

# advangeo® - Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz zur Regionalisierung von bodenkundlichen Punktdaten

---

*Stand der Forschung und Ausblick*

**A. Knobloch<sup>1</sup>, Dr. T. Hertwig<sup>1</sup>, S. Noack<sup>1</sup>, M.K. Zeidler<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Beak Consultants GmbH, Freiberg / Deutschland, [info@beak.de](mailto:info@beak.de)



15. Jahre Bodenmonitoring in Sachsen - Kolloquium  
Dresden, 1. Oktober 2010

- **Theoretischer Hintergrund des Verfahrens: Künstliche Intelligenz / Künstliche Neuronale Netze**
- **Erläuterung des Verfahrens:**
  - am Beispiel: Erosionsanfälligkeit: flächenhafter Bodenabtrag
- **Darstellung der Software**
- **Weitere Anwendungsbeispiele:**
  - Erosionsanfälligkeit von Böden: Bodenkriechen, Rinnenbildung
  - Schädlingsbefall im Forst
  - Bodenbelastung in Siedlungsgebieten
  - Regionalisierung von bodenkundlichen Punktdaten (Feuchtestufe, Humusstufe, TOC)
- **Ausblick: Wo könnte es hingehen ?**
- **Zusammenfassung**

# Motivation

*Wo befindet sich die Lagerstätte?*



*Wo breiten sich Schädlinge bevorzugt aus?*



# Motivation

*Wo brennt die Kohle ?*

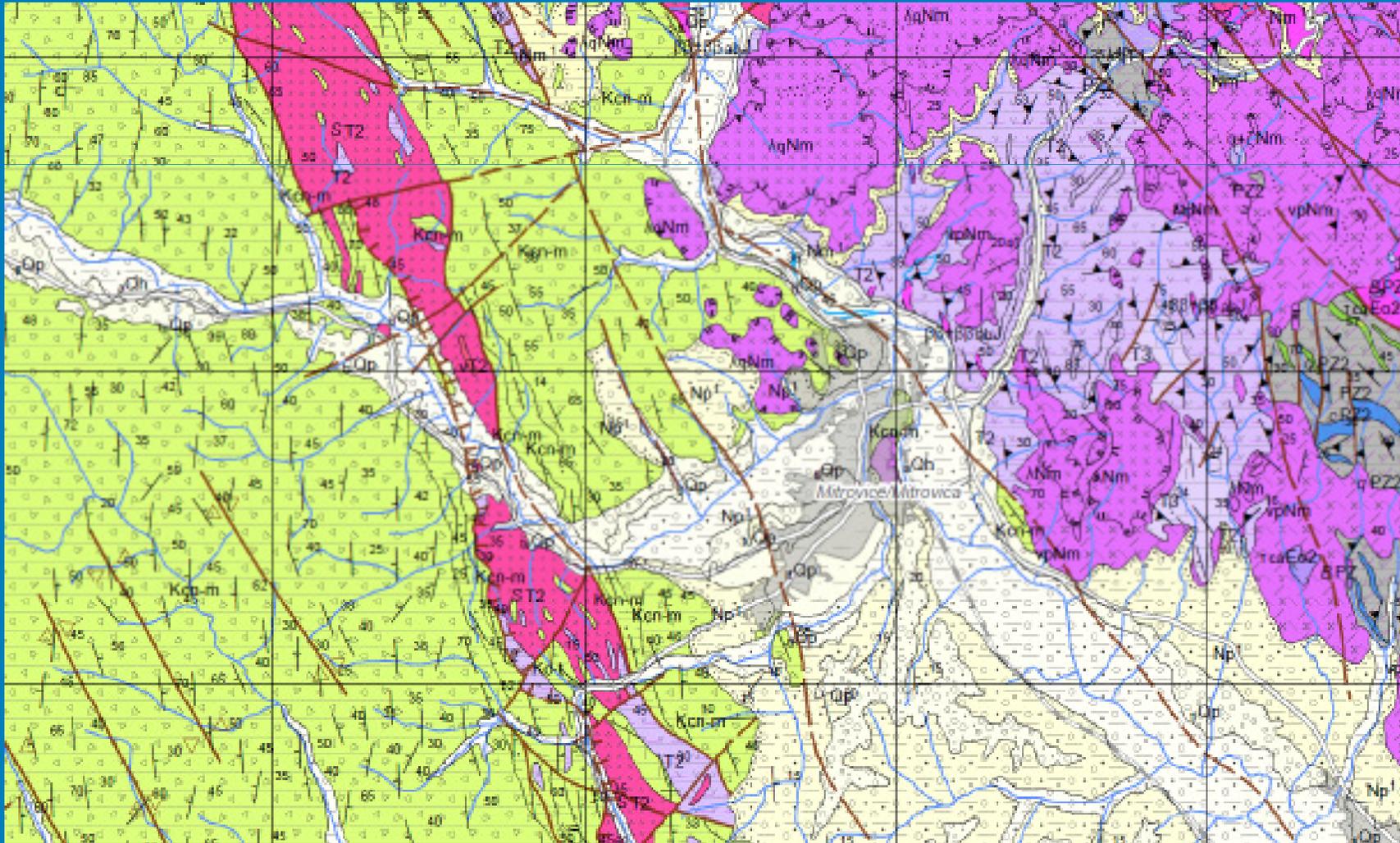


*Wo wird sich Karst bilden ?*



# Motivation

*Wo ist die geologische / bodenkundliche Grenze ?*



# Motivation

*Wo befinden sich die Kontaminationen ?*

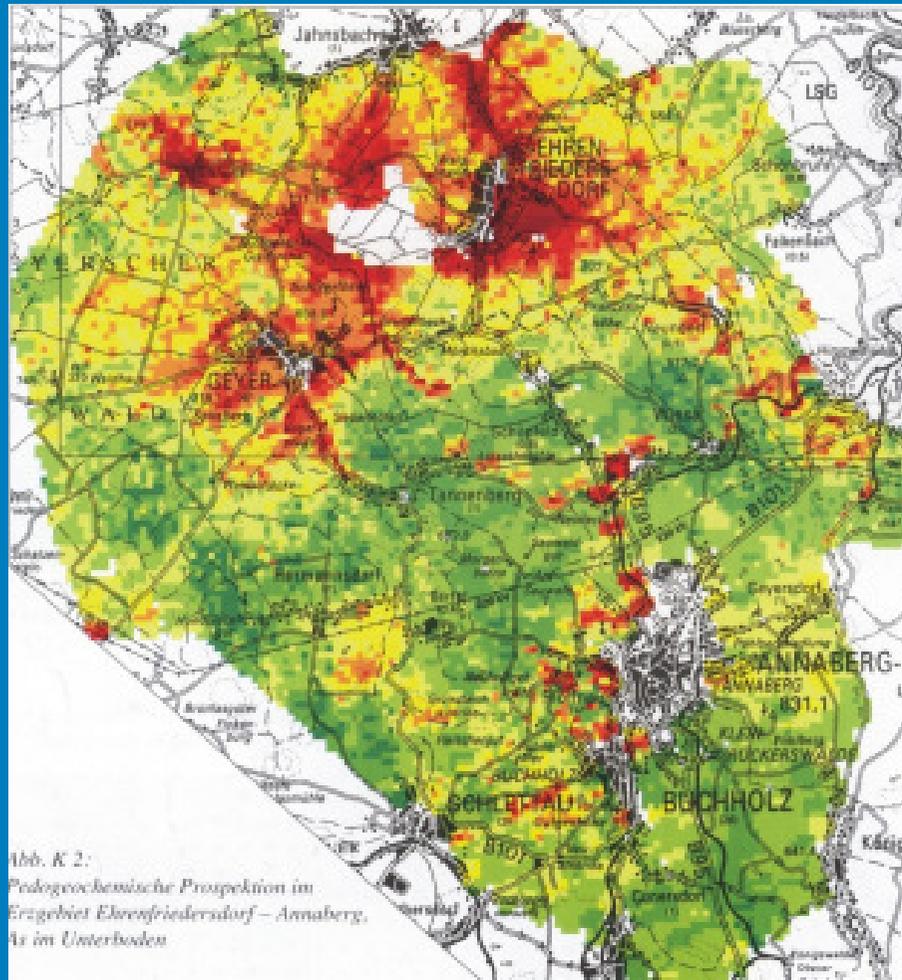


Abb. K 2:  
Pedochemische Prospektion im  
Ergebnis Ehrenfriedersdorf – Annaberg,  
As im Unterboden

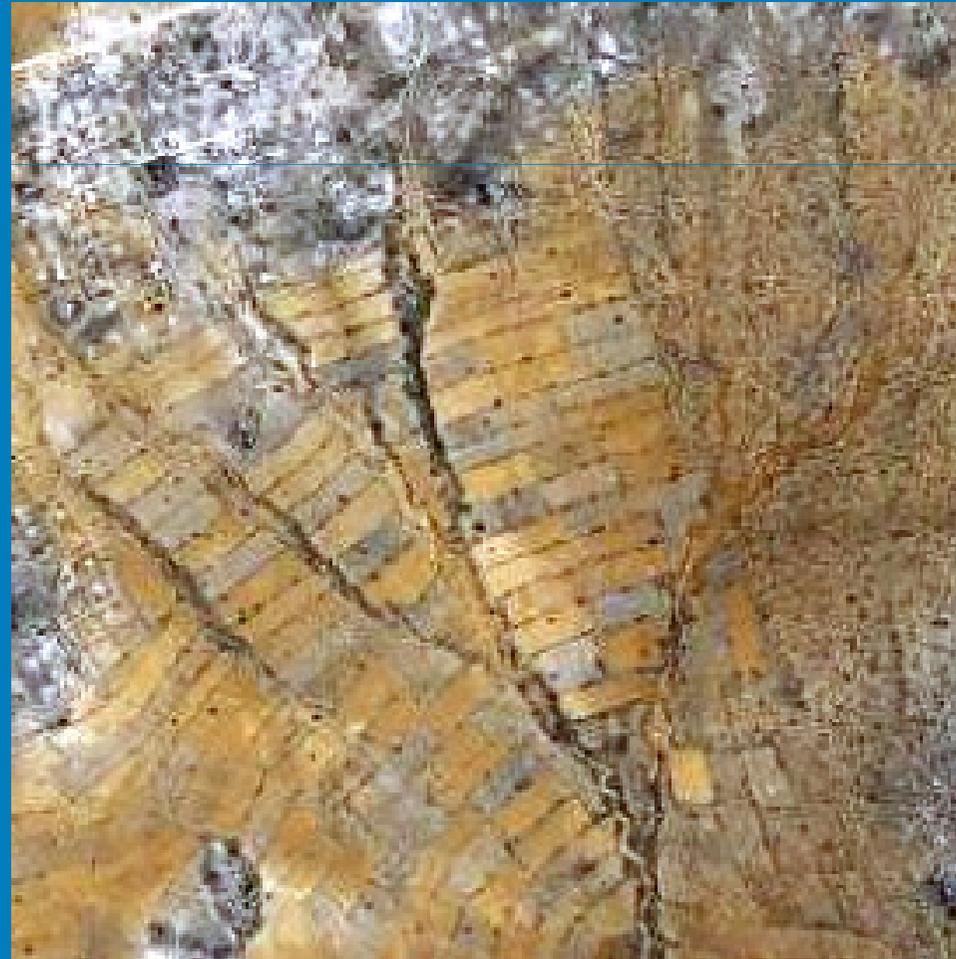
Quelle: LfULG Sachsen

# Motivation

*Wo rutscht der Hang weg ?*

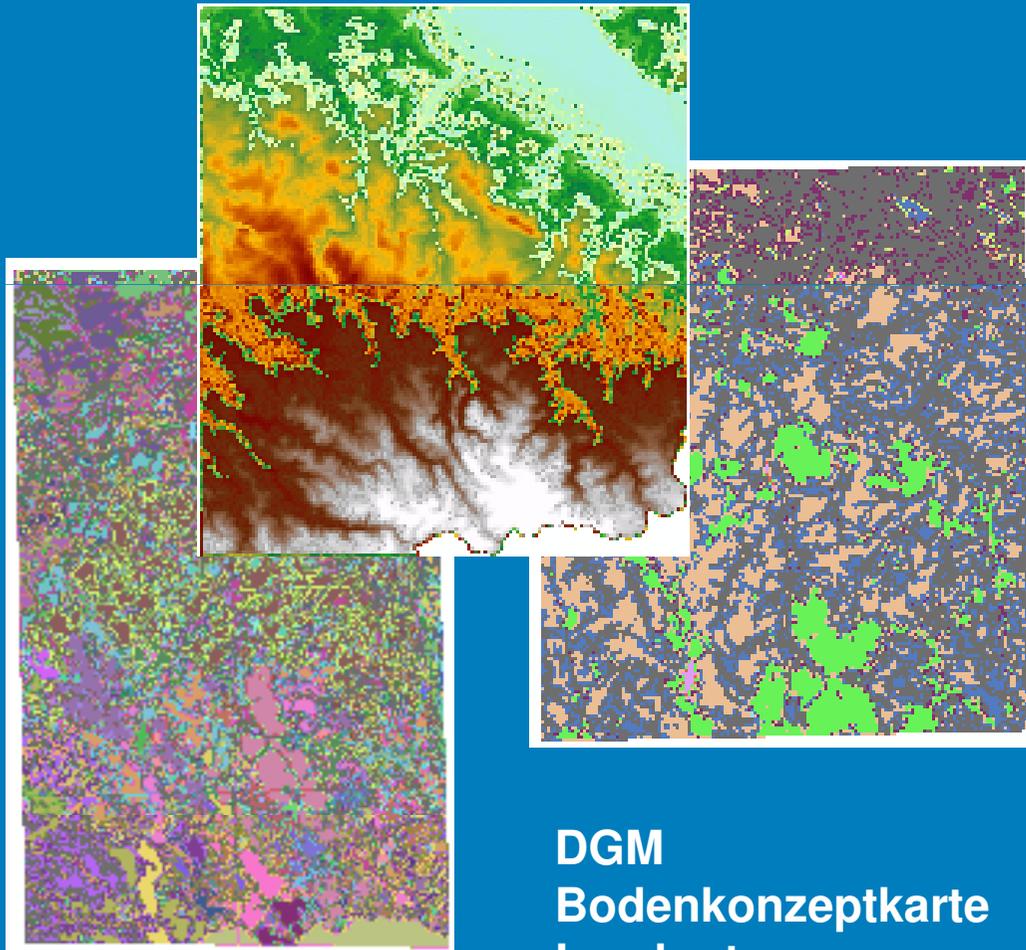


*Wo bilden sich Erosionsrinnen ?*



- **Vom Punkt in die Fläche ? Wie geht das ?**
- **Ermittlung detaillierter flächendeckender Informationsebenen zu solchen Parameter, wie:**
  - Gehalte von Nährstoffen, Schadstoffen, TOC, C<sub>org</sub>...
  - Physiko-chemische Eigenschaften: Retardationseigenschaften, pH, ...
  - Physikalische Eigenschaften: nFK, FK, Ld, ...
- **Untersuchung der Gradienten physikalischer/chemischer Parameter innerhalb der Bodenform-Polygone**
- **Berücksichtigung der lokalen Eigenschaften für:**
  - Hydrologische Berechnungen
  - Forstwirtschaft
  - Landwirtschaft

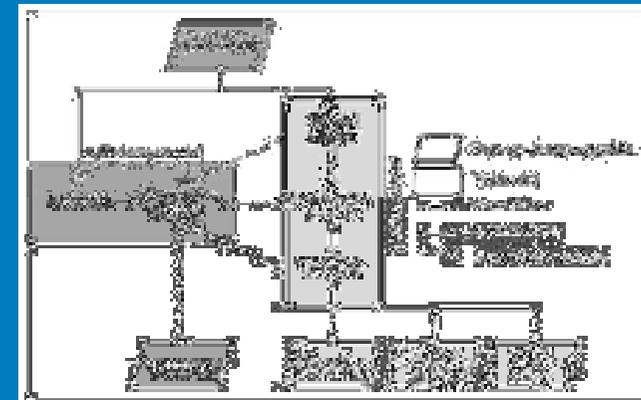
# Vorhandene Daten und Wissen



**DGM**  
**Bodenkonzeptkarte**  
**Landnutzung**



**Wissen: Luftbild / Feldbeobachtungen**

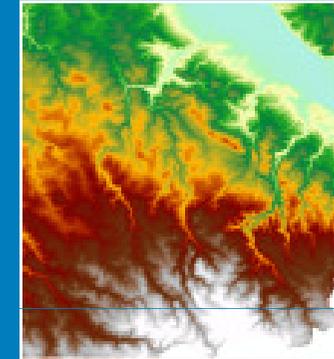


**Wissen: Modellvorstellung**

# Schritte der Datenanalyse

## Eingangsdaten:

Bodentypen, Geländeeigenschaften, Landnutzung



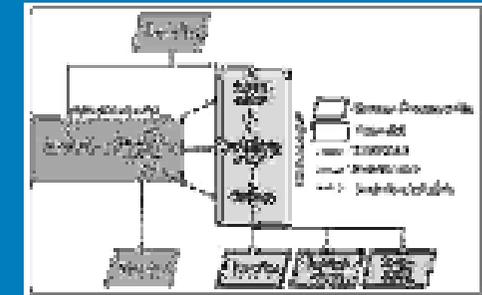
## Unser Wissen:

bekannte Ereignisse, Zusammenhänge

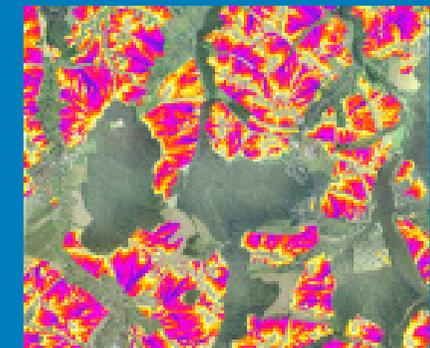


## Möglichkeiten der Datenanalyse:

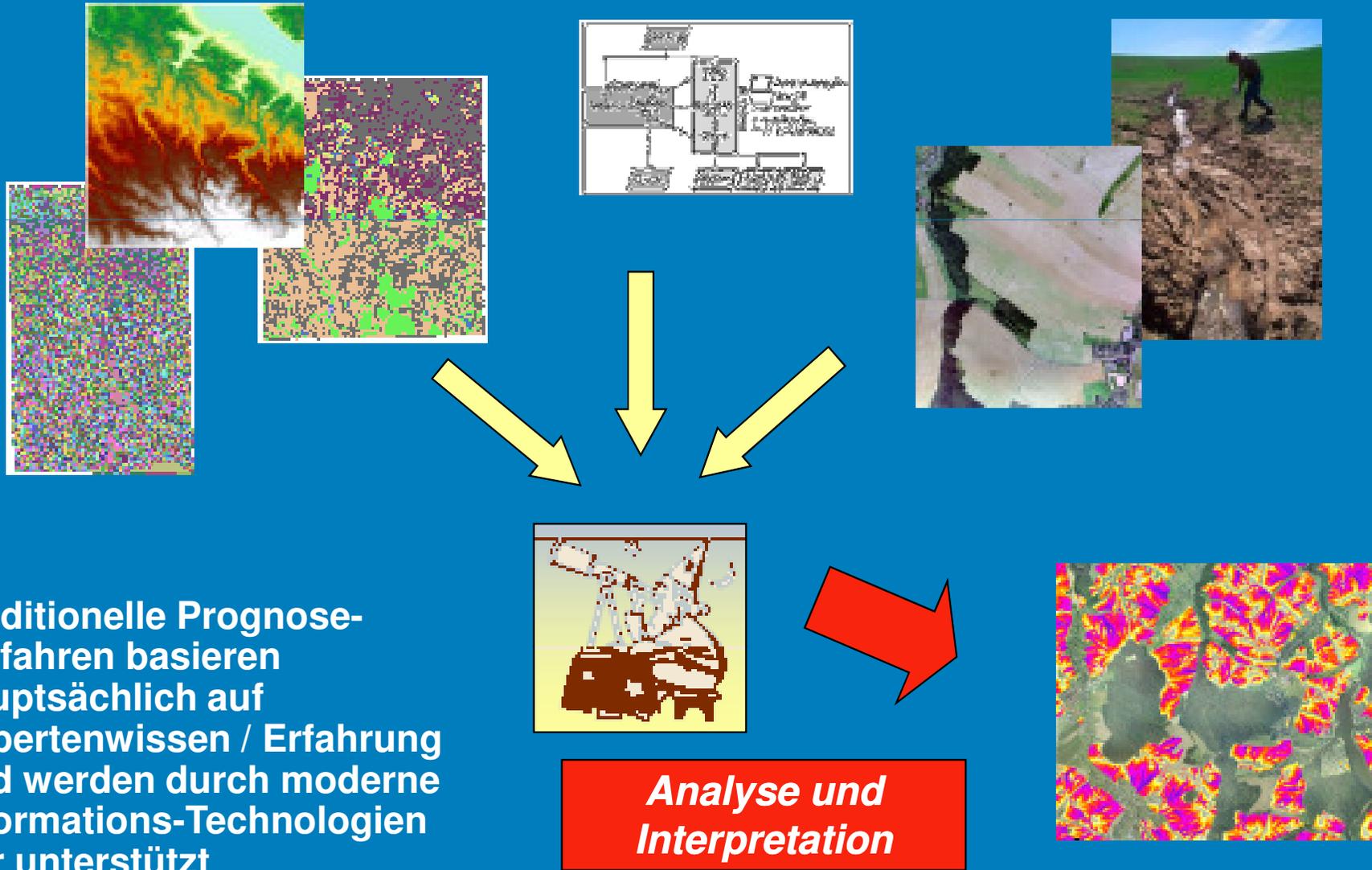
**analytische** oder **empirische / statistische**  
Lösungsansätze



