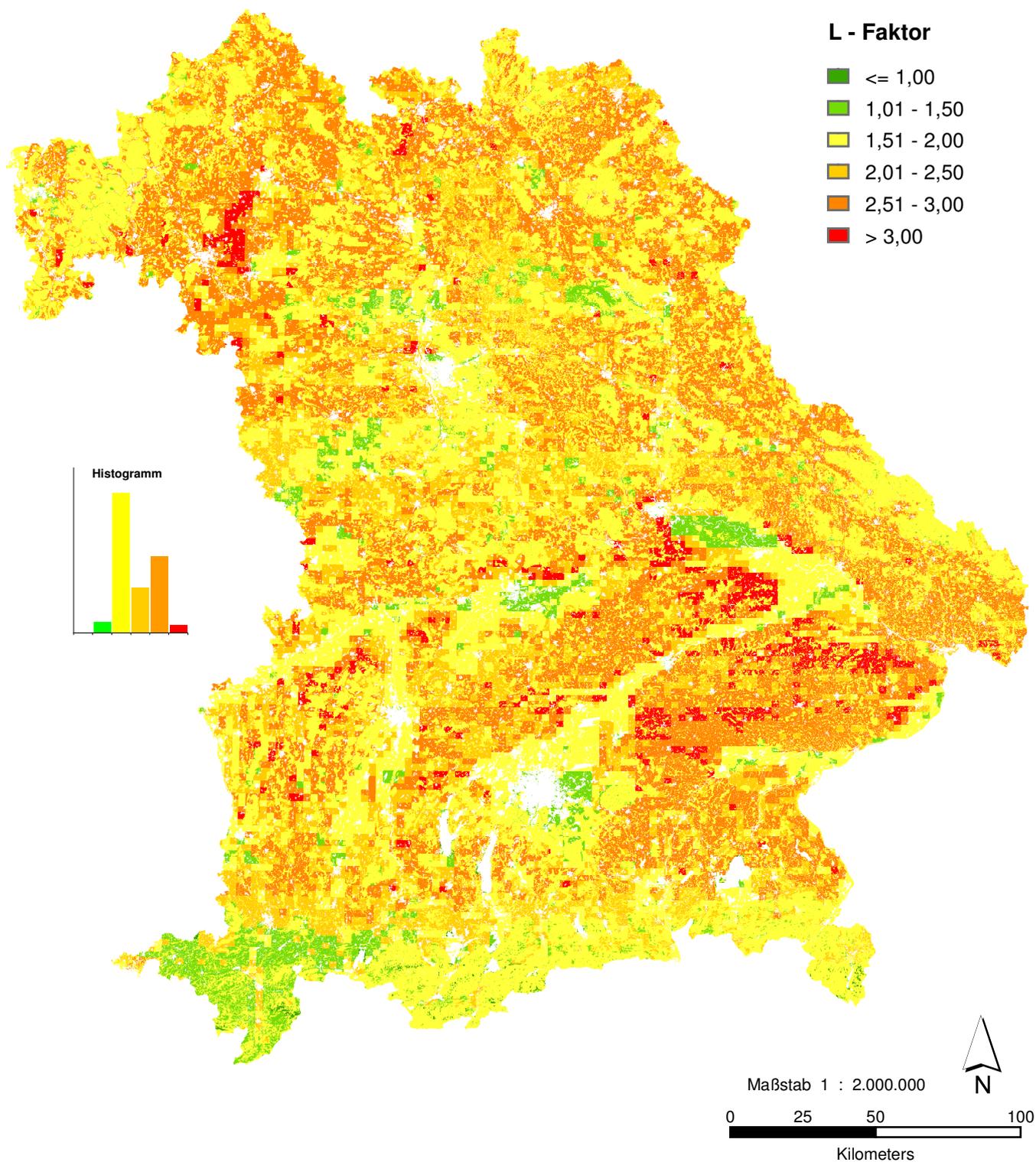
# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.3 : Übersichtskarte des Hangneigungseinflusses



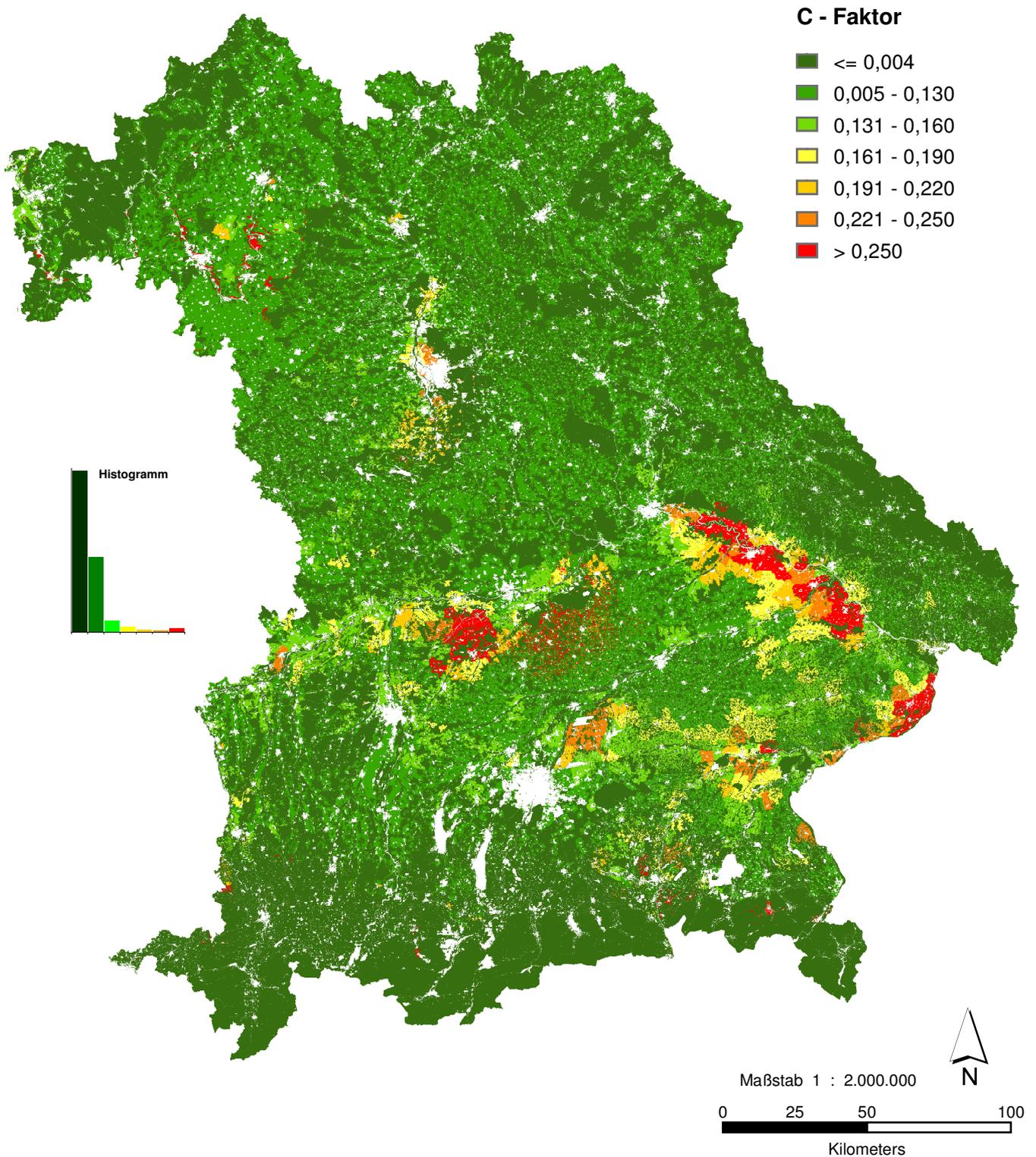
# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.4 : Übersichtskarte des Hanglängeneinflußes



# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.5 : Übersichtskarte des Bedeckungs- und Bewirtschaftungseinflusses