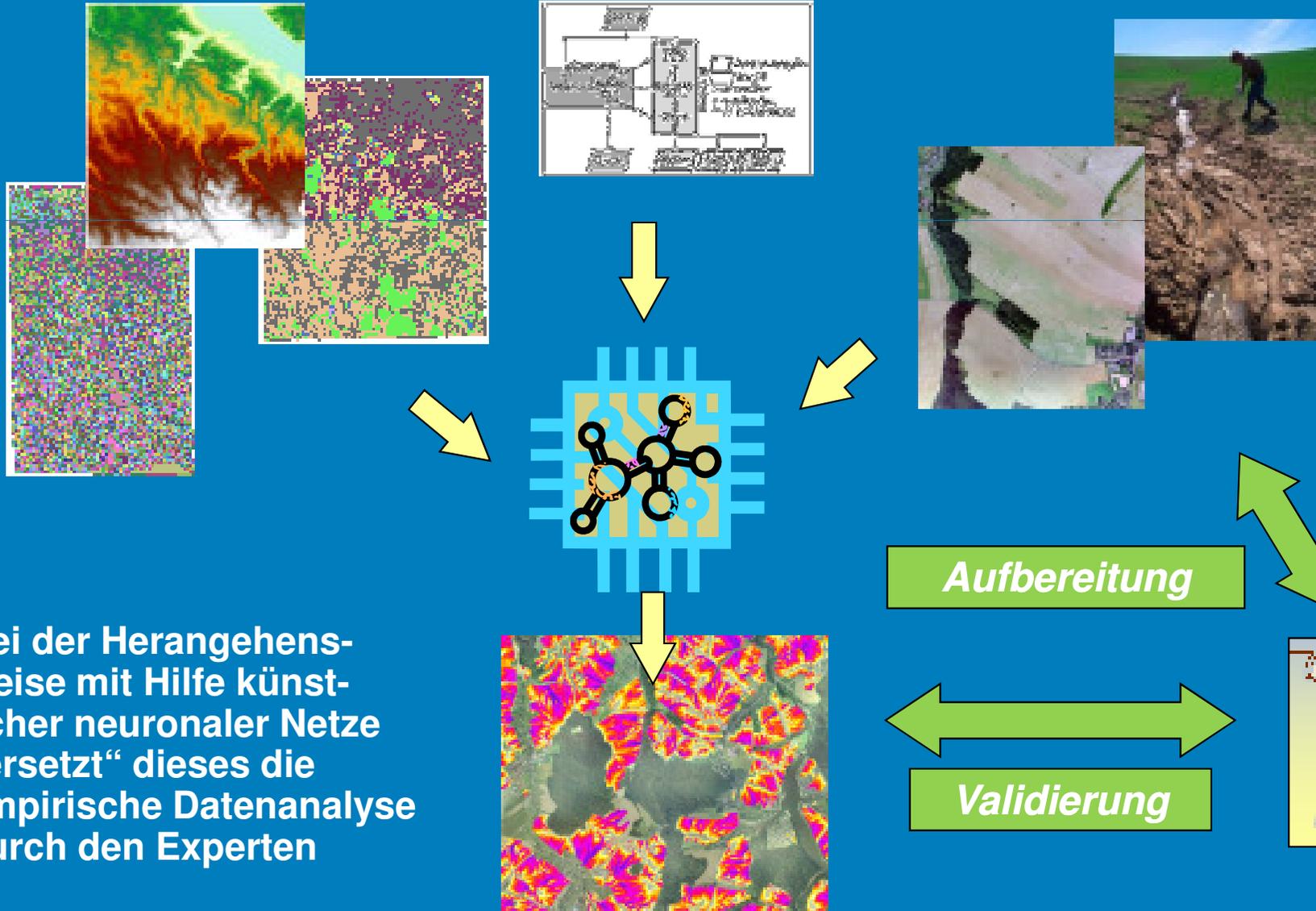
Anwendung des Gelernten → **Prognosekarten**



# Traditionelle Herangehensweise

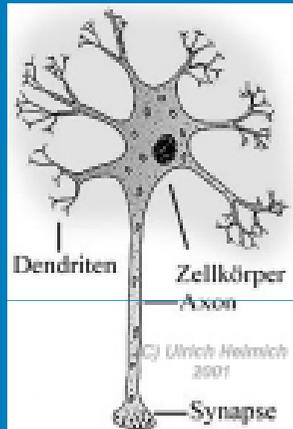


# Moderne Herangehensweise unter Verwendung Künstlicher Intelligenz



Bei der Herangehensweise mit Hilfe künstlicher neuronaler Netze „ersetzt“ dieses die empirische Datenanalyse durch den Experten

# Definition: Künstliche Neuronale Netze

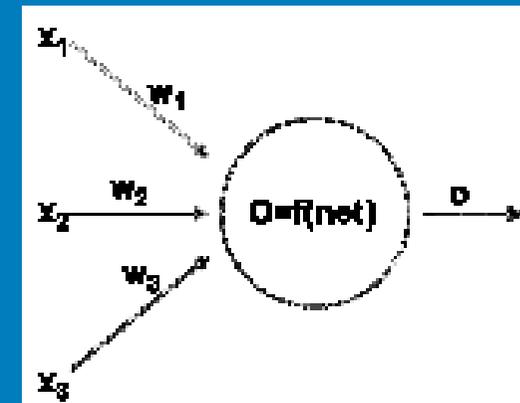


## Vorbild: Nervenzelle

- Funktionsweise analog dem **biologischen Nervensystem**
- besteht aus **Nervenzellen (Neuronen)**
- Simulation der biochemischen Prozesse durch geeignete Rechenoperationen: Ausführung durch **künstlichen Neuronen**
- Meist **schichtweise Organisation** der Neuronen

## Nervenzelle als Prozessor

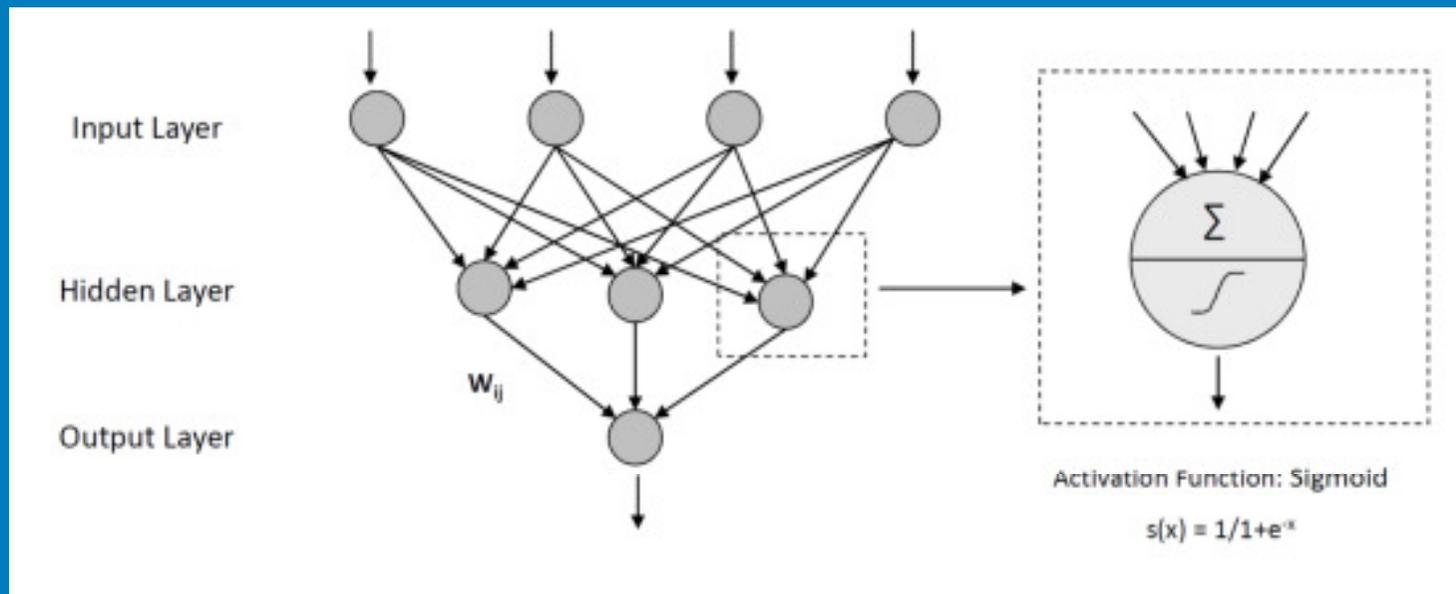
- **Verbindungen** zwischen Neuronen → Gewichte  $w_x$ 
  - stärken oder schwächen das Eingangssignal
  - sind gerichtet, werden trainiert
- **Eingangssignale**
  - werden zu einem einzigen Eingangssignal verrechnet: Propagierungsfunktion
- **Aktivierungsfunktion**
  - berechnet den Ausgabestatus des Neurons



# Prinzipieller Aufbau Künstlicher Neuronaler Netze

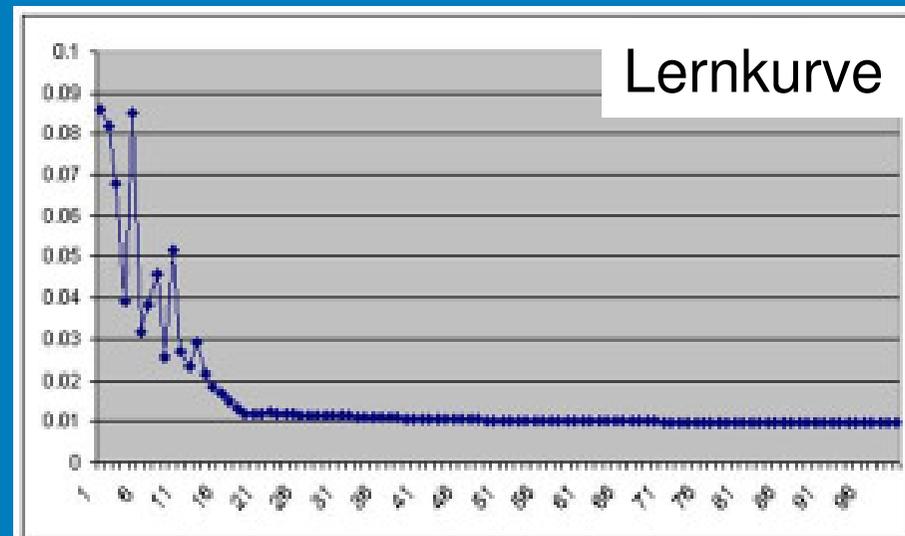
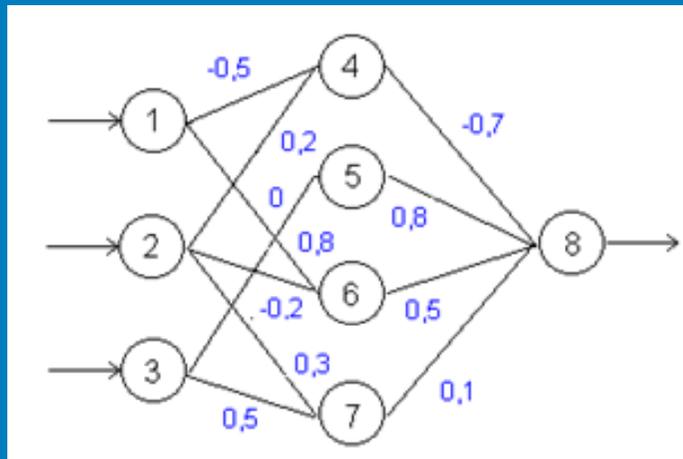
## Netztopologie: MLP (Multi Layer Perceptron)

- Schichtweiser Aufbau der Neuronen in Layern
- Richtung und Art der Verbindung zwischen den Neuronen
- Anzahl der Hidden Layer und Neuronen



## Lernalgorithmus: Back-Propagation

- Wiederholte Eingabe der Trainingsdaten
- Modifizierung der Gewichte  $w$
- Reduzierung des Fehlers zwischen erwarteten und berechneten Ergebnis des neuronalen Netzes



## Vorteile:

- **Lernfähigkeit:** lernt aus Beispielen
- **Generalisierung:** ähnliche, nicht explizit trainierte Probleme können gelöst werden
- **Universalität:** Prognose, Klassifikation, Mustererkennung
- Auch komplexe, nichtlineare Zusammenhänge erkennbar
- **Fehlertolerant** gegenüber verrauschten Daten (in gewissen Grenzen), Bsp. Gesichtserkennung
- **Schnelligkeit**

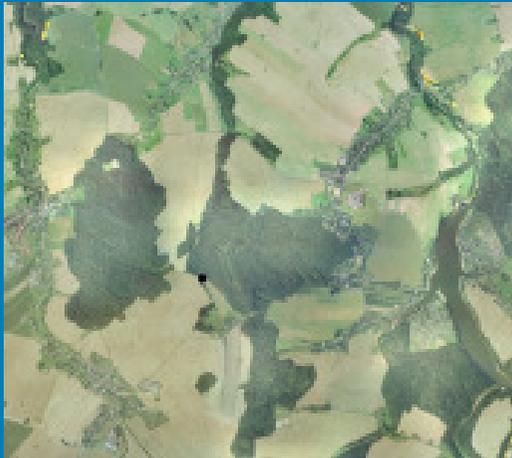
## Weitere Eigenschaften:

- Auswahl der **Topologie** und des **Lernverfahrens**
- **Black-Box:** Bewertung des Gewichts des einzelnen Einflussfaktors

# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag

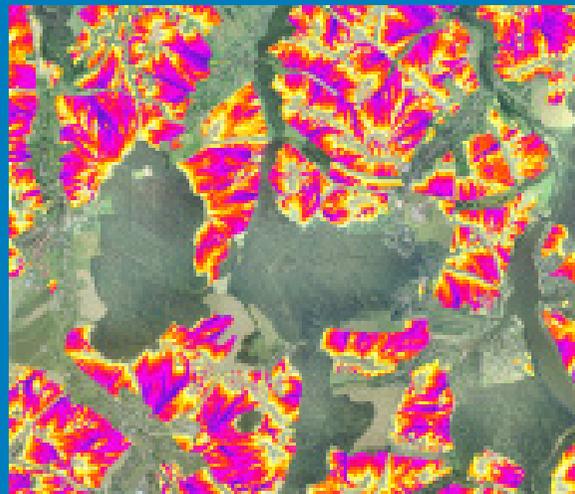
## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen  
Derivate  
Bodenarten  
Flächennutzung

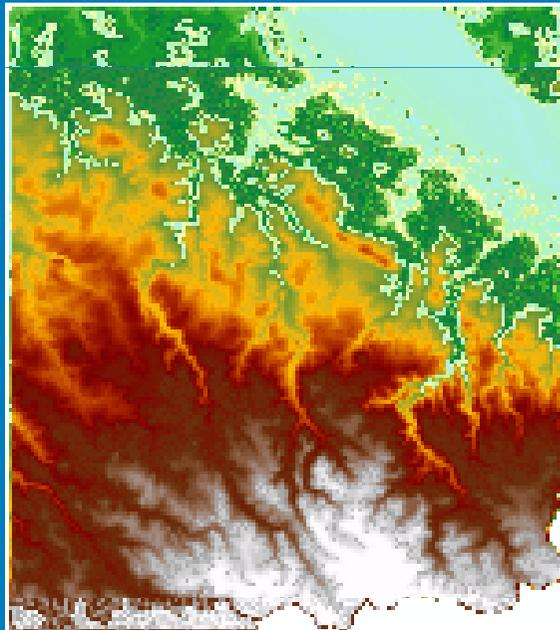


## Trainingsdaten:

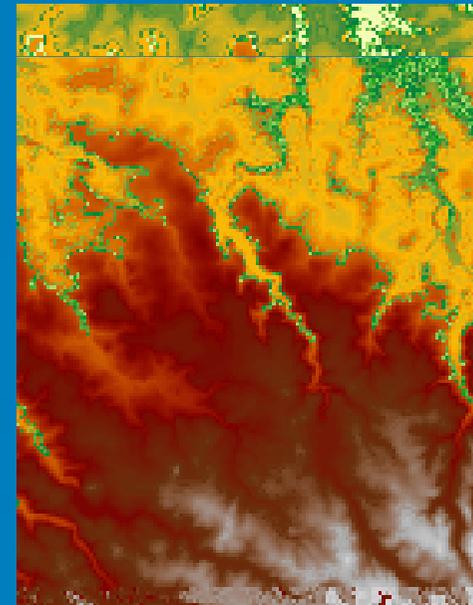
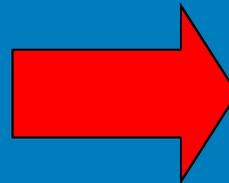
Bekannte Flächen  
mit Bodenabtrag



**Eingangsdaten:** Digitales Geländemodell  
→ Resampling



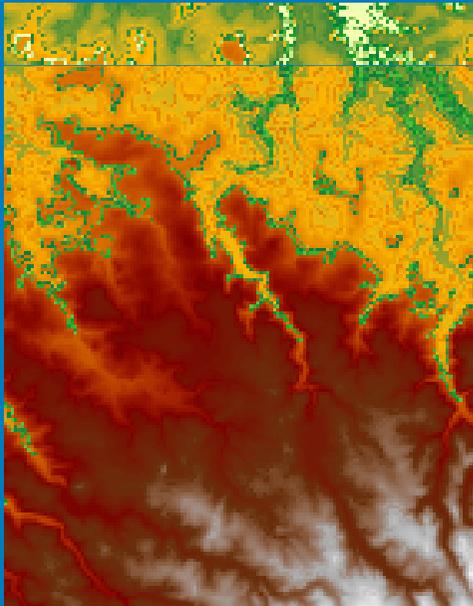
**DGM Sachsen 20m**



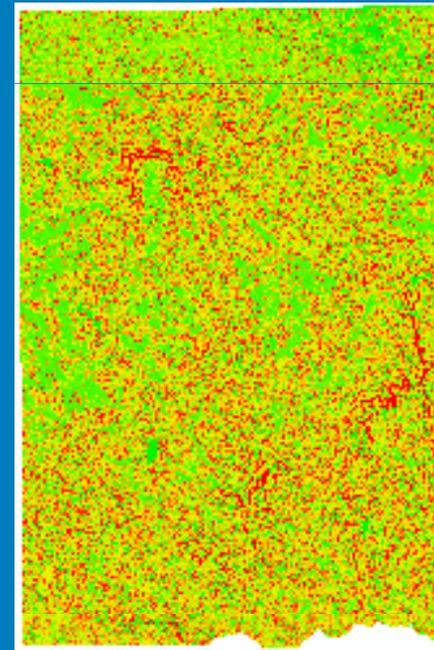
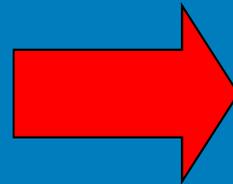
**DGM Sachsen 5m RESAMPLED**



**Eingangsdaten:** Ableitung des Digitalen Geländemodells  
→ Hangneigung

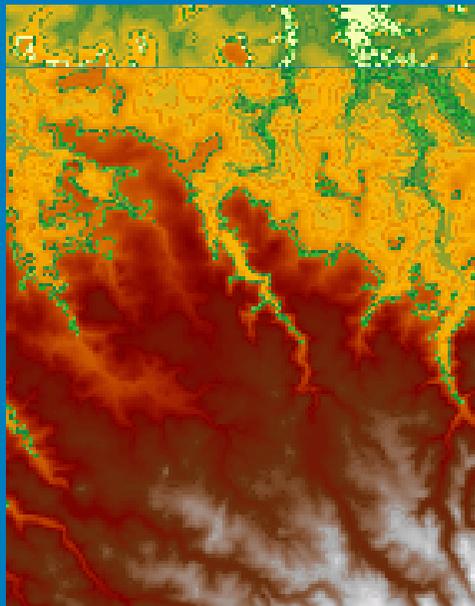


**DGM Sachsen 5m RESAMPLED**

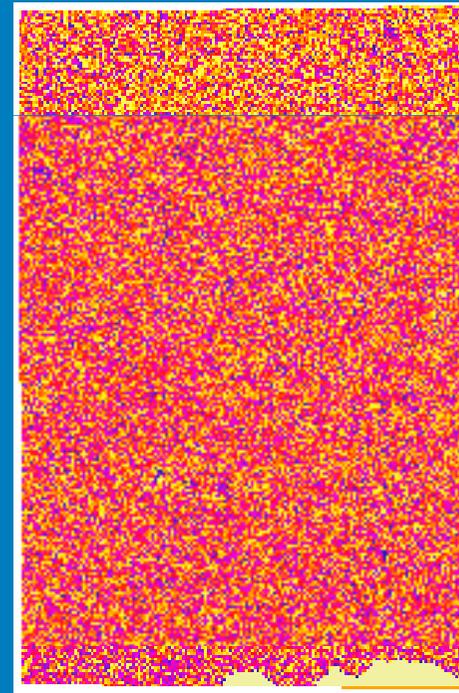
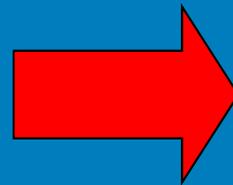