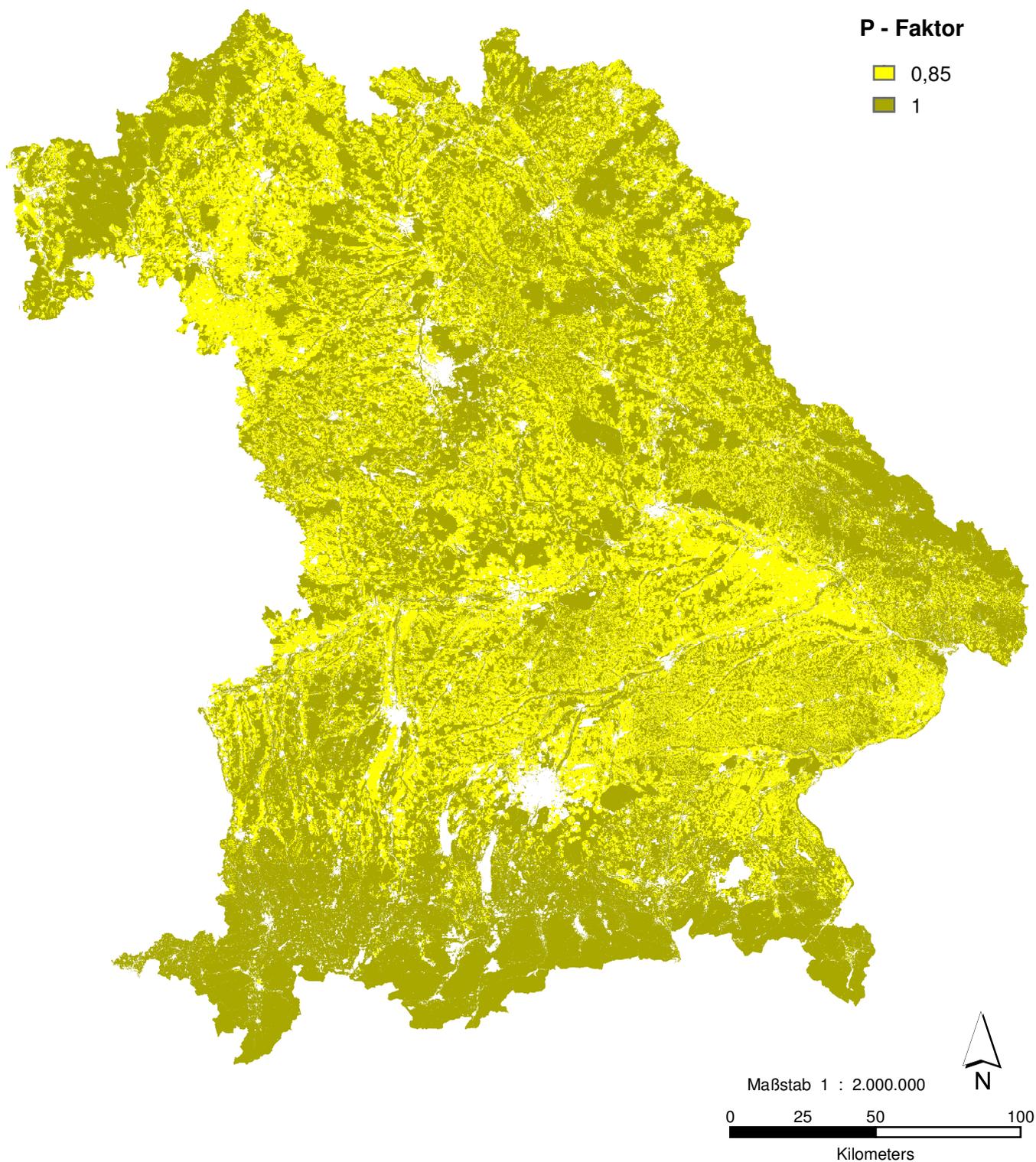


Datengrundlage/Quellen :  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung  
 C-2003.xls (Auerswald 2004)

Bearbeitung und Kartographie:  
 F. Stumpf (u1022)

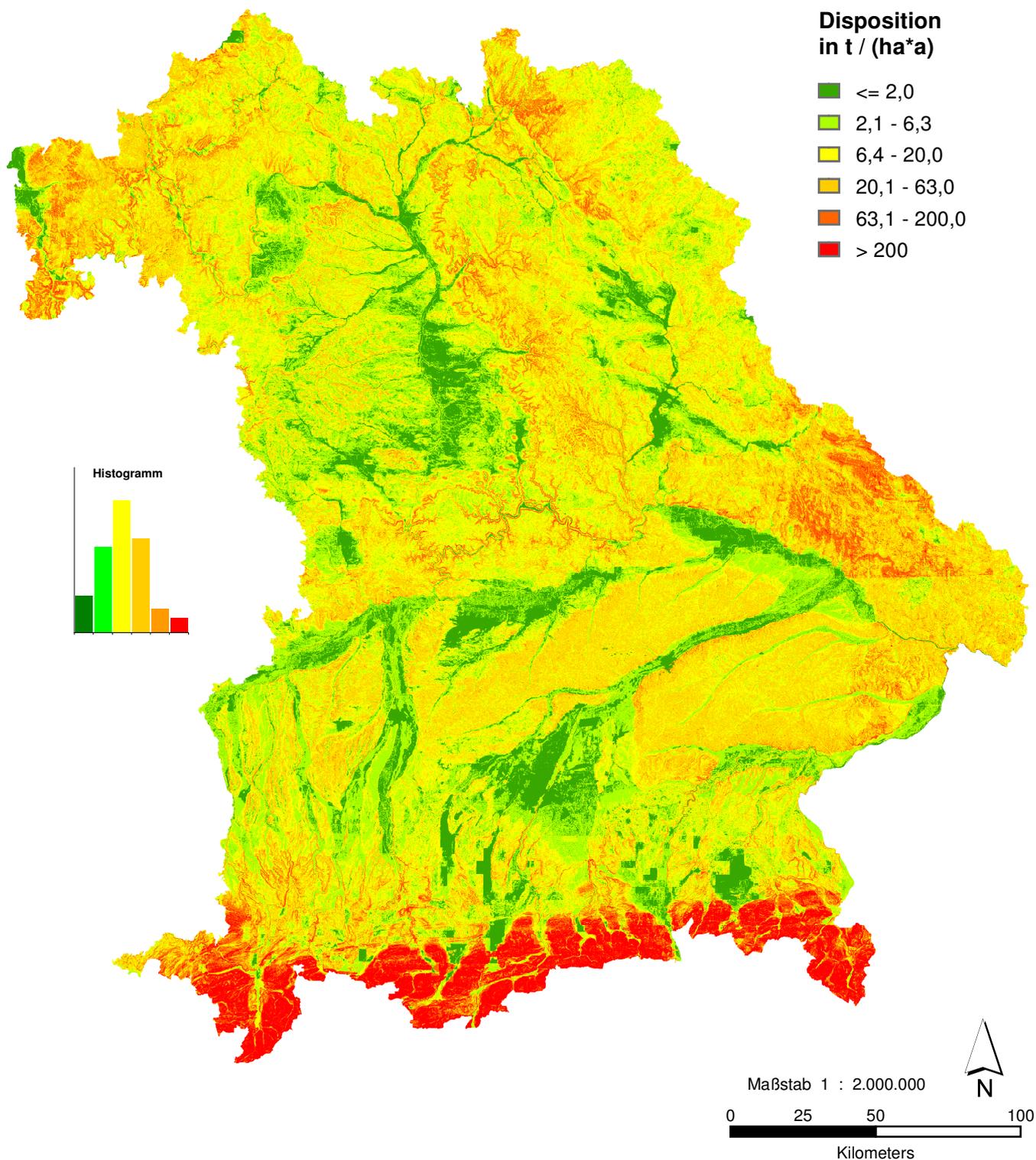
# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