**Hangneigung [°]**

**Eingangsdaten:** Ableitung des Digitalen Geländemodells  
→ Fließakkumulation



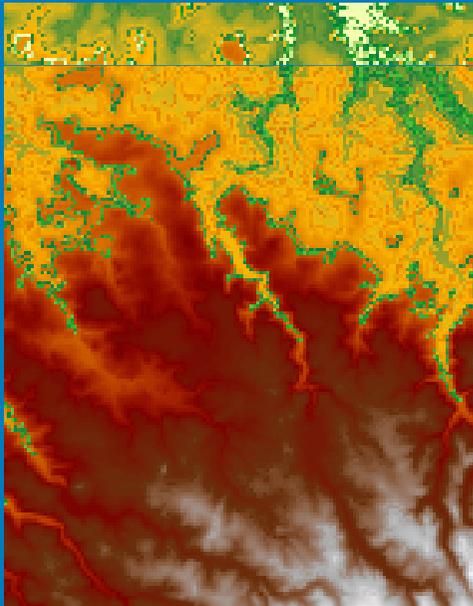
**DGM Sachsen 5m RESAMPLED**



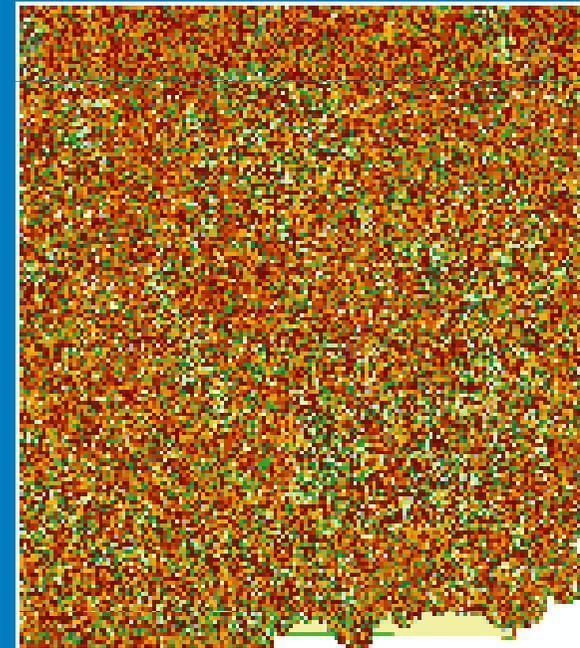
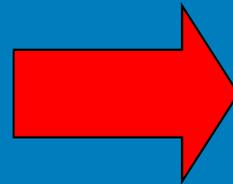
**Log Fließakkumulation**



**Eingangsdaten:** Ableitung des Digitalen Geländemodells  
→ Konkavität



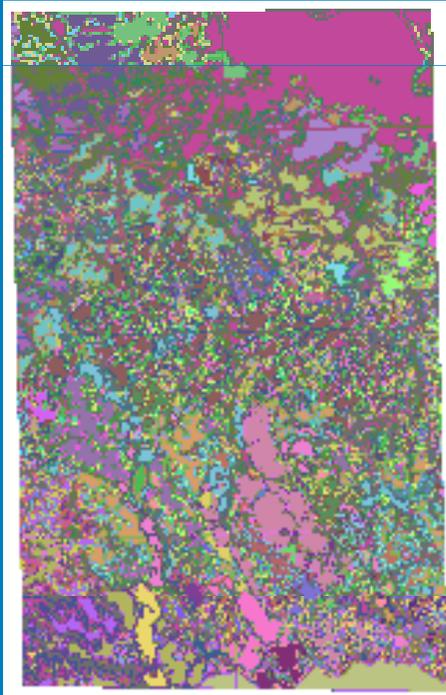
**DGM Sachsen 5m RESAMPLED**



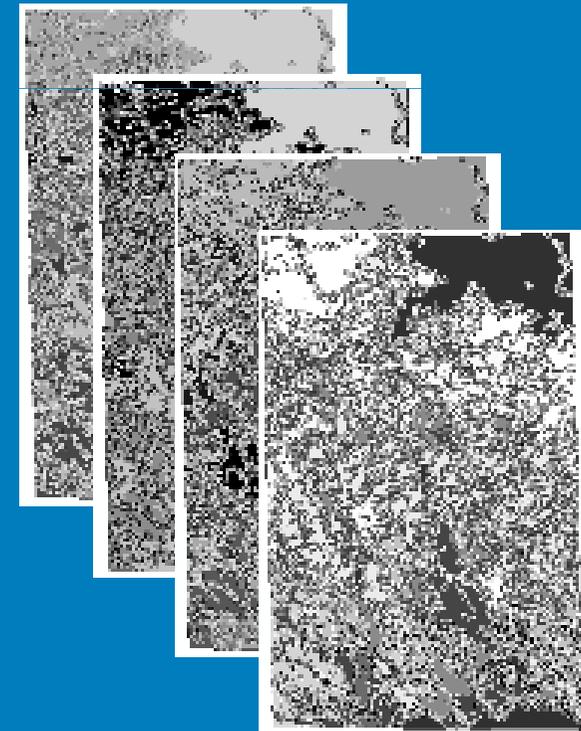
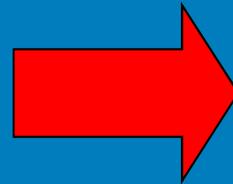
**Konkavität / Curvature**

## Eingangsdaten: Bodenkzeptkarte

→ Feinboden (Ton, Schluff, Sand), Skelett

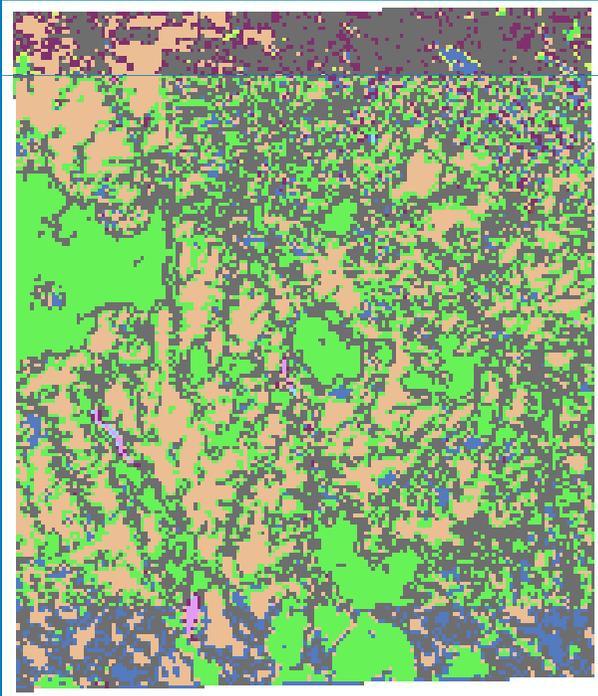


**Bodenzeptkarte**

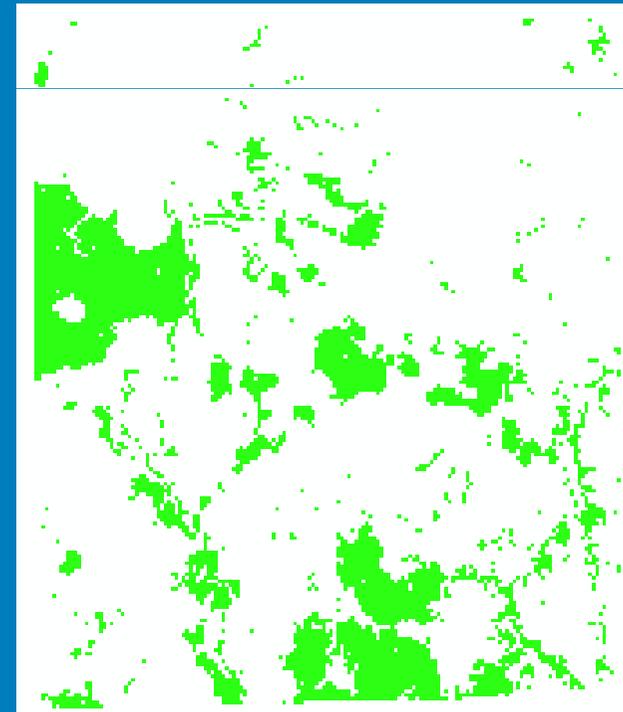
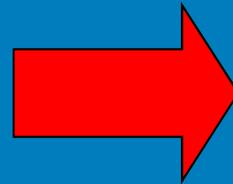


**Feinboden  
(Ton, Schluff, Sand), Skelett**

**Eingangsdaten:** Flächennutzung (ATKIS, Biotoptypenkartierung)  
→ Wald, Acker, Dauergrünland, etc.



Flächennutzung (ATKIS, Biotoptypen)

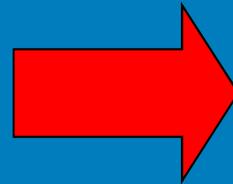


Einzel-Raster für jede Flächennutzungsart  
(Wald, Acker, Dauergrünland, etc.)

**Trainingsdaten:** Grundlage Luftbilder  
→ Luftbildkartierung Erosionsflächen

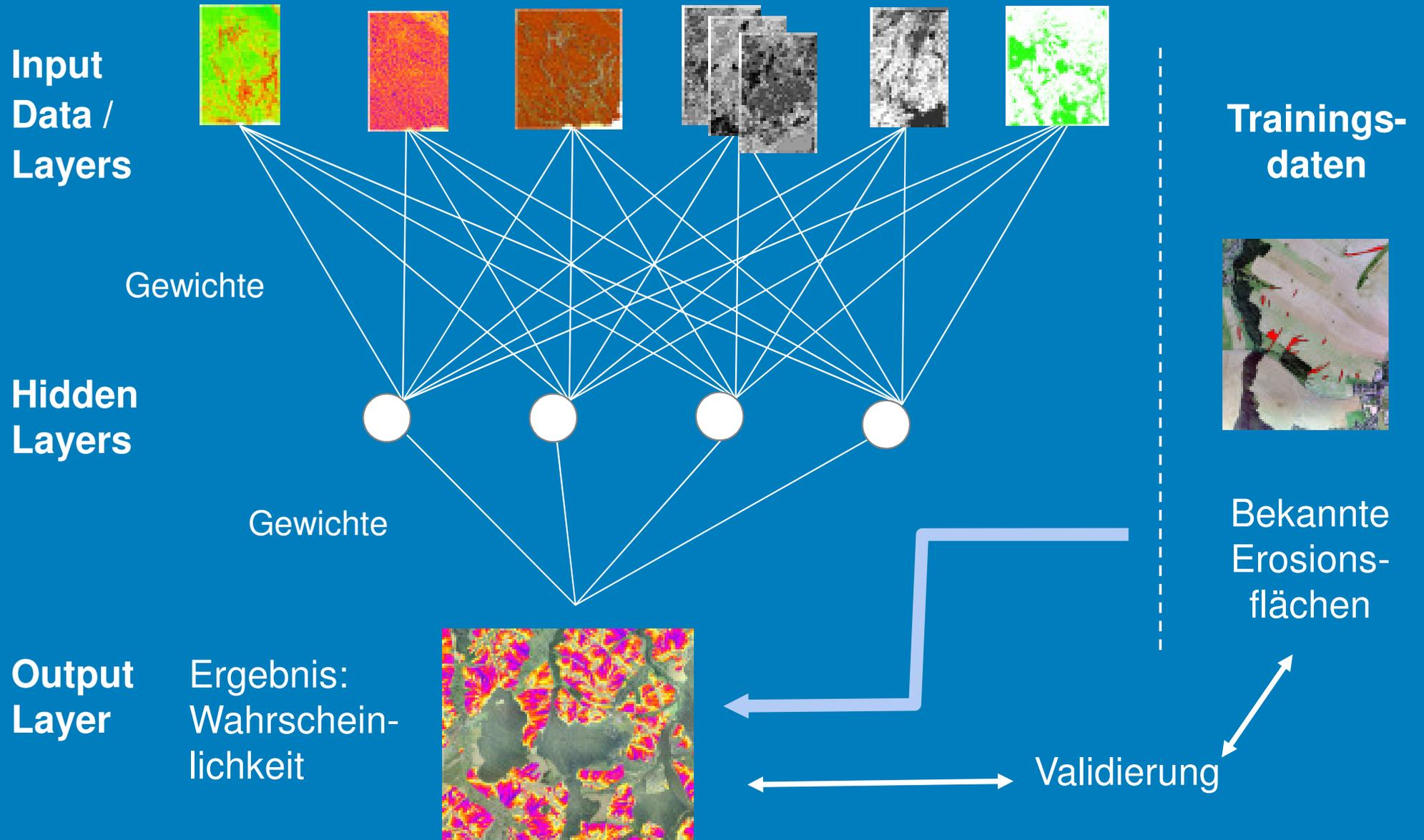


**Luftbilder Hochwasser 2001**



**Kartierte Erosionsrinnen**

# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag



# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag

## Eingangsdaten:

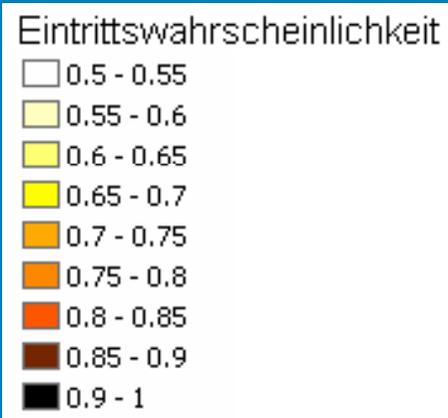
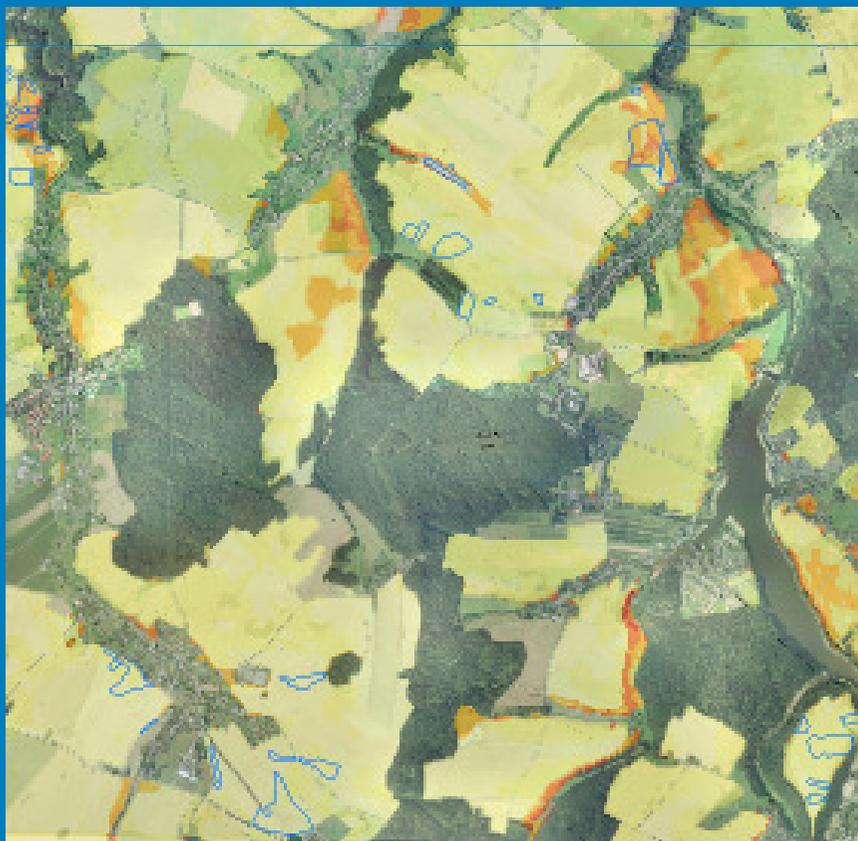
*Hangneigung*

*Schluff, Ton, Sand im Gesamtboden*



## Eingangsdaten:

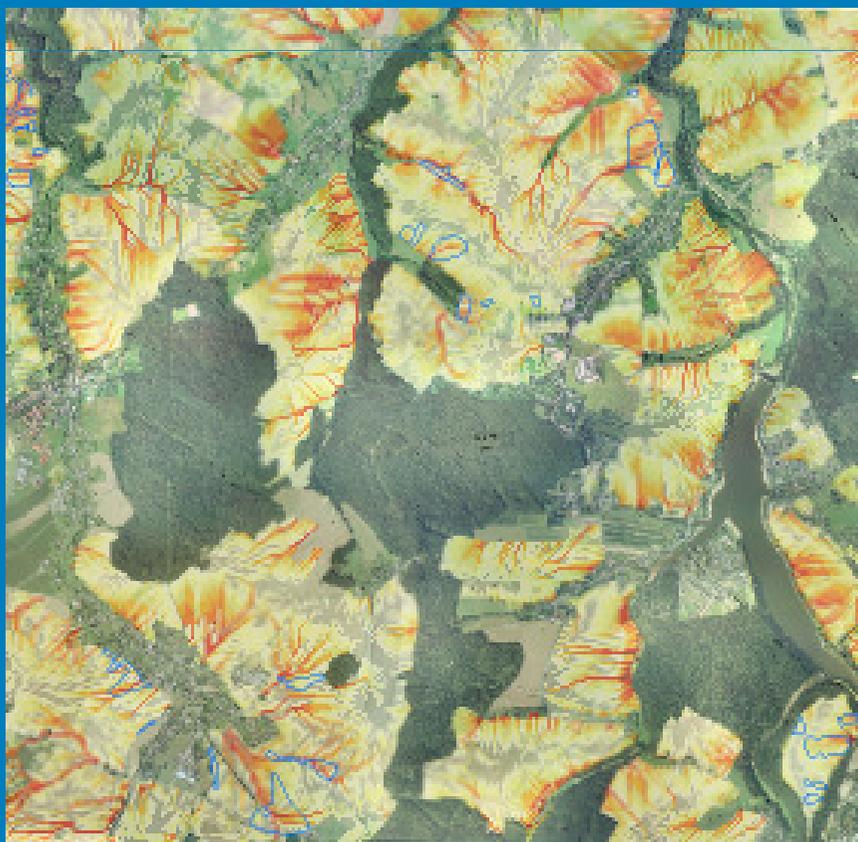
Hangneigung, Schluff, Ton, Sand im Gesamtboden  
+ Landnutzung



# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag

## Eingangsdaten:

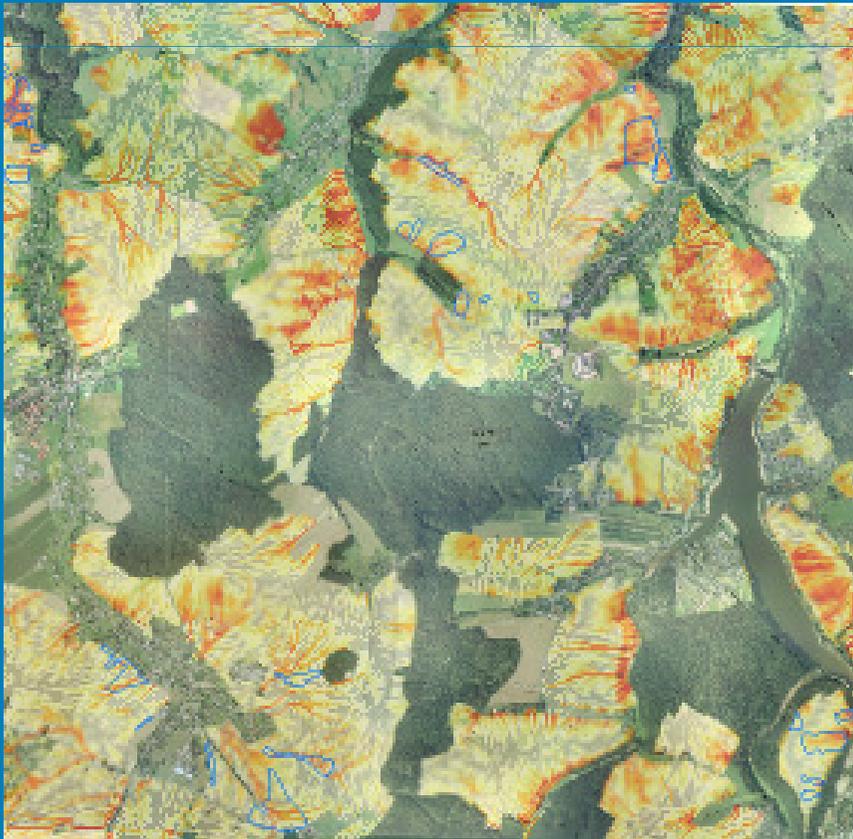
Hangneigung, Schluff, Ton, Sand im Gesamtboden, Landnutzung  
+ *Fließlänge*



# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag

## Eingangsdaten:

Hangneigung, Schluff, Ton, Sand im Gesamtboden, Landnutzung, Fließlänge  
+ *Horizontale konkave Wölbung*



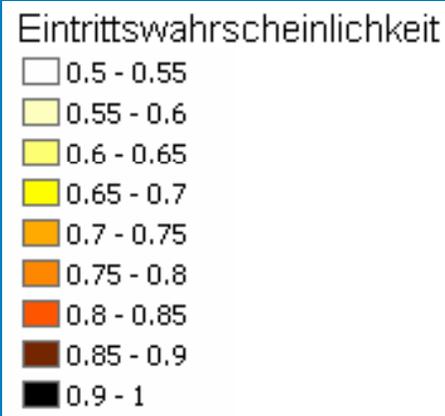
## Anteil gefundener Flächen:

### Trainingsgebiet:

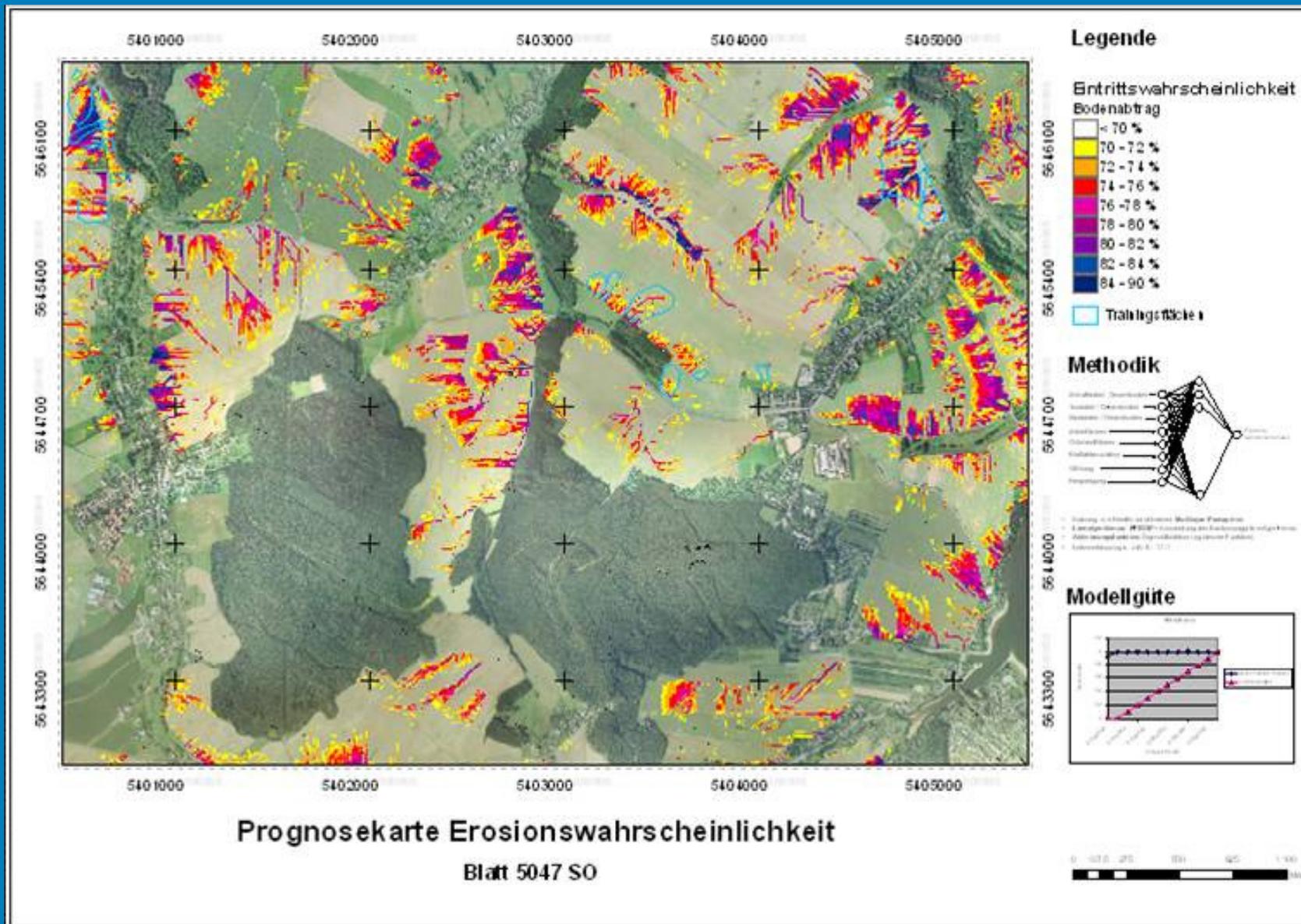
ca. 80 % der Erosionsflächen mit  $p > 75\%$

### Testgebiet:

ca. 90 % der Erosionsflächen mit  $p > 75\%$



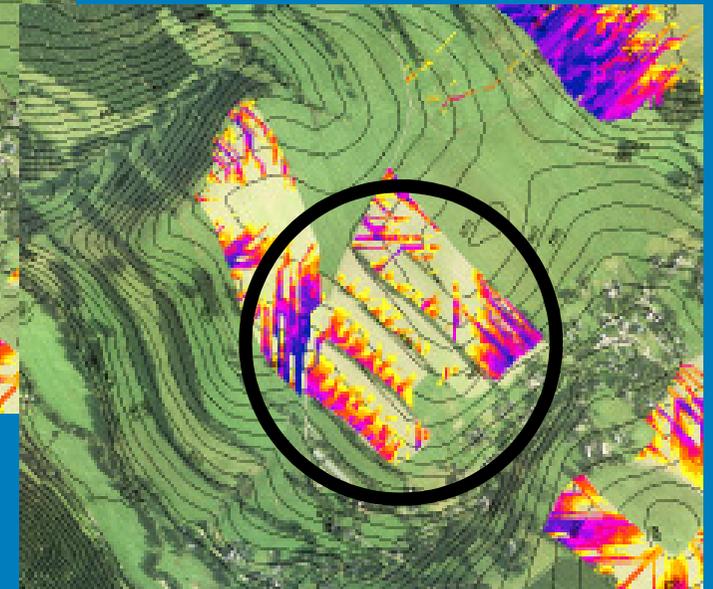
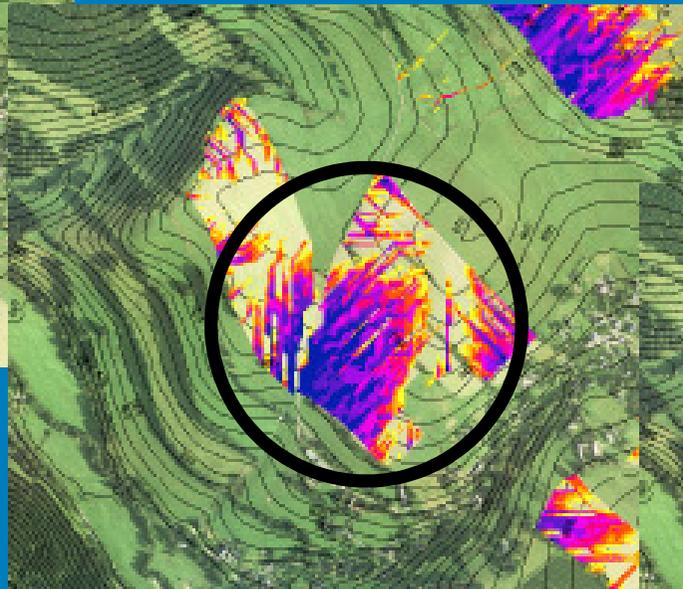
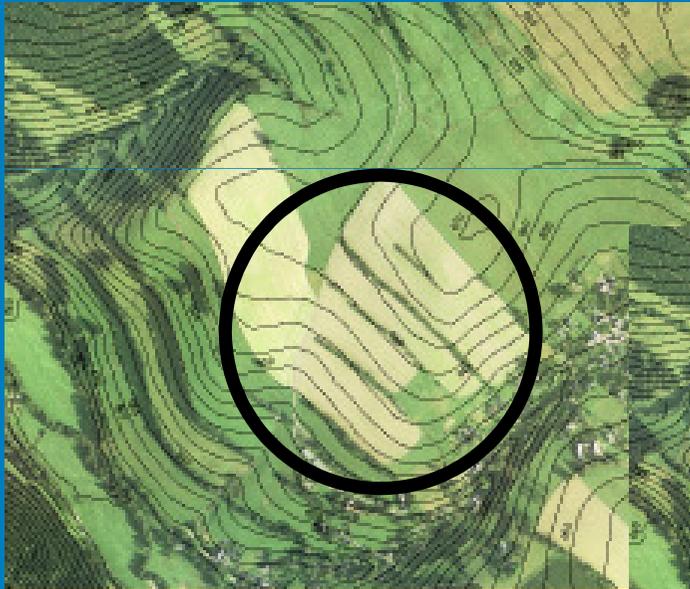
# Anwendungsbeispiel: Flächenhafter Bodenabtrag



## Validierung der Prognose im Gelände



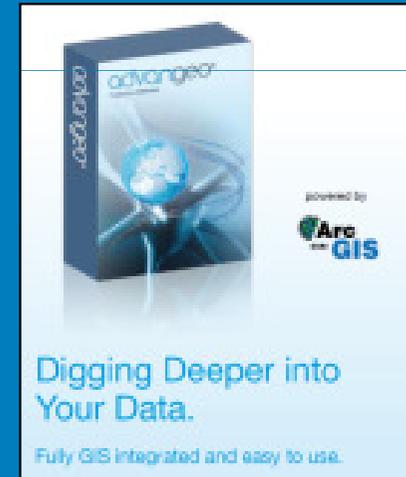
## Optimierung von Schutzmaßnahmen



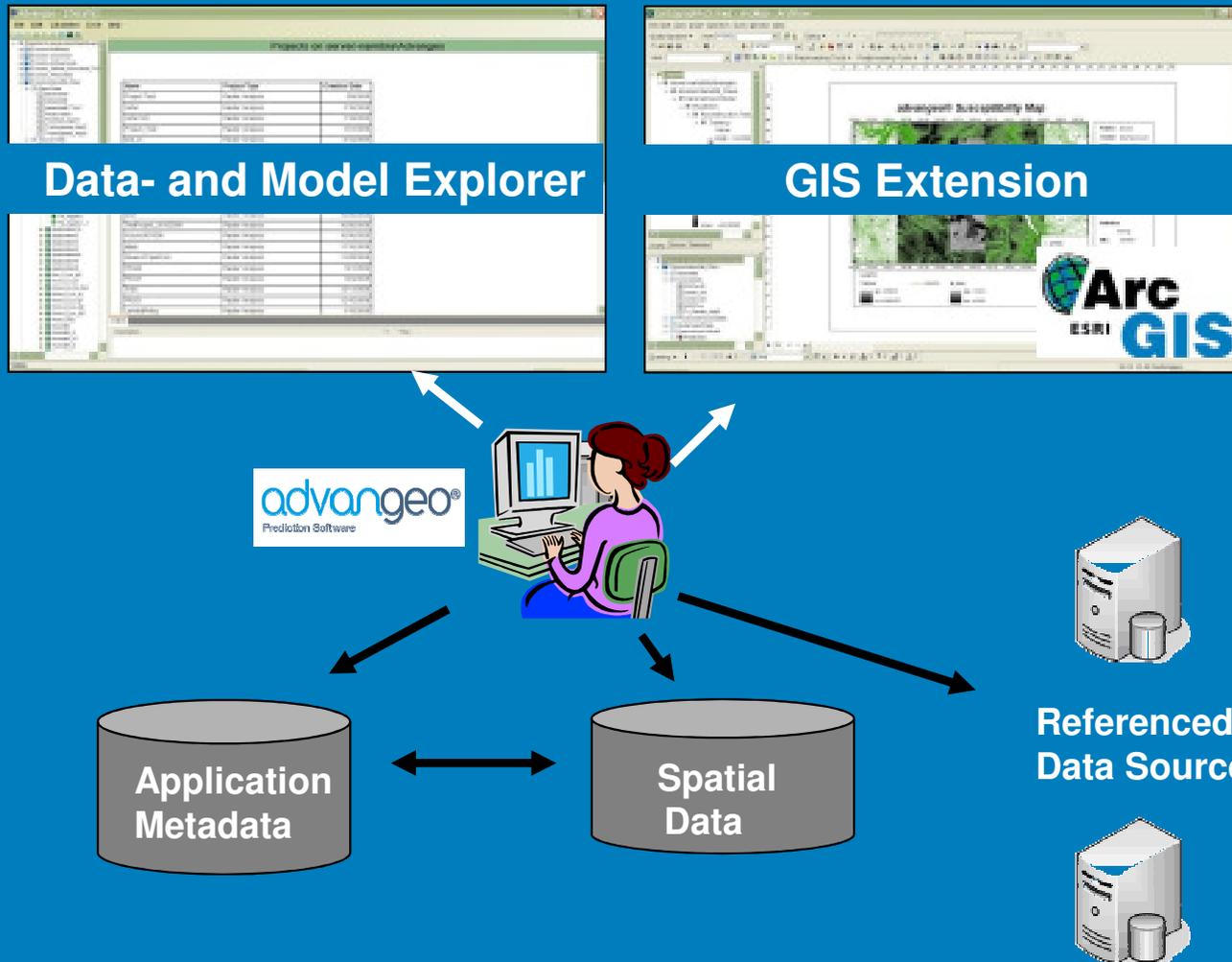
Manipulation des DGM

- Einfacher Zugang zu Methoden der Künstlichen Intelligenz zur Prognose räumlicher Daten
- Dokumentation der Arbeitsschritte
- Erfassung und Verwaltung der Metadaten
- Werkzeuge zur Datenaufbereitung, -nachbereitung und kartographischen Präsentation
- Integration in ESRI ArcGIS-Software

advangeo®  
Prediction Software



# advangeo: Softwarearchitekture



## Arbeitsschritte:

- 1. Formulierung der Aufgabenstellung
- 2. Abgrenzung des Modellgebiets
- 3. Zusammenstellen der Datengrundlagen
- 4. Datenaufbereitung (datentechnisch, fachlich)
- 5. Statistisches Preprocessing  
(Skalentransformationen, Datenpartitionierung, Dimensionsreduktion...)
- 6. Aufbau und Berechnen der Modellszenarien
- 7. Darstellung der Prognoseergebnisse

# advangeo: Daten- und Modellexplorer

Menü & Toolbar  
mit Werkzeugen und Funktionen

Formular zur Erfassung, Bearbeitung und Anzeige  
von Datenobjekten und Modellen

The screenshot shows the Advangeo software interface. On the left is a project explorer with a tree view of folders and files. The main area is a form for editing a 'Base Raster' object, with fields for Name, Project, Area, Date/Path, Legend, Description, Source/Path, Units, and Reference System. Below the form is a table titled 'Base Data for Erosion' with columns for Technical Name, Dataset Name, Base Data Name, and Creation Date.

Technical Name	Dataset Name	Base Data Name	Creation Date
veuraster	veuraster	Base Raster	2003008
Projektdaten	Projektdaten	Projektdaten	2003008
korfordat	korfordat1	Subarea	2003008
Kontrollat Teil 1	K01_Teil	Subarea	2003008
Trainingsarea_App1	Trainingsarea	Subarea	4003008
Testarea_App1	Testarea_App1	Subarea	4003008
Trainingsarea_App2	Tr_Test2	Subarea	4003008

Explorer zur Projekt - Navigation mit  
Kontext Funktionalitäten

Meldungsfenster mit Informationen  
zu Status, Warnungen, Fehlern

Übersicht über  
Datenobjekte & Modelle

# advangeo: Prediction Modeling

**Multi Layer Perceptron - Training Scenario**

Creator: BEAK/knobloch      Creation Date: 14.09.2010  
Project: Erosion\_Glashuetta      Model: Racheversion 4 (Slope, BK, FN, RowAcc)  
Name: Training Racheversion 4 (Slope, BK, FN, RowAcc (LowPass))      File Name: NT13  
Data Path: \\vs-daten\Projekte\2009\0051-0100-20090090\_Einzugsgebiet\_HRB\_Glashuetta\Bearbeitung\advangeoprojekte\Glashuetta\_T1\Paramodels\Prediction\PM13\Tr

Legend:   
Description:   
Result | **Error** | Model Data | Network Topology | Learning Parameters | Training Parameters

**MSE Error**

Number of Epochs	Error
1	0.24847000980377
2	0.33579524377823
3	0.374891857408616
4	0.294831150312424
5	0.24461105141448
6	0.25626439549637
7	0.24251001878168
8	0.22624990713768
9	0.220328743226166
10	0.20506075949532
11	0.19820323954639

**Error**

**Output**

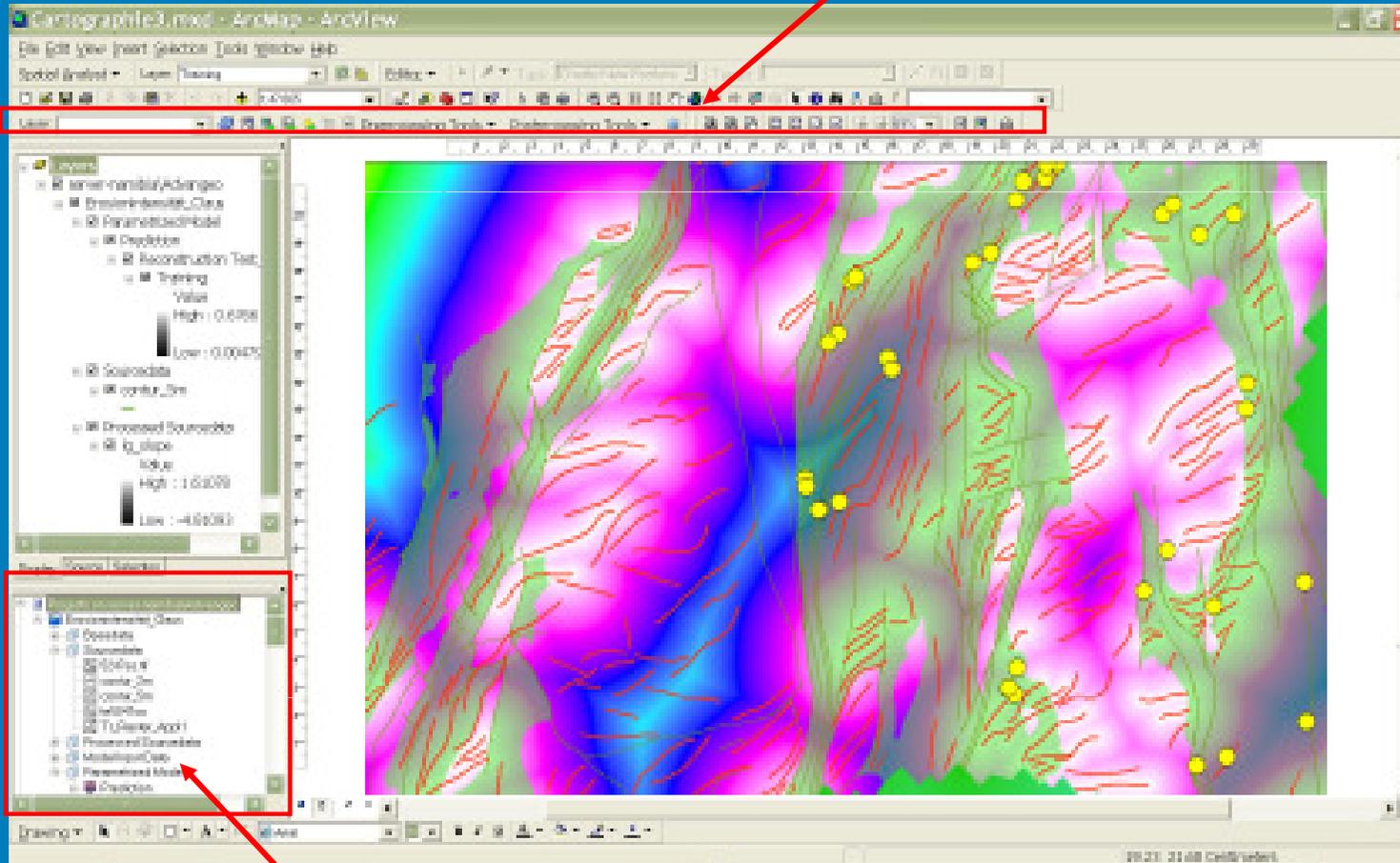
Description	Type	Time
Successfully loaded. Training Scenario: Training Racheversion 4 (Slope, BK, FN, RowAcc (LowPass))	INFO	14:59:37
Successfully loaded. Application Scenario: Application Racheversion 4 (Slope, BK, FN, RowAcc (LowPass))	INFO	14:59:38
Successfully loaded. Processed Source Data: Trainingsdaten Ental	INFO	14:54:53

Trainingskurve

Auswahl von Model Input Data, Network Topology, Learning Parameter, Training Parameter

# advangeo: GIS-Extension mit Toolbar und Treeview

Toolbar mit Werkzeugen zur Datenbearbeitung & Kommunikation mit advangeo



Explorer mit Projektdaten & zugehörigen Kontextmenüs zum schnellen Einladen von Projektlayers & zur Kommunikation mit advangeo

## Weitere Anwendungsbeispiele

- Prognose der Erosionsanfälligkeit von Böden
  - Bodenkriechen
  - Erosionsrinnen/-schluchten
- Prognose der Bodenbelastung in Siedlungsgebieten
- Prognose des Schädlingsbefalls im Forst
- Regionalisierung von bodenkundlichen Punktdaten (Feuchtestufe, Humusstufe, TOC)



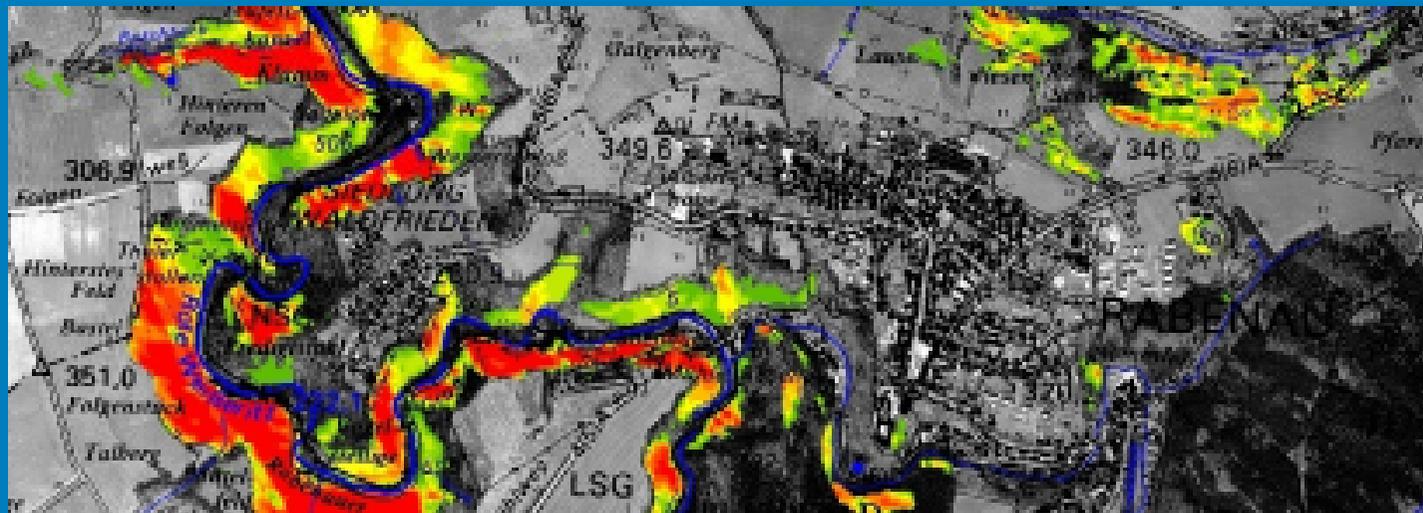
# Anwendungsbeispiel 2: Bodenkriechen

## Eingangsdaten:

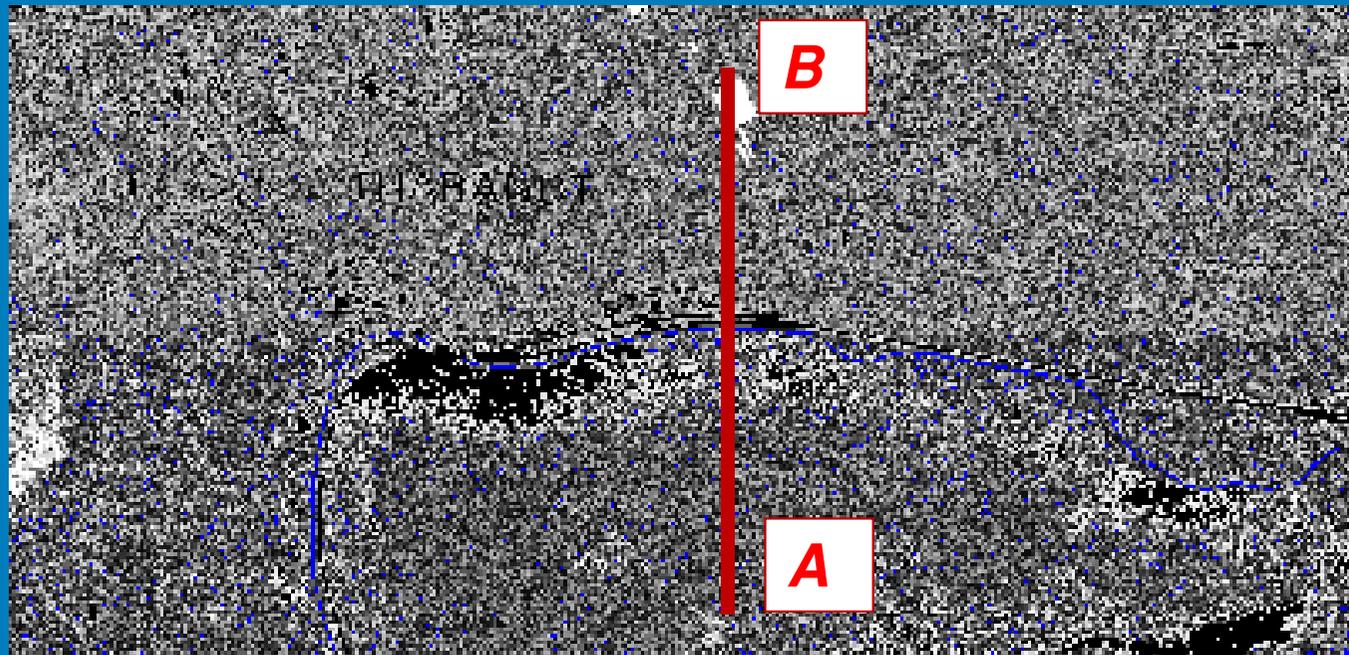
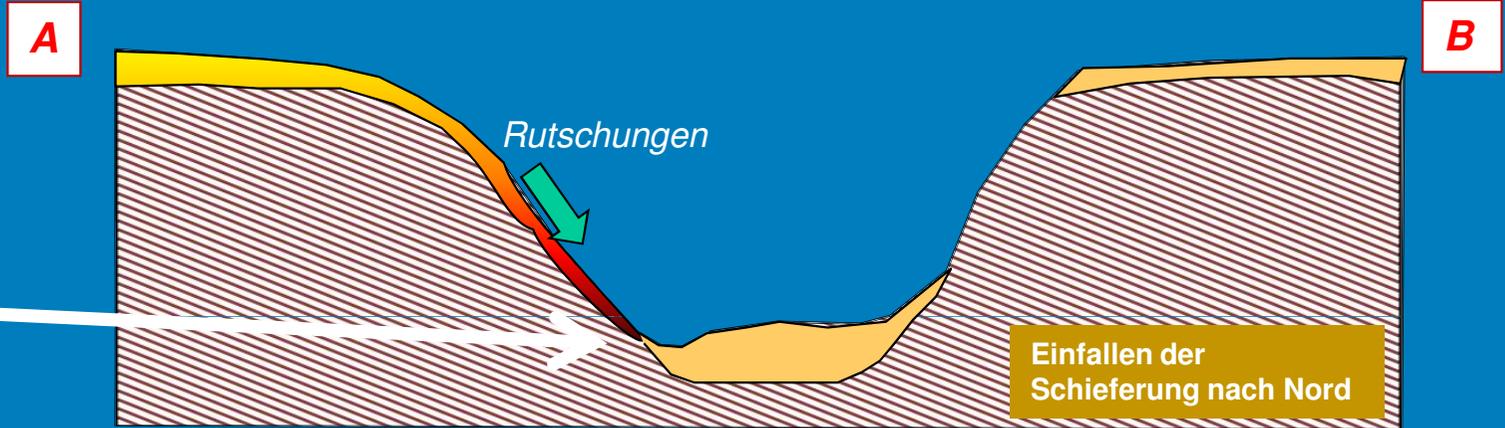
Höhenmodell und dessen Derivate  
Geologie: Lithologie, Schieferung  
Flächennutzung  
Bodenarten

## Trainingsdaten:

Bekannte Flächen mit  
Rutschungsprozessen



# Anwendungsbeispiel 2: Bodenkriechen





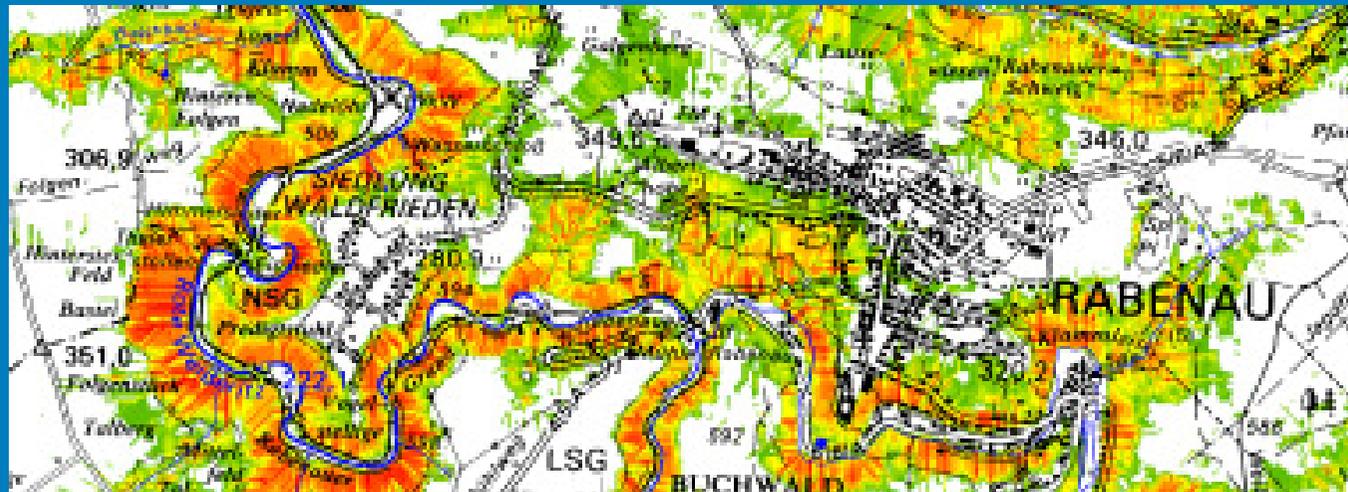
# Anwendungsbeispiel 3: Erosionsrinnen/-schluchten

## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate  
Geologie: Lithologie, Schieferung  
Flächennutzung  
Bodenarten

## Trainingsdaten:

Bekannte Flächen mit  
Erosionsrinnen



# Anwendungsbeispiel 4: Bodenbelastung in Siedlungsgebieten

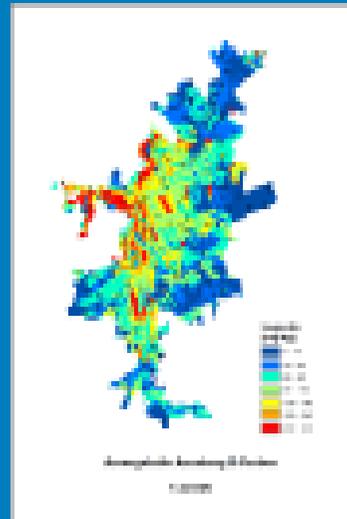
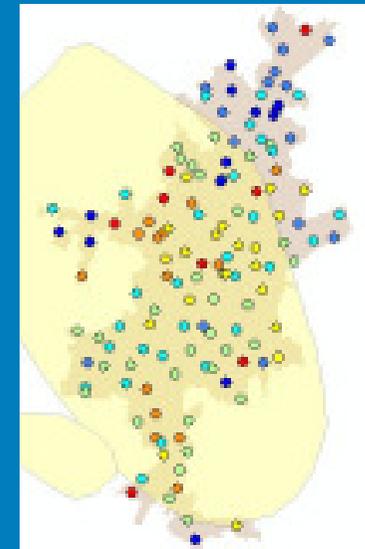
## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate  
Geologie: Lithologie, Alter, Gänge  
Flächennutzung  
Schlacke

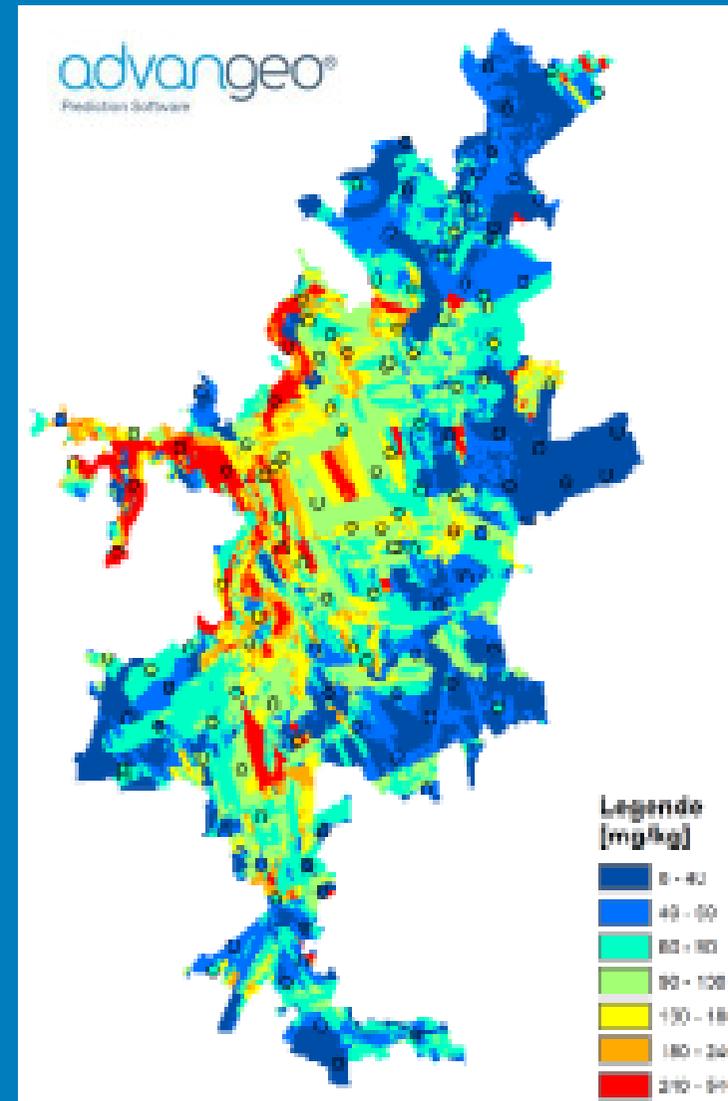
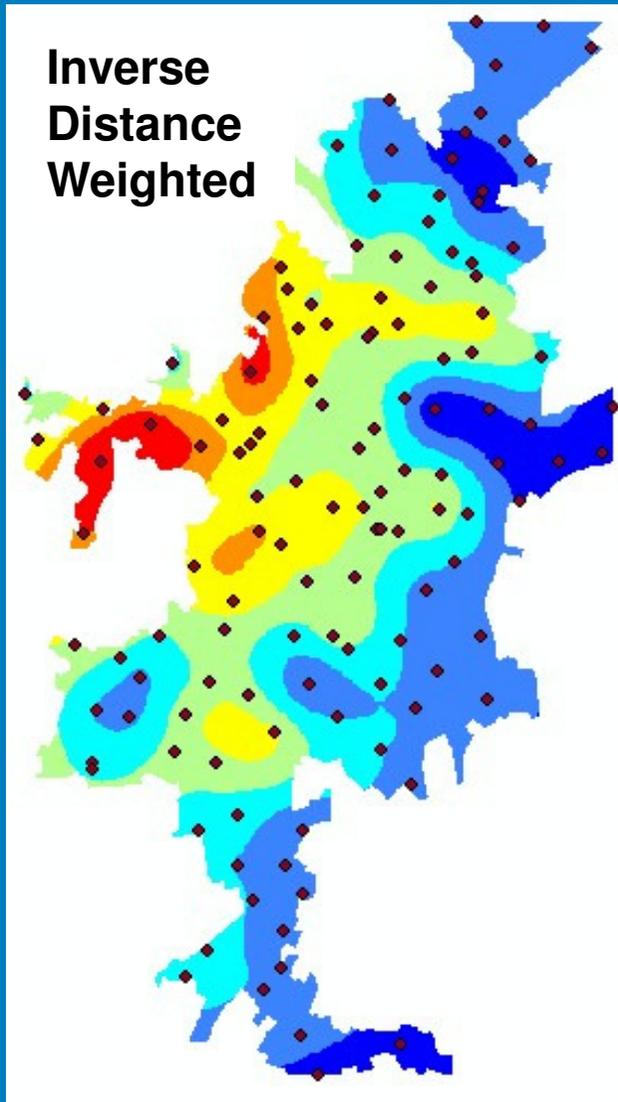


## Trainingsdaten:

Bekannte Flächen mit  
bekannten Gehalten  
(130 Proben)



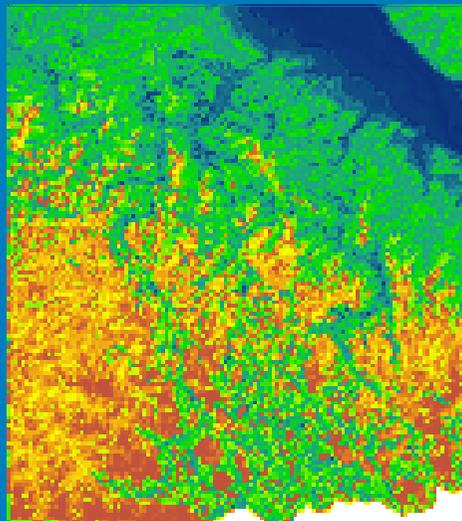
# Anwendungsbeispiel 4: Bodenbelastung in Siedlungsgebieten



# Anwendungsbeispiel 5: Gefährdung von Fichtenbeständen durch den Buchdrucker

## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate,  
Bodenkarte,  
Bestandsdaten

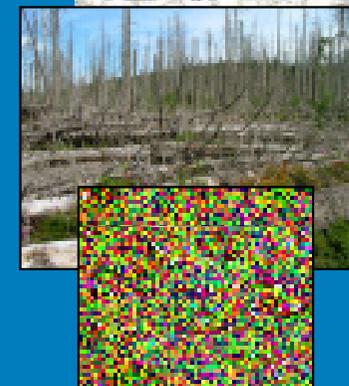
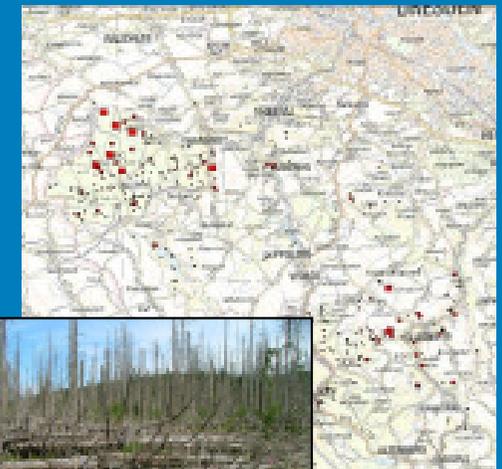