## Karte 3.1.6 : Übersichtskarte des Schutzmaßnahmeneinflußes



# GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern

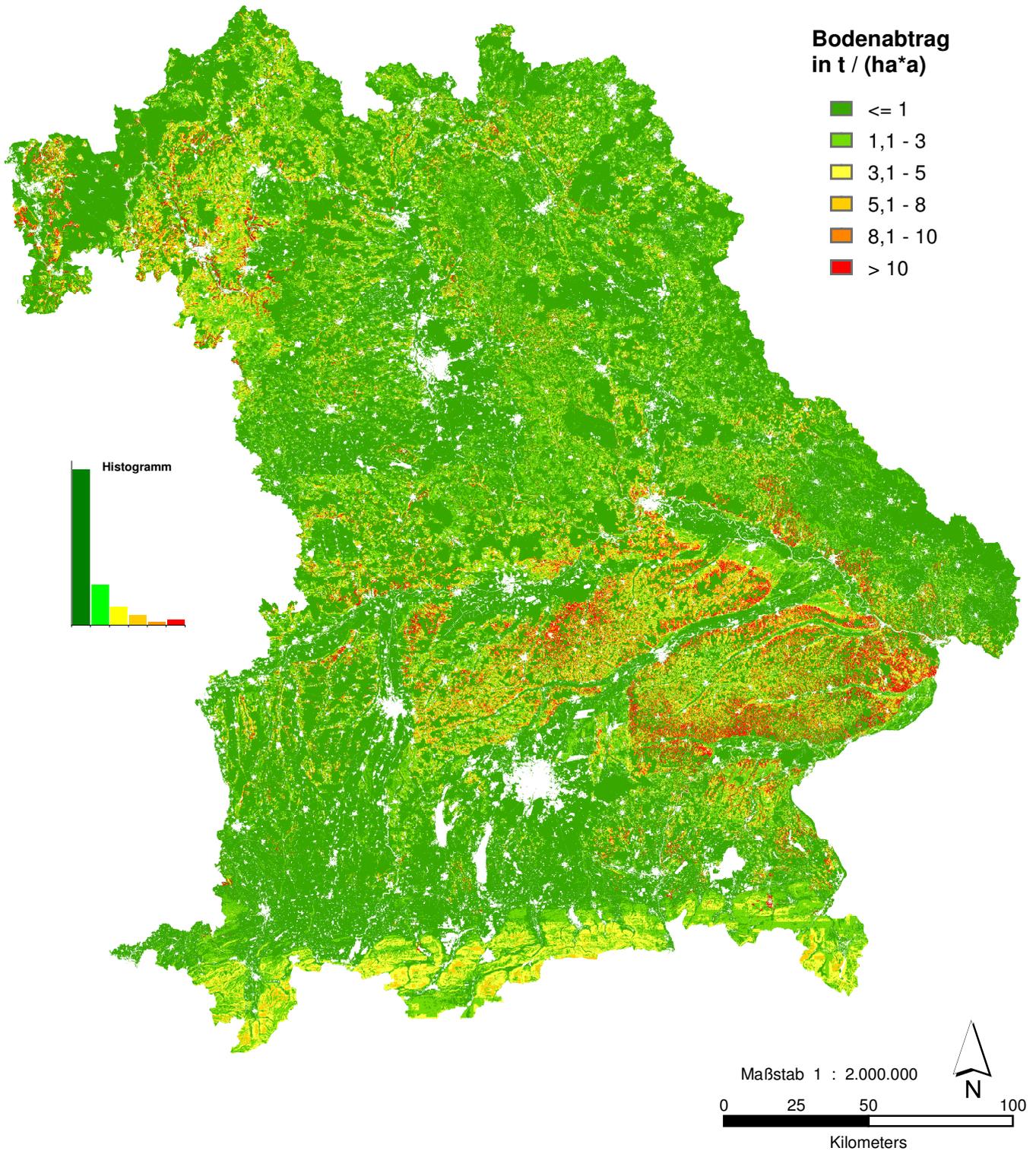
## Karte 3.2.1 : Übersichtskarte der natürlichen Erosionsdisposition (R \* K \* S)



Datengrundlage/Quellen :  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung  
 Geowissenschaftliche Daten © Bayer. Geologisches Landesamt  
 Landesamt für Wasserwirtschaft, München  
 Atlas\_2001.xls (Auerswald 2001)  
 C-2003.xls (Auerswald 2004)

Bearbeitung und Kartographie:  
 F. Stumpf (u1022)

**GIS - basierte Bodenabtragsmodellierung für Bayern**  
**Karte 3.2.2 : Übersichtskarte zum mittleren jährlichen Bodenabtrag ( $R * K * S * L * C * P$ )**



Datengrundlage/Quellen :  
 Geobasisdaten © Bayerische Vermessungsverwaltung  
 Geowissenschaftliche Daten © Bayer. Geologisches Landesamt  
 Landesamt für Wasserwirtschaft, München  
 Atlas\_2001.xls (Auerswald 2001)  
 C-2003.xls (Auerswald 2004)

Bearbeitung und Kartographie:  
 F. Stumpf (u1022)

Tabelle 3.2.2.a: beispielhafter Auszug aus der Arbeitslegende der KBK

Südbayern* (Abgrenzung siehe Karte)				
⇒ Böden aus Flugsand 1a-c, 16a				
<p><b>1a</b></p> <p><b>Status</b></p> <p><input type="checkbox"/> vorläufig</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> konsolidiert</p>	<p>Braunerde unter Wald meist podsolig aus Flugsand</p> <p>⇒ <b><u>Eingeschlossene Böden:</u></b> Podsol-Braunerde</p> <p>⇒ <b><u>Kurzbeschreibung:</u></b> sehr leichter, tiefgründiger Sandboden</p> <p>⇒ <b><u>charakteristische Bodenart:</u></b> <b>umgangssprachlich:</b> sandige Sande <b>KA4:</b> -</p> <p>⇒ <b><u>Hydromorphie:</u></b> -</p> <p>⇒ <b><u>Bemerkungen:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• nicht weizenfähig</li> <li>• ehemals 1a Süd</li> </ul> <p>⇒ <b><u>Reliefposition; Verbreitung:</u></b> auf Sanddünen und flachwelligen Riedeln</p> <p>⇒ <b><u>Nutzung, Vegetation</u></b> -</p> <p>⇒ <b><u>Referenzen:</u></b> DHBT 1, 2, 3, 10</p>	<p><b><i>BBn</i></b></p> <p><b><i>pBBn</i></b></p> <p><b><i>PP-BB</i></b></p>	<p>p-as,</p> <p>a-s</p> <p>p-as/a-s</p>	<p>18.01.</p> <p>2001</p>

Tabelle 3.2.2.b : K – Faktoren für die Legendeneinheiten der KBK

Legenden-nummer	Informationen aus der Arbeitslegende der KBK			K-Faktor
	Kurzbeschreibung	umgangssprachlich	KA4	
1,1	leichter, tiefgründiger Sandboden	sandige Sande		0,130
1,2	schluffiger Sandboden	schluffige Sande		0,350
2,1	lehmiger Sandboden	lehmige Sande		0,230
2,2	seltener lehmiger Sandboden	sandige Lehme		0,303
3,1	Schluffboden	Schluffe		0,710
3,2	Schluffboden	Schluffe		0,710
4,1	Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
4,2	schluffreicher Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
5	schluffreicher Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
6	schluffreicher Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
7	schluffreicher Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
8,1	sandiger bis schluffiger Lehmboden	sandige bis schluffige Lehme		0,383
8,2	sandiger Lehmboden	sandige Lehme		0,303
8,3			Ls3-Lt3	0,306
8,4			Lu, Ls3	0,383
8,5	sandiger Lehmboden, tiefgründig	sandige Lehme		0,303
8,6	Lehmboden	sandige Lehme bis Lehme		0,303
8,7	Lehmboden	Lehme, teils steinig		0,264
8,8	sandig-grusige Lehmböden	sandig-grusige Lehme		0,263
9,1	Lehmboden	Lehme		0,430
9,2	Lehmboden	schluffige Lehme		0,430
10,1	kalkhaltiger Lehmboden	Lehme		0,463
10,2	tiefgründiger Lehmboden	Lehme		0,463
11	schwach lehmiger Sandboden	Sande bis lehmige Sande		0,180
12,1	tiefgründiger, schluffiger Lehmboden	Lehme		0,463
13	schluffiger Lehmboden	schluffige Lehme		0,463
15	schluffiger Lehmboden	sandig bis schluffige Lehme		0,423
16,1	sandiger Staunässeboden	Sande bis lehmige Sande		0,282
16,2	Mittelgründiger schluffig lehmiger Staunässeboden	schluffige Lehme		0,532
17	sandig schluffiger Schotterboden	kiesige Sande		0,100
18,1	sandig schluffiger Schotterboden	kiesige Sande		0,100
18,2	Schotterboden	kiesige Sande		0,100
19,1	lehmiger Schotterboden	Lehme/sandige Kiese		0,210
19,2	schluffiger Lehmboden	Lehme/sandige Kiese		0,463
20	Lehmboden	Lehme		0,463
21	Schotterboden	sandige bis schluffige Kiese		0,197
22,1	Schotterverwitterungsboden	sandige bis schluffige Kiese		0,237
22,2	Schotterverwitterungsboden	sandige bis schluffige Kiese		0,237
22,3	kiesig sandiger Lehmboden	kiesige Lehme		0,383
23				0,350
25				0,100
26	Schotterverwitterungsboden	kiesige Lehme		0,350
26,1	Schotterverwitterungsboden	Sande, lehmige Kiese		0,320
27	Schotterverwitterungsboden	sandige Kiese		0,100
28,1	sandig-lehmiger Kiesverwitterungsboden	kiesiger sandiger Lehm	g3Ls3	0,270
28,2			IS2 bis Lt2	0,273
28,3				0,281
29				0,102
30				0,179