**Untersuchungsgebiet:**  
Forste im Osterzgebirge /  
Tharandter Wald

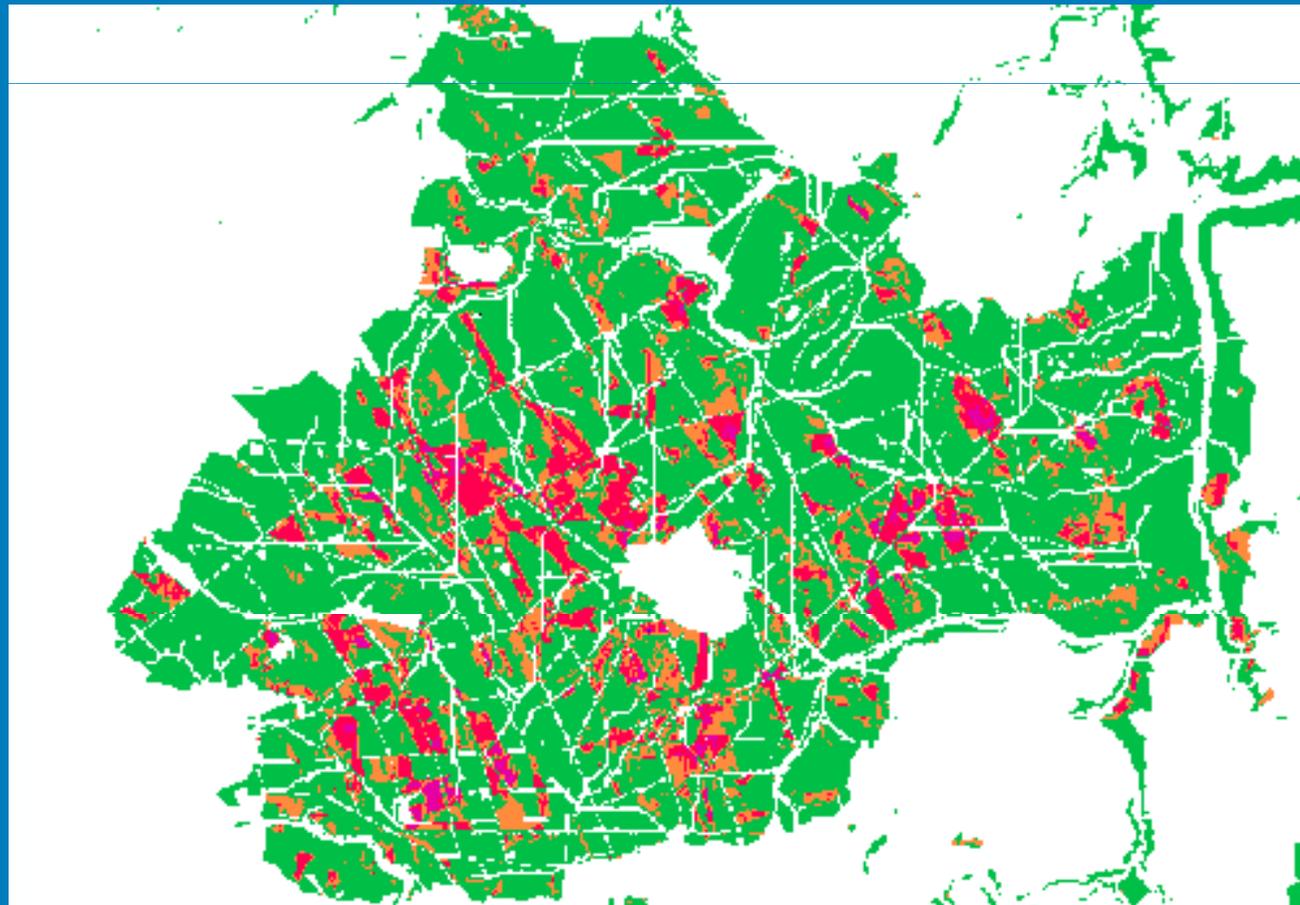


## Trainingsdaten:

Qualitative/  
Quantitative  
Befallsdaten



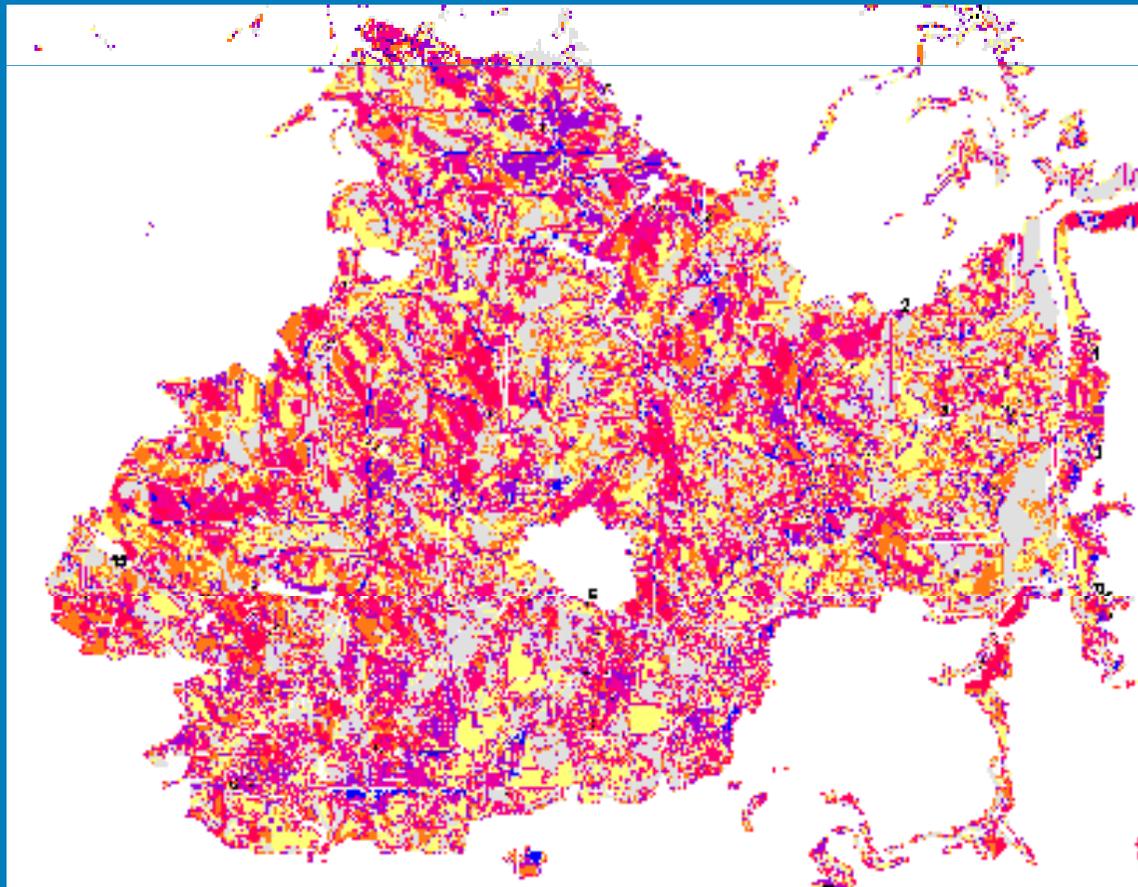
## Gemitteltetes Ergebnis aus insgesamt 15 Modellen mit verschiedenen Eingangsdaten



**Trainingsdaten:**  
Befallsdaten 2008  
kodierte als:  
Befallspunkte = 1  
Rest= 0

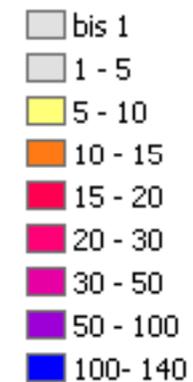
- keine Gefährdung
- geringe Gefährdung
- mittlere Gefährdung
- hohe Gefährdung
- sehr hohe Gefährdung

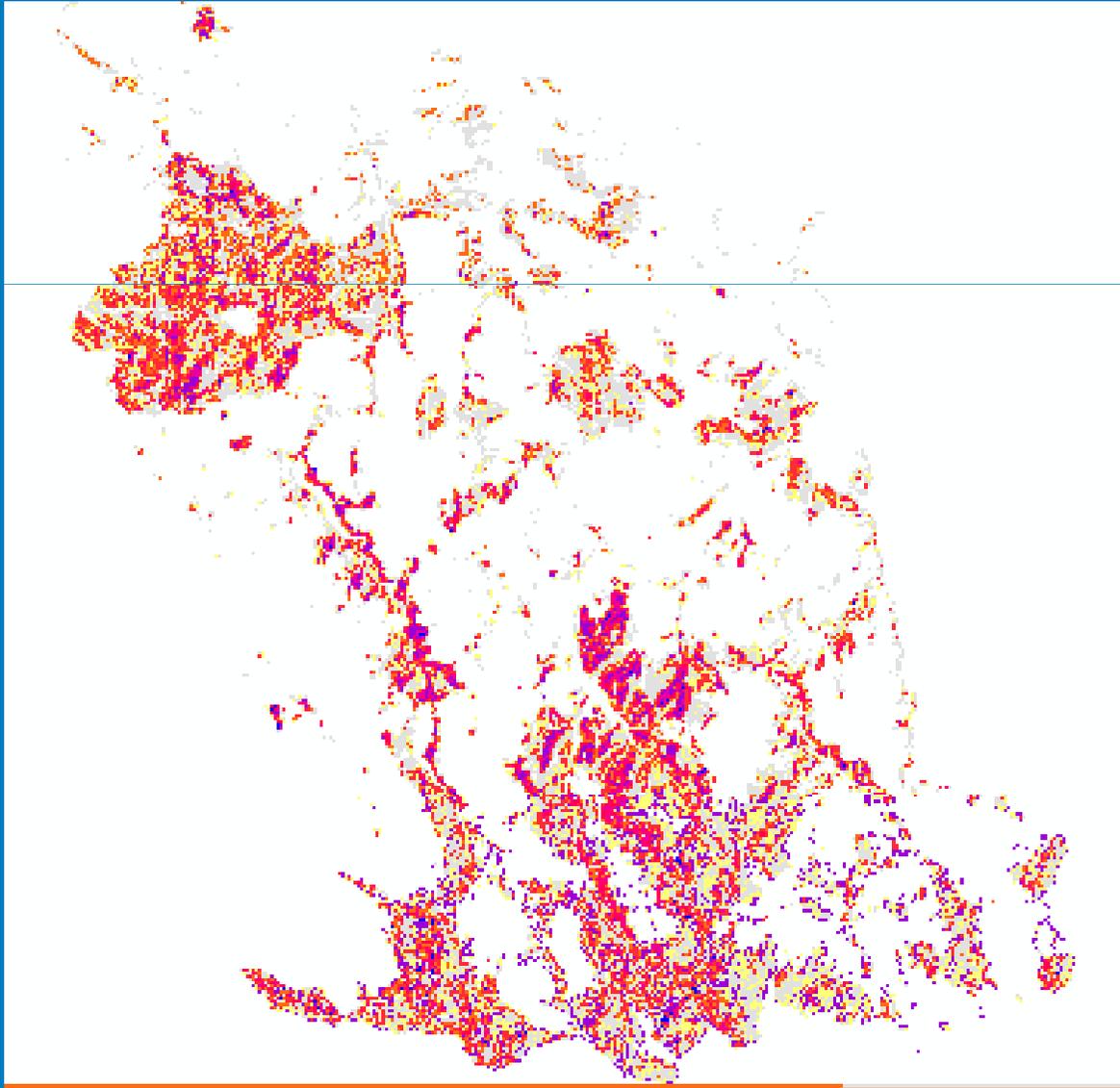
## Gemitteltetes Ergebnis aus insgesamt 15 Modellen mit verschiedenen Eingangsdaten



**Trainingsdaten:**  
Befallsdaten 2008  
kodierte als:  
Befallsmenge normiert

### ***Befallsmenge (m<sup>3</sup>/Befallstelle)***



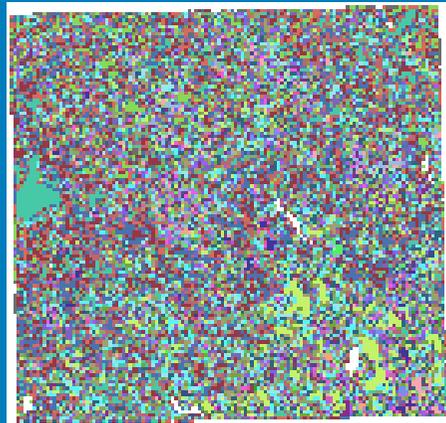


**Ergebnis  
übertragen  
auf das gesamte  
Osterzgebirge  
(nur Waldflächen)**

# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*

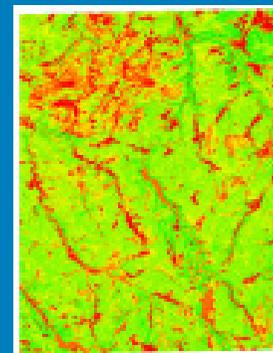
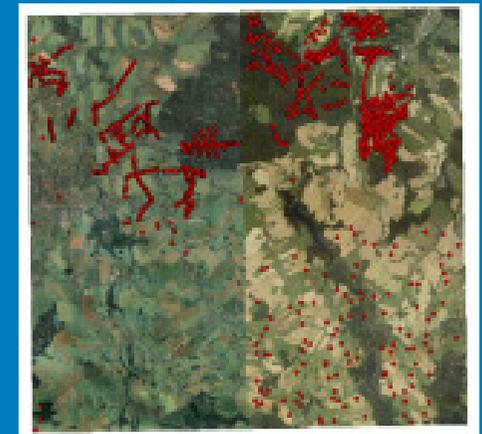
## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate  
Bodenkarte  
Klimadaten  
Flächennutzung



## Trainingsdaten:

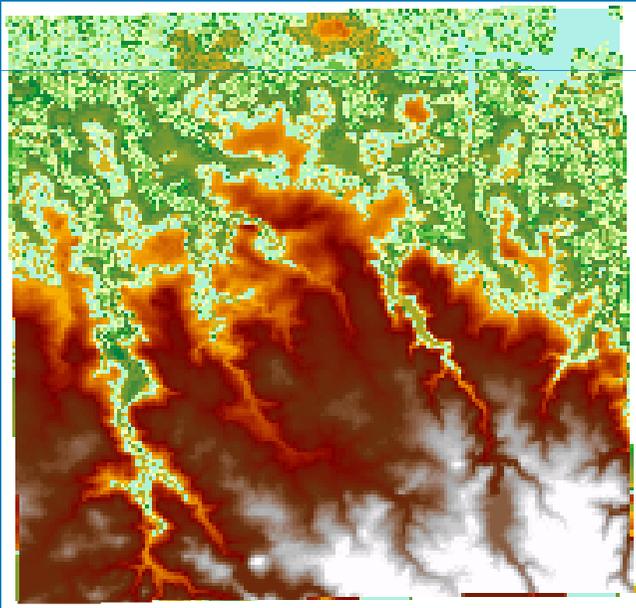
Peilstangen-  
Sondierungen  
(1252 Punkte)



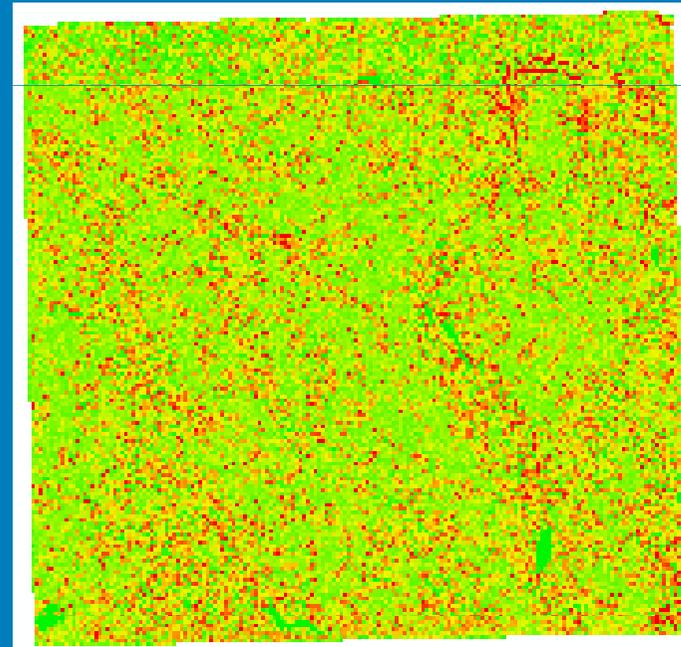
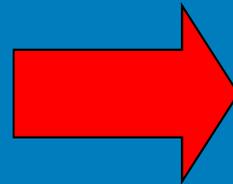
→ feu1 – feu6

TK 5046, 5047, 5146, 5147

Eingangsdaten: Ableitung des Digitalen Geländemodells  
→ Hangneigung

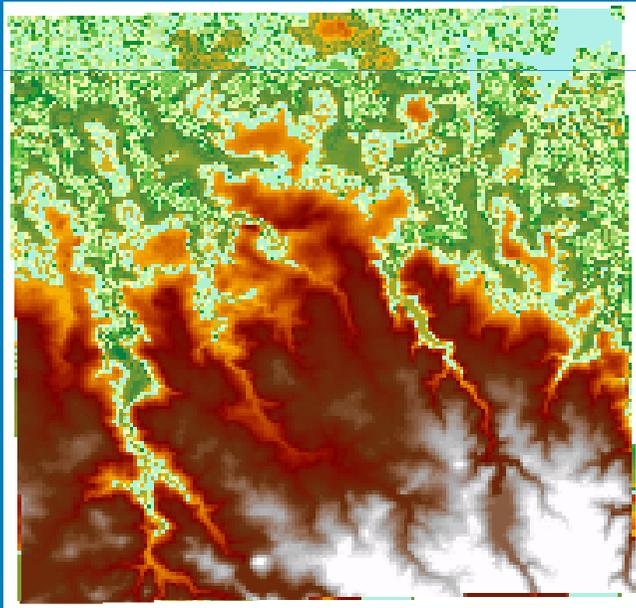


DGM Sachsen 20m

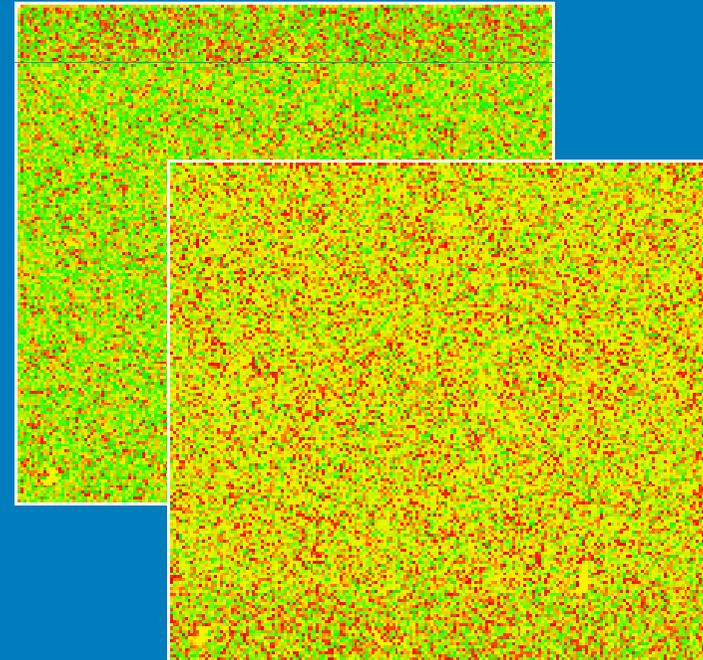
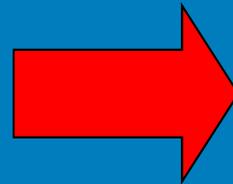


Hangneigung [°]

**Eingangsdaten:** Ableitung des Digitalen Geländemodells  
→ Exposition (N-S, W-E)



DGM Sachsen 20m

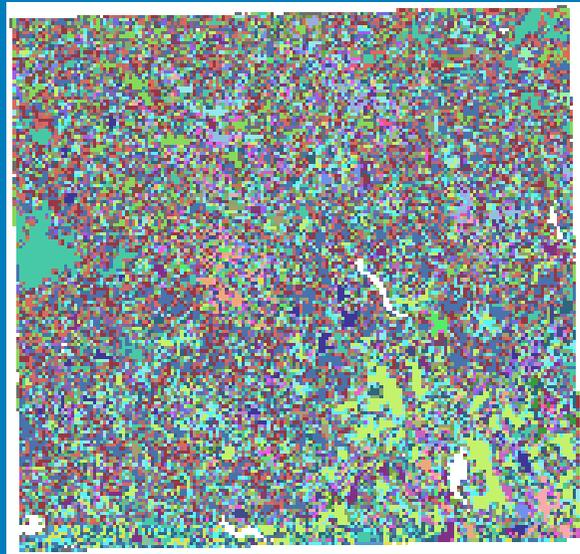


Exposition N-S / W-E

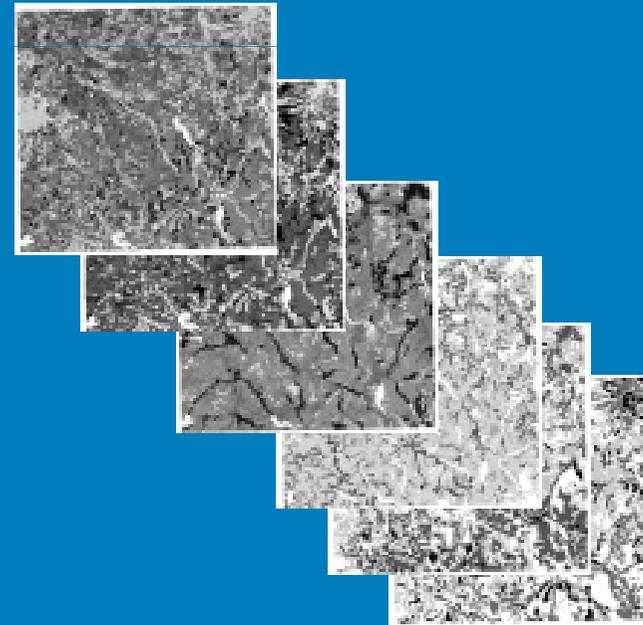
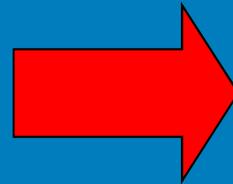


## Eingangsdaten: Bodenkarte

→ Feinboden (Ton, Schluff, Sand) Feinskelett,  
Grobskelett, Humusstufe



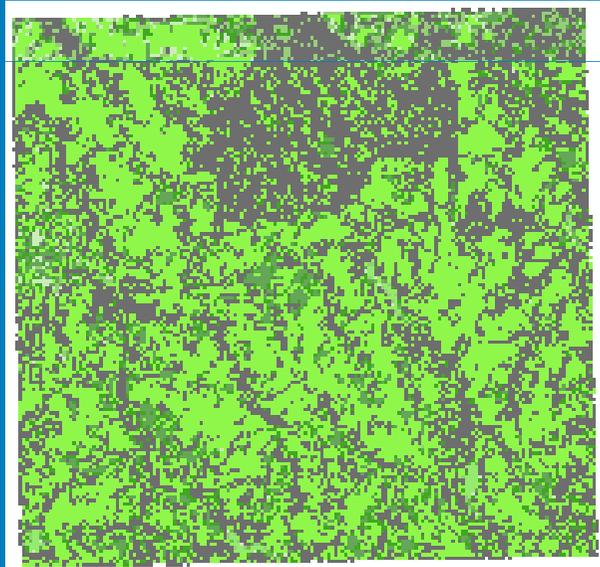
**Bodenkarte**



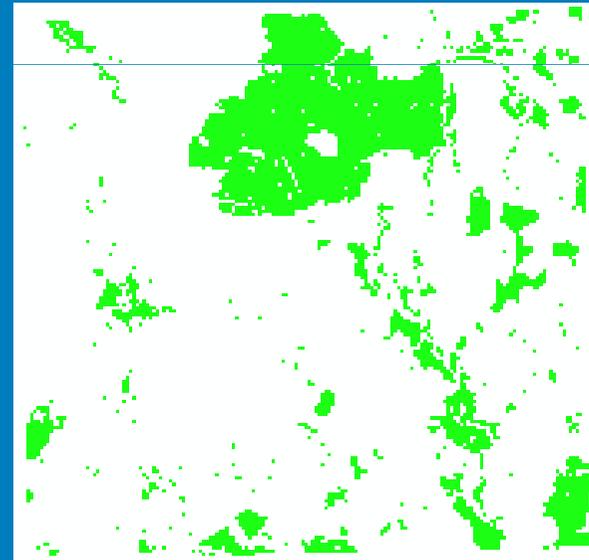
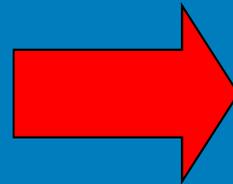
**Feinboden (Ton, Schluff, Sand),  
Feinskelett, Grobskelett, Humusstufe**



**Eingangsdaten:** Flächennutzung (Biotoptypenkartierung)  
→ Wald, Acker, Dauergrünland, etc.



Flächennutzung (Biotoptypen)

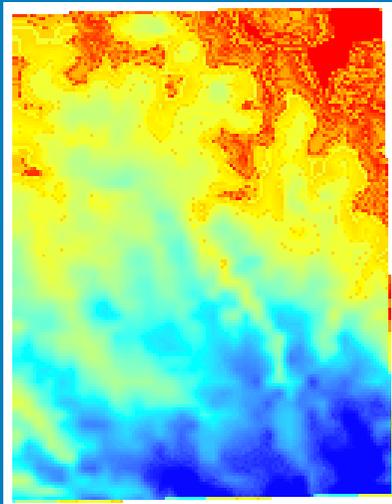


Einzel-Raster für jede Flächennutzungsart  
(Wald, Acker, Dauergrünland, etc.)