Tabelle 3.2.2.b : K – Faktoren für die Legendeneinheiten der KBK (Fortsetzung)

Legenden-nummer	Informationen aus der Arbeitslegende der KBK			K-Faktor
	Kurzbeschreibung	umgangssprachlich	KA4	
31				0,305
34			g2Lt2/Lt3 bis T1	0,223
35			g2Lt2/Lt3	0,275
36			sg4Uls	0,195
37			g2Ls2, Ls3, Lt2	0,294
38			g2Ls2 über g3Lt2	0,338
45,2	Schotterboden	sandige Kiese		0,100
46	leichter Sandboden	fS-mS		0,310
47			Sl3	0,250
48,1			fSl3 - mSl3	0,250
48,2			gL - Su3	0,383
49,1			Lu-Lt3	0,386
49,2			U	0,710
49,3			XTu3	0,101
50,1			Lu-Lt3	0,386
50,2		Schluffe	U	0,710
51	Schluffboden		L-T	0,500
52,1			Sl3/Tl	0,190
52,2			Sl3/Tl	0,190
53,1			L (Sl3/Tl)	0,333
54			L / Lt3	0,366
55,1			Lt3	0,276
55,2			L / Lt3	0,366
55,3		Schluffe bis Lehme		0,603
56				0,100
56,1				0,100
56,2				0,100
57	Sinterkalkboden	Schluffe		0,600
58	Schluffboden	schluffige Lehme / Schluffe		0,603
59,2	schluffiger Lehmboden	feinsandige bis schluffige Lehme		0,423
60				0,402
62,1		Schluffe		0,710
62,2		Lehm bis Schluff		0,530
62,3		Lehm bis Schluff		0,530
63		schluffige Sande bis Schluffe		0,520
64,1		schluffig tonige Lehme		0,402
64,2		schluffig tonige Lehme		0,402
64,3		schluffig tonige Lehme		0,402
64,4				0,500
65,1		Lehme		0,452
65,2		Lehme		0,452
65,3		Lehme		0,452
66,1		tonige Lehme		0,382
66,2		tonige Lehme		0,382
67		Schluffe und Lehme		0,500
68		Lehme		0,433
70,1		Feinsande bis Schluffe		0,630
71		sandige Kiese bis Lehme		0,280
72,1		Sande		0,130

Tabelle 3.2.2.b : K – Faktoren für die Legendeneinheiten der KBK (Fortsetzung)

Legenden-nummer	Informationen aus der Arbeitslegende der KBK			K-Faktor
	Kurzbeschreibung	umgangssprachlich	KA4	
72,2		Sande		0,130
72,3		Sande		0,130
73,1		Lehme, Schluffe		0,500
73,2		Lehme, Schluffe		0,463
73,3		Lehme, Schluffe		0,463
74		Sande bis Lehme		0,280
76,2		Lehme und Schluffe		0,500
77		Torf über Kies und Lehm		0,160
78		Torf über Kies und Lehm		0,160
78,1		Moor		0,050
79		Hochmoor		0,050
80,1		Lehme		0,463
80,2	Schluff bis Feinsand über Niedermoor			0,572
81		Kiese und Sande		0,130
82		Feinsand / Schluff		0,500
83,1		Feinsand / Schluff		0,500
83,2		sandige Kiese bis		0,130
84,1		Feinsand / Schluff		0,500
84,2		sandige Kiese		0,130
85		sandige Schluffe		0,450
86		Sand, Kies		0,130
87		Feinsand / Schluff		0,500
89		schluff, sand		0,450
90,1		alles		0,300
90,2		alles		0,300
91,1		Kies bis Schluff		0,300
91,2		Kies bis Schluff		0,300
91,3		Schluff		0,710
93		Sande, lehmige Sande		0,190
94				0,463
98,2		schluffige Lehme / Schluffe		0,463
101	Riesauswurf	Schluffe bis Tone		0,480
102	sandig bis toniger Lehm Boden			0,403
104	Lehm Boden, Skelettreich			0,243
105	Lehme bis Tone			0,278
107	skelettreiche Tone			0,329
112	Lehm bis Schluff Boden			0,603
113	weites Korngrößenspektrum			0,350
114				0,350
145	Grobsand	Sande		0,100
151	Lehm Boden	Lehme über Tone	utL/IT	0,343
228,1	Sand Boden	Sande		0,130
231,2	Sand Boden	Sande bis lehmige oder tonige Sande		0,150
235,2		schluffige Lehme über Lehme		0,403
237		Lehm		0,463
701		Lehm, Sand		0,053
705		Lehm, Sand		0,052
709		Lehm, Sand		0,053
710		Lehm, Sand		0,053
711		Lehm, Sand		0,053
712		Lehm, Sand		0,081
713		Sand		0,038

Tabelle 3.2.2.b : K – Faktoren für die Legendeneinheiten der KBK (Fortsetzung)

Legenden-nummer	Informationen aus der Arbeitslegende der KBK			K-Faktor
	Kurzbeschreibung	umgangssprachlich	KA4	
714		Lehm, Sand		0,112
721		Lehm, Sand		0,053
743		Lehm, Sand		0,179
745		Lehm		0,275
770		Sand, Lehm		0,179
994				0,000
996				0,000
997				0,000
997,1				
997,2				
998				0,000
999				

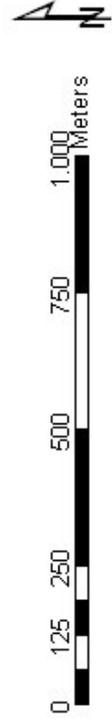
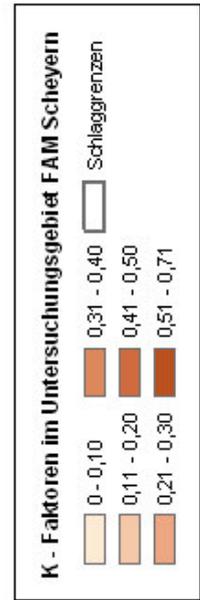
Abbildung 3.1.2.d : Detaillierungsgrenzen der K - Faktoren aus den Konzeptbodenkarten



Karte 1 : K-Faktoren auf Grundlage der Konzeptbodenkarten im Untersuchungsgebiet FAM Scheyern - dargestellt auch die Schlagunterteilung



Karte 2 : K-Faktoren auf Grundlage der Aufnahme vor Ort im Untersuchungsgebiet FAM Scheyern - dargestellt auch die Schlagunterteilung



Datengrundlage:  
 TUM Weihenstephan - Lehrstuhl für Grünlandlehre  
 Konzeptbodenkarte ©Geowissenschaftliche Daten : Bayer, Geologisches Landesamt

Abbildung 3.3.a: Vergleich der Erosionsberechnung der LfL und der Modellierung im Tattenbachtal / Lkr. Pfarrkirchen hier : Vergleich des Verhältnisses der tatsächlichen Abträge zum tolerierbaren Abtrag