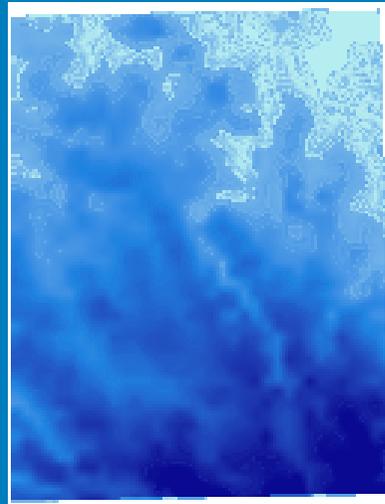


## Eingangsdaten: Klimadaten

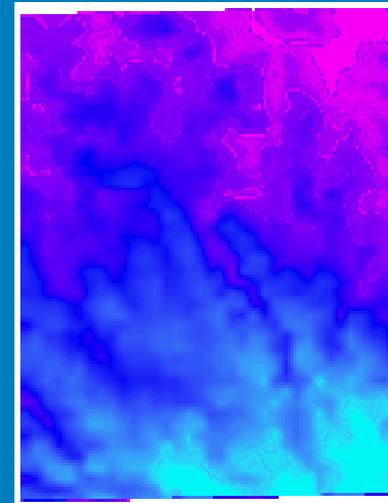
→ Verdunstung, Niederschlag, relative Feuchte



Verdunstung [mm]

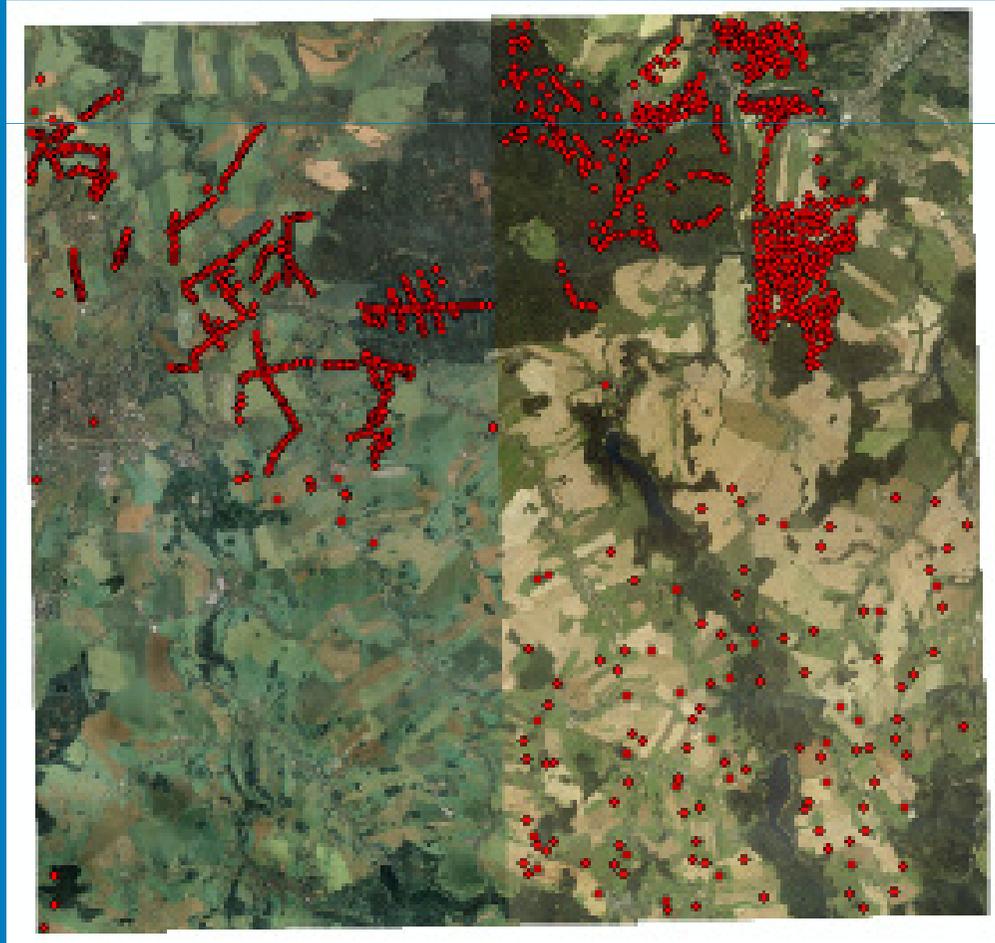


Niederschlag [mm]

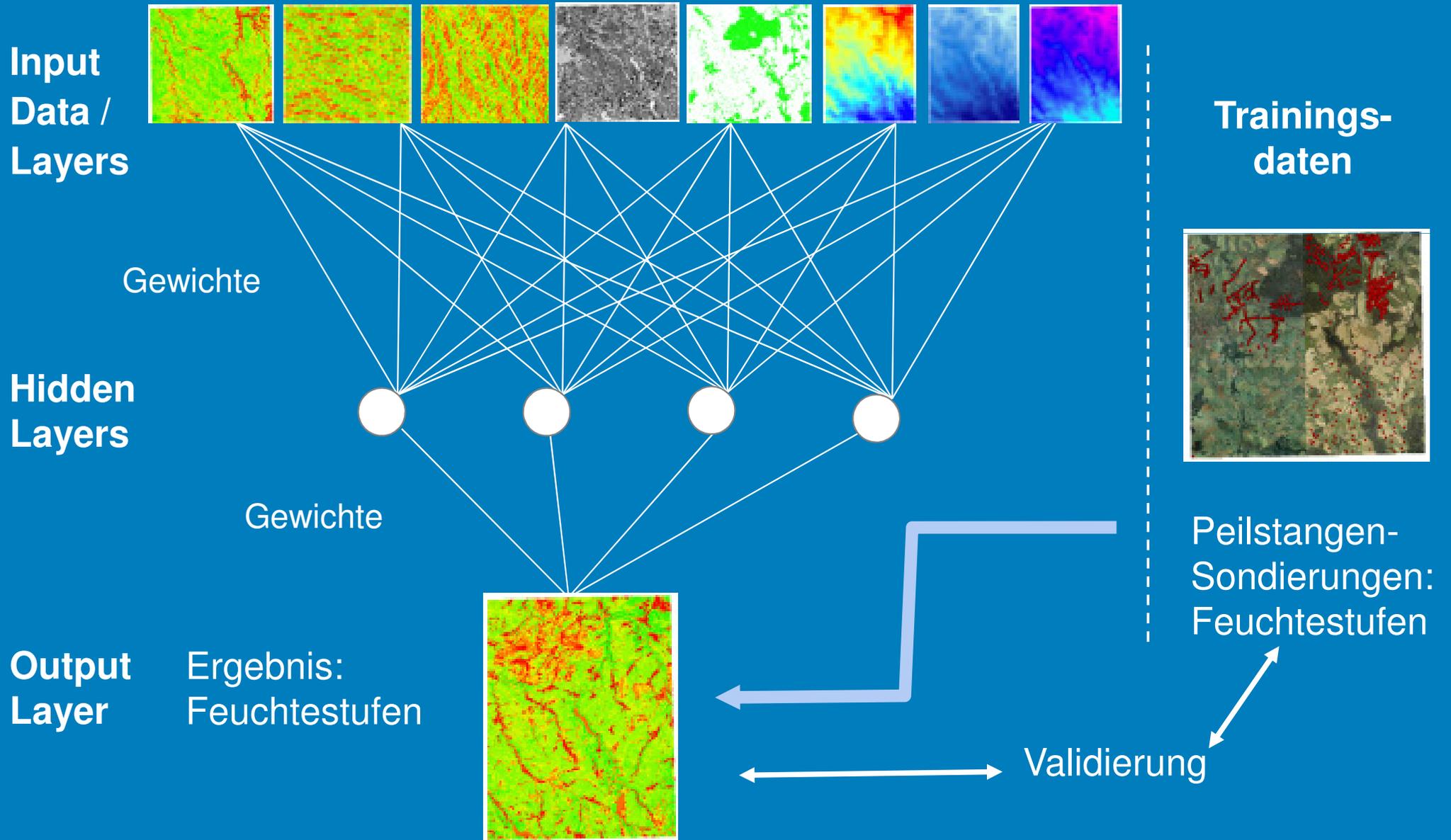


Relative Feuchte [%]

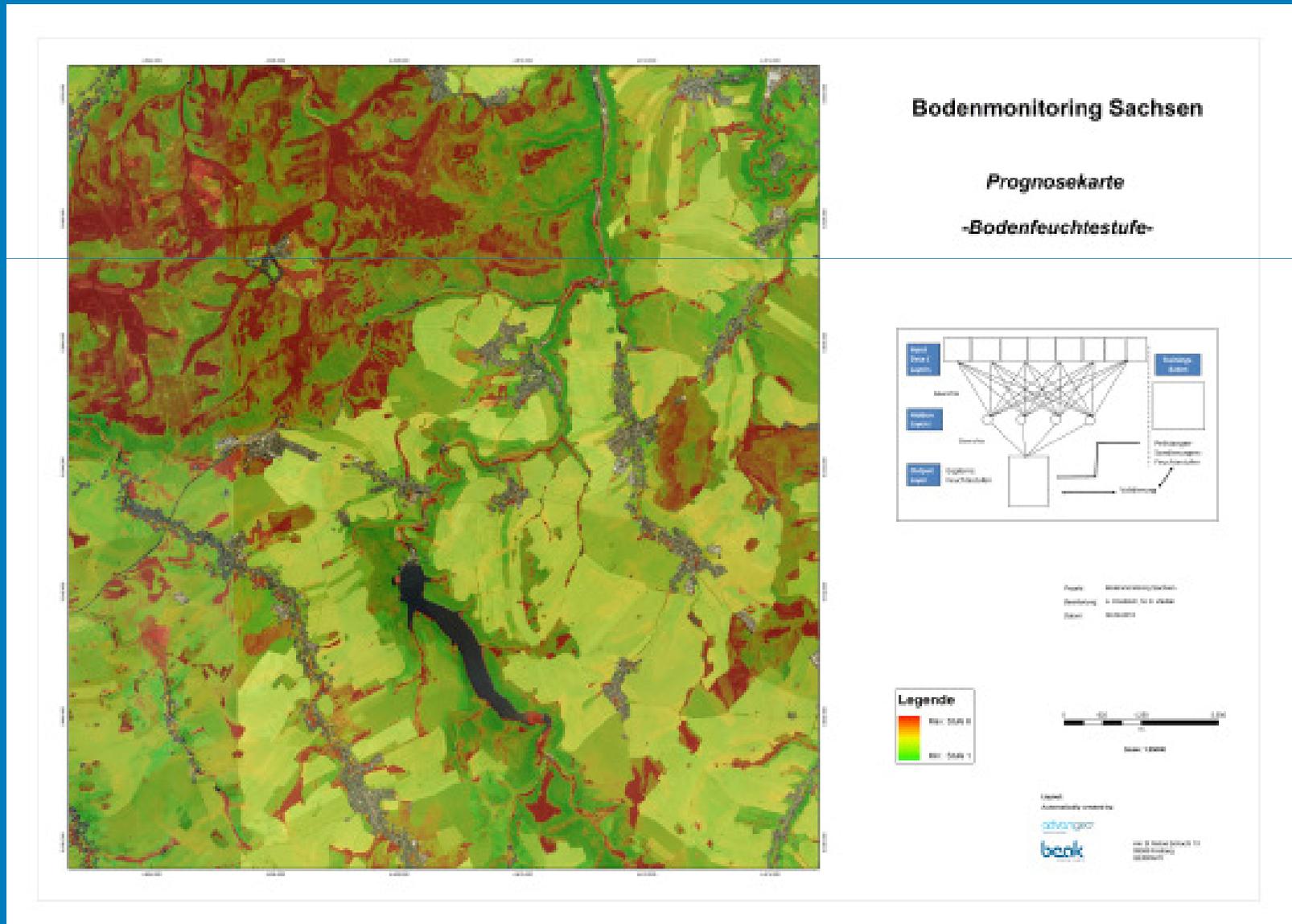
**Trainingsdaten:** 1252 Peilstangensondierungen mit Feuchtestufen  
→ feu1 – feu6



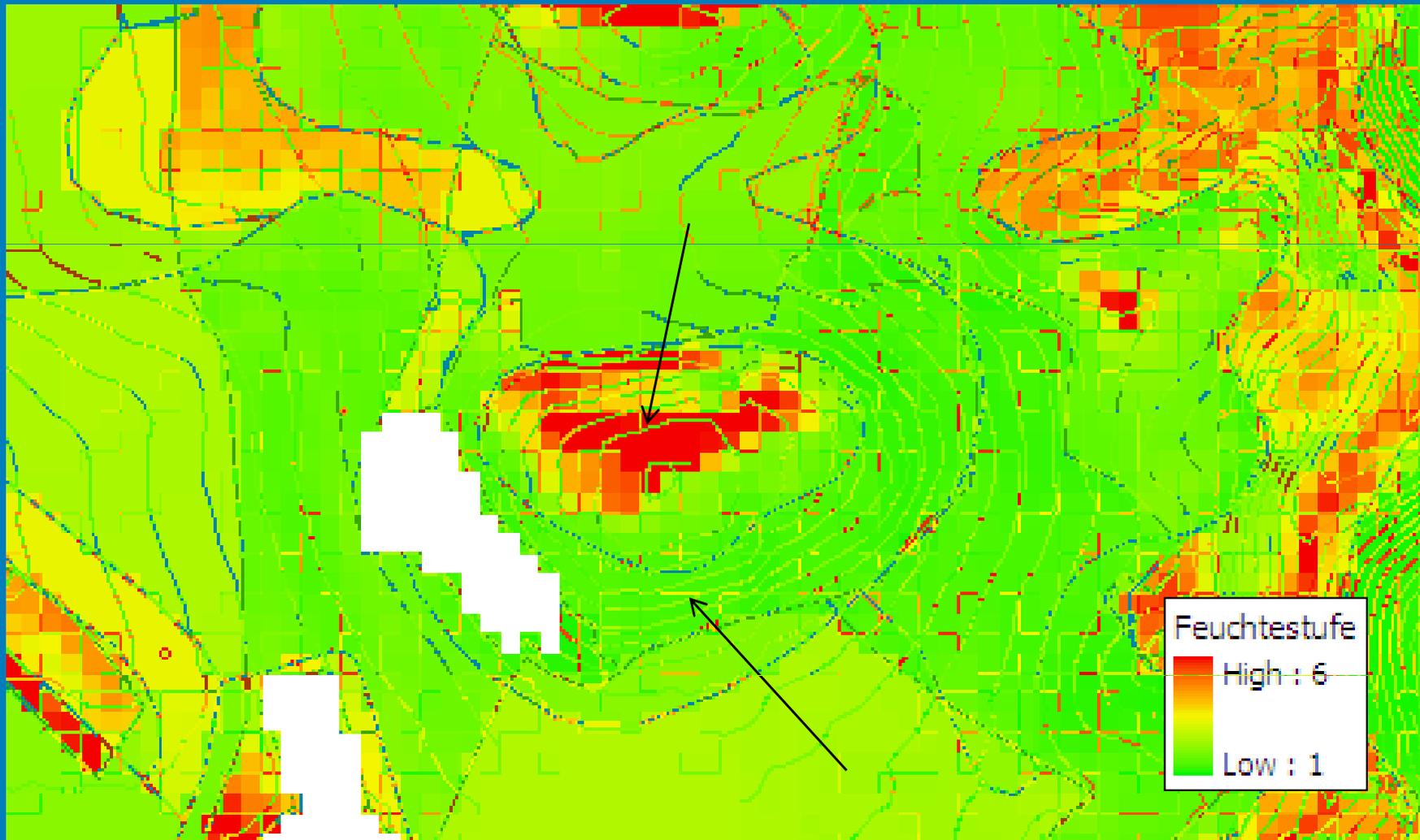
# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*



# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*

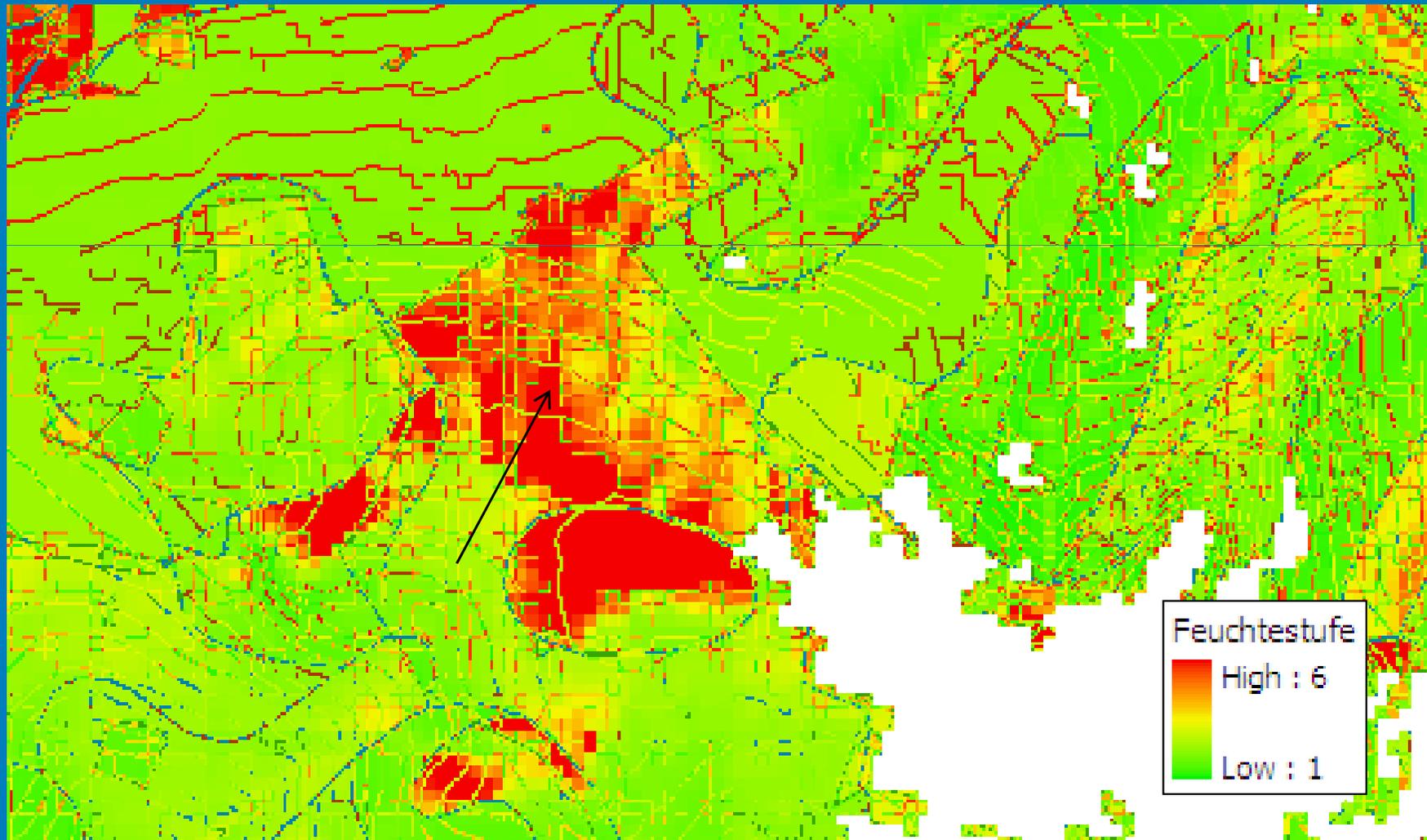


## Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*



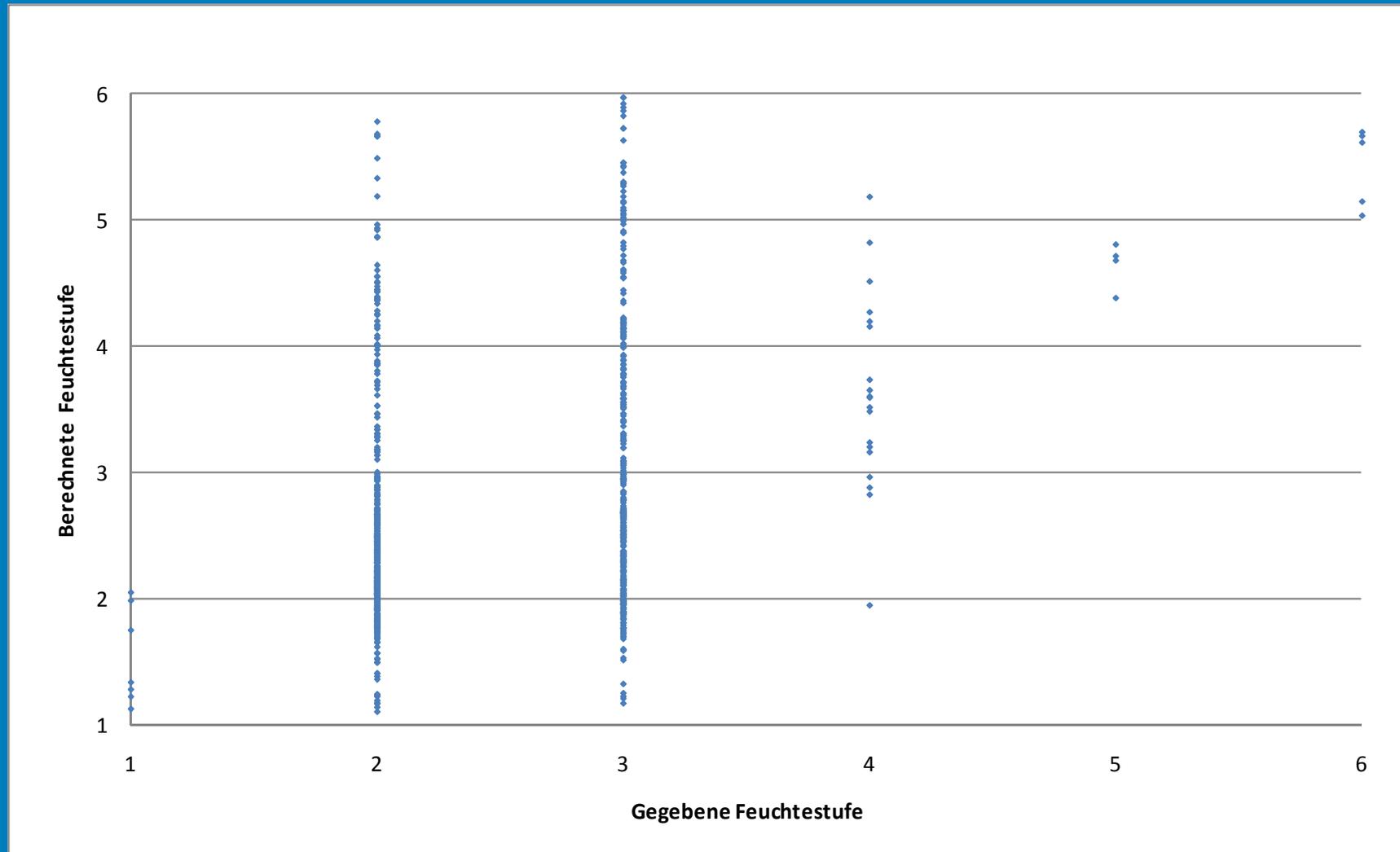
Einfluss der Hangexposition (hier: N-Hang) / Klima (Niederschlagsverteilung)

## Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*



Sichtbarer Gradient der Bodenfeuchte innerhalb eines Biotoyps (hier: Grünfläche)

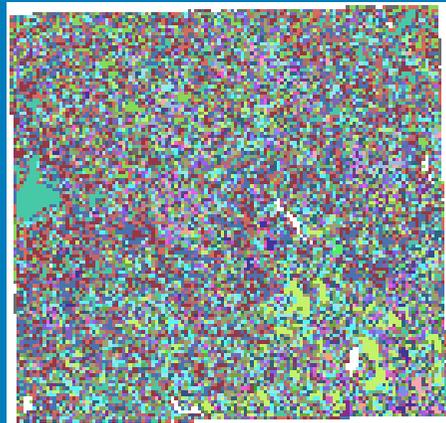
# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Feuchtestufe*



# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Humusstufe*

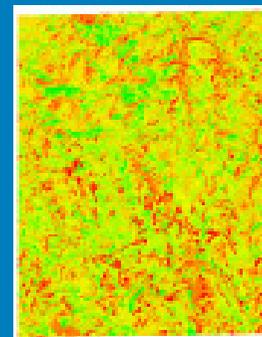
## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate  
Bodenkarte  
Klimadaten  
Flächennutzung



## Trainingsdaten:

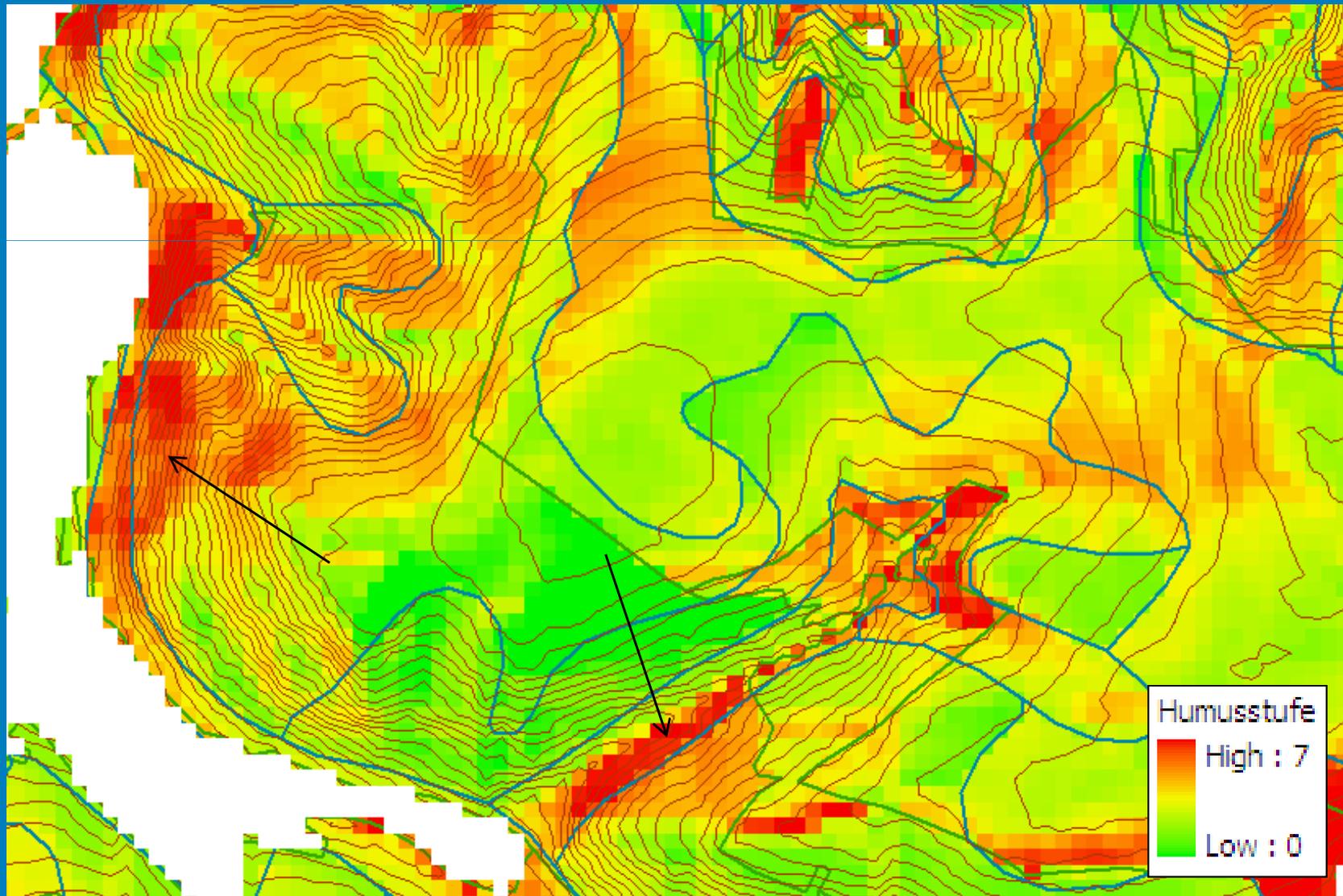
Peilstangen-  
Sondierungen  
(1725 Punkte)



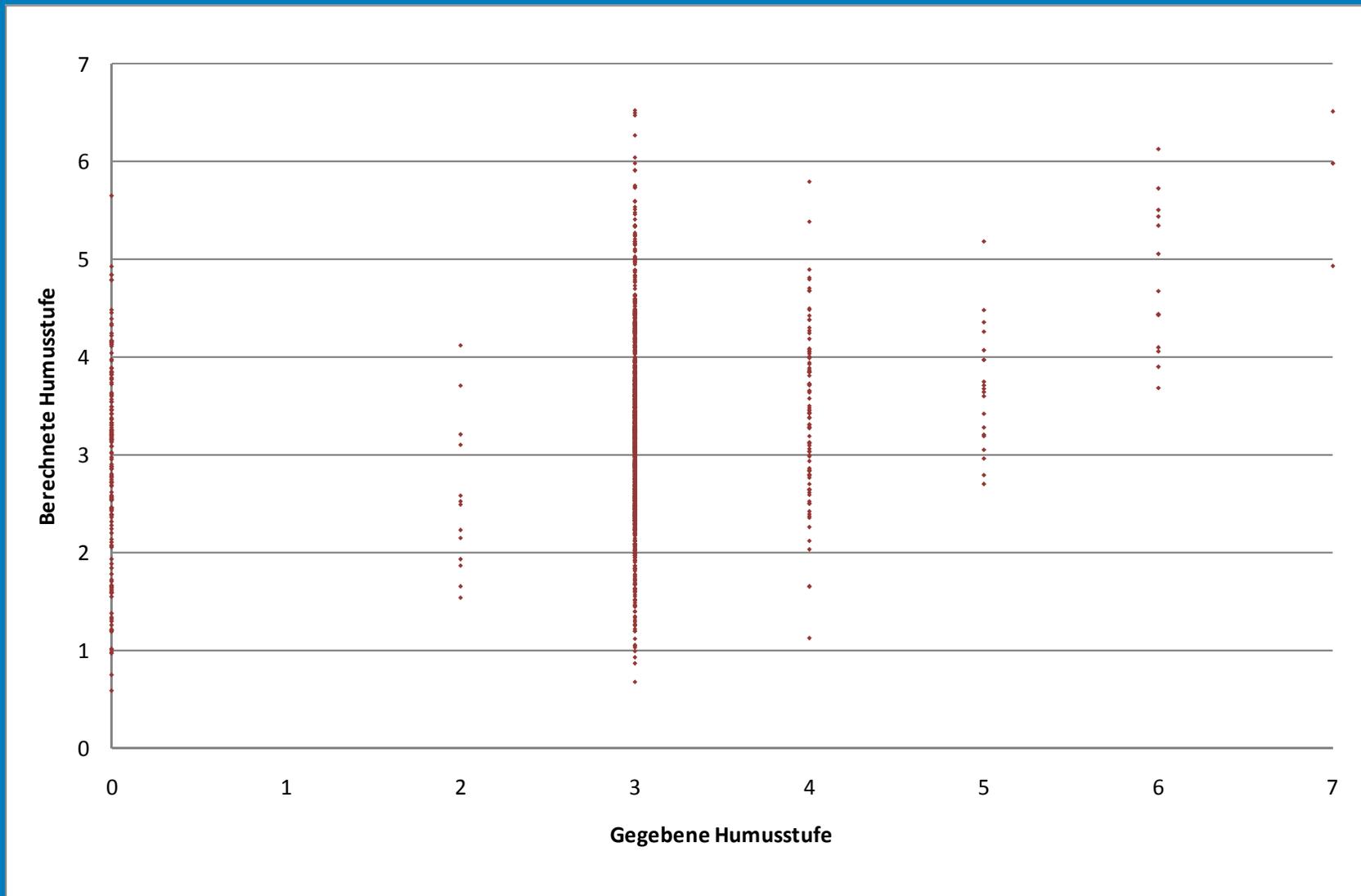
→ h0 – h7

**TK 5046, 5047, 5146, 5147**

## Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Humusstufe*



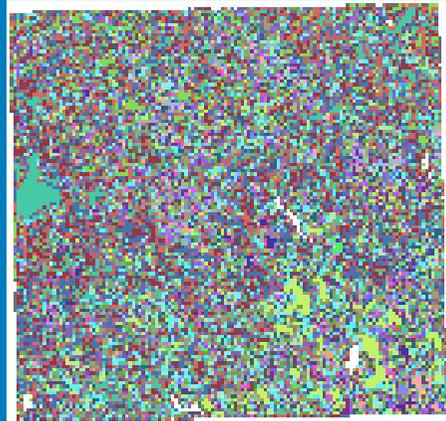
# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *Humusstufe*



# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *TOC [%]*

## Eingangsdaten:

Höhenmodell und dessen Derivate  
Bodenkarte  
Flächennutzung



LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE

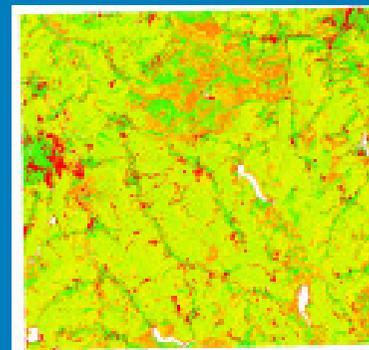


## Trainingsdaten:

Bodenschürfe  
(38 Punkte)



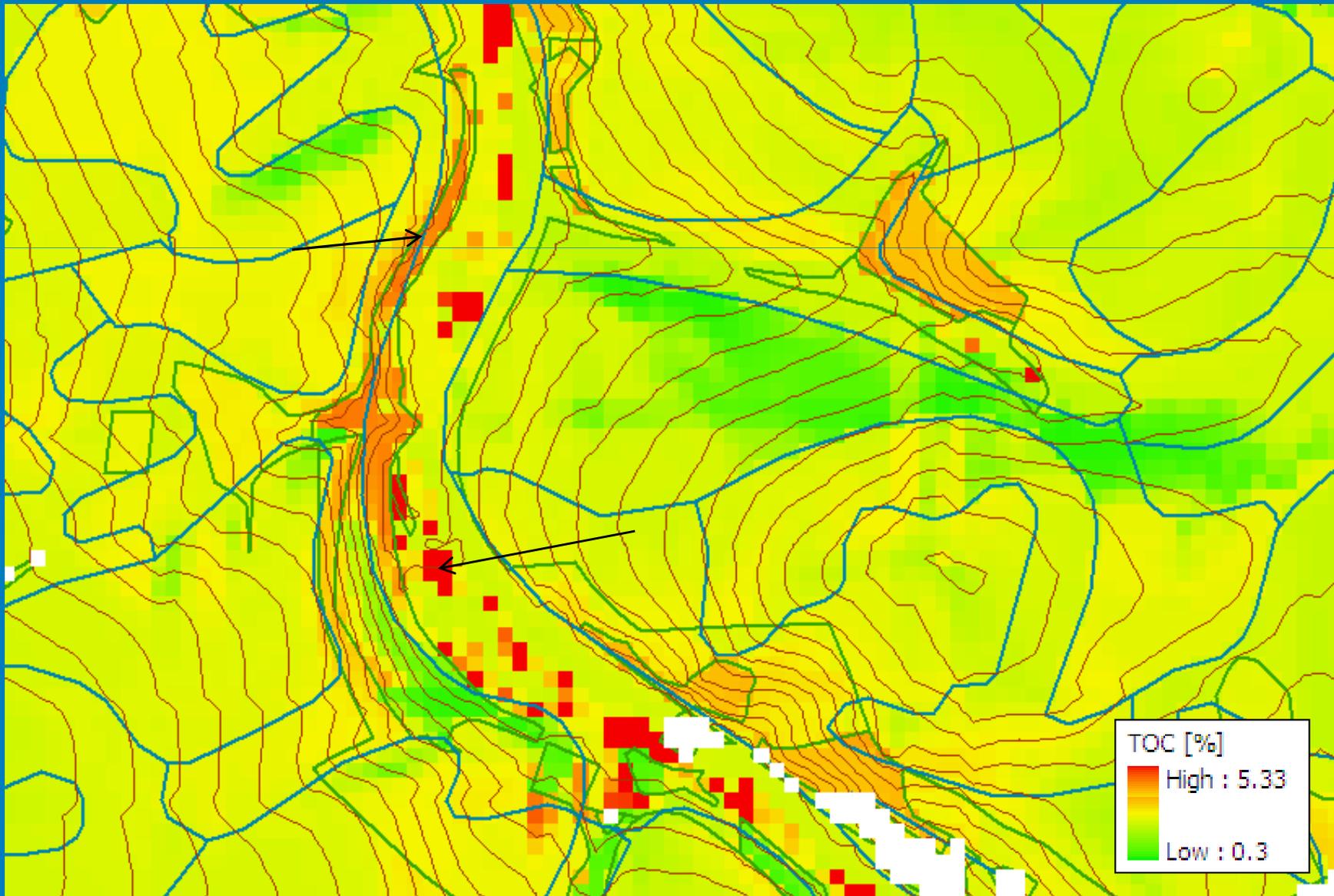
advangeo®  
Prediction Software



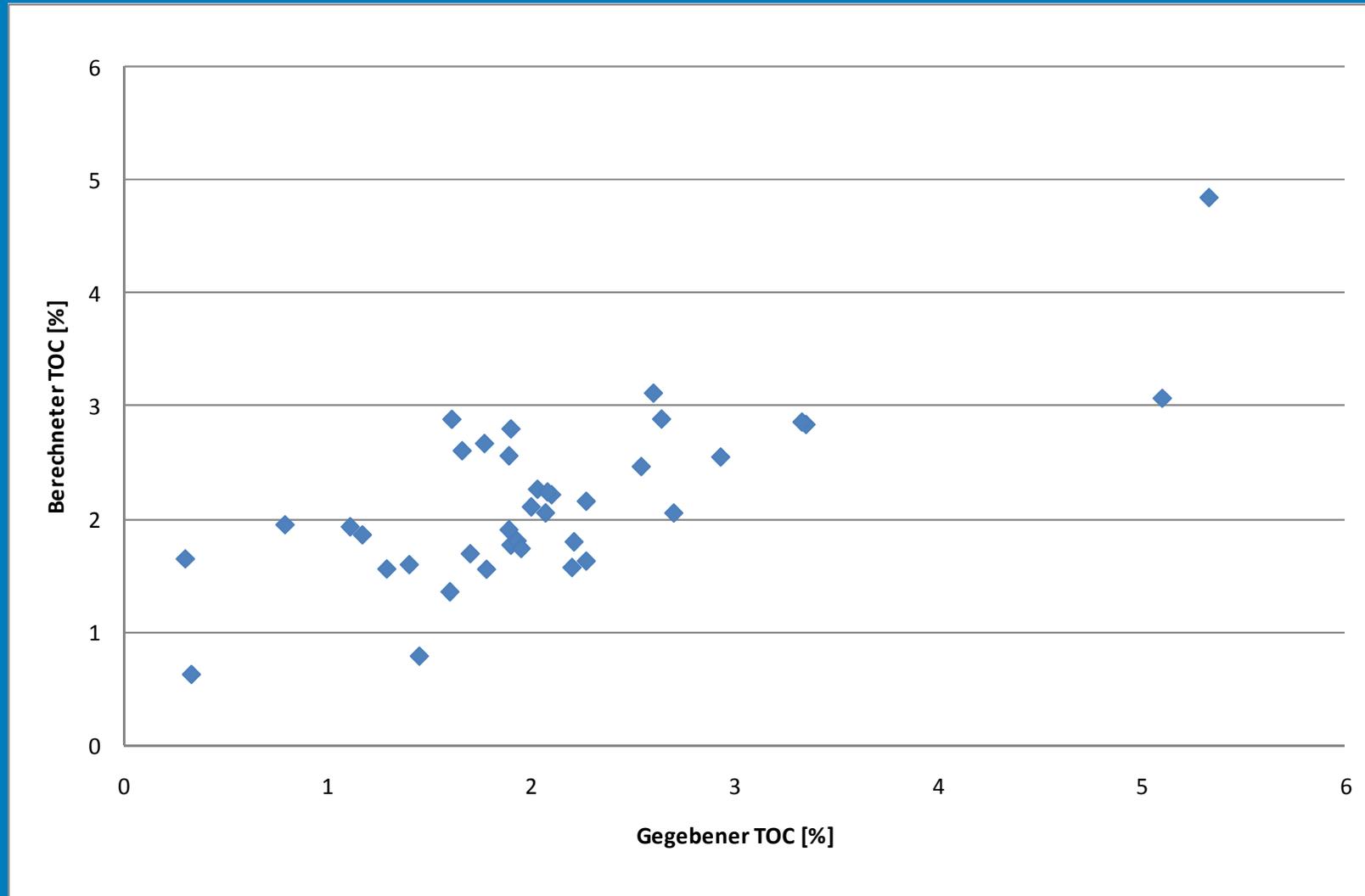
→ TOC [%]

TK 5046, 5047, 5146, 5147

## Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *TOC* [%]

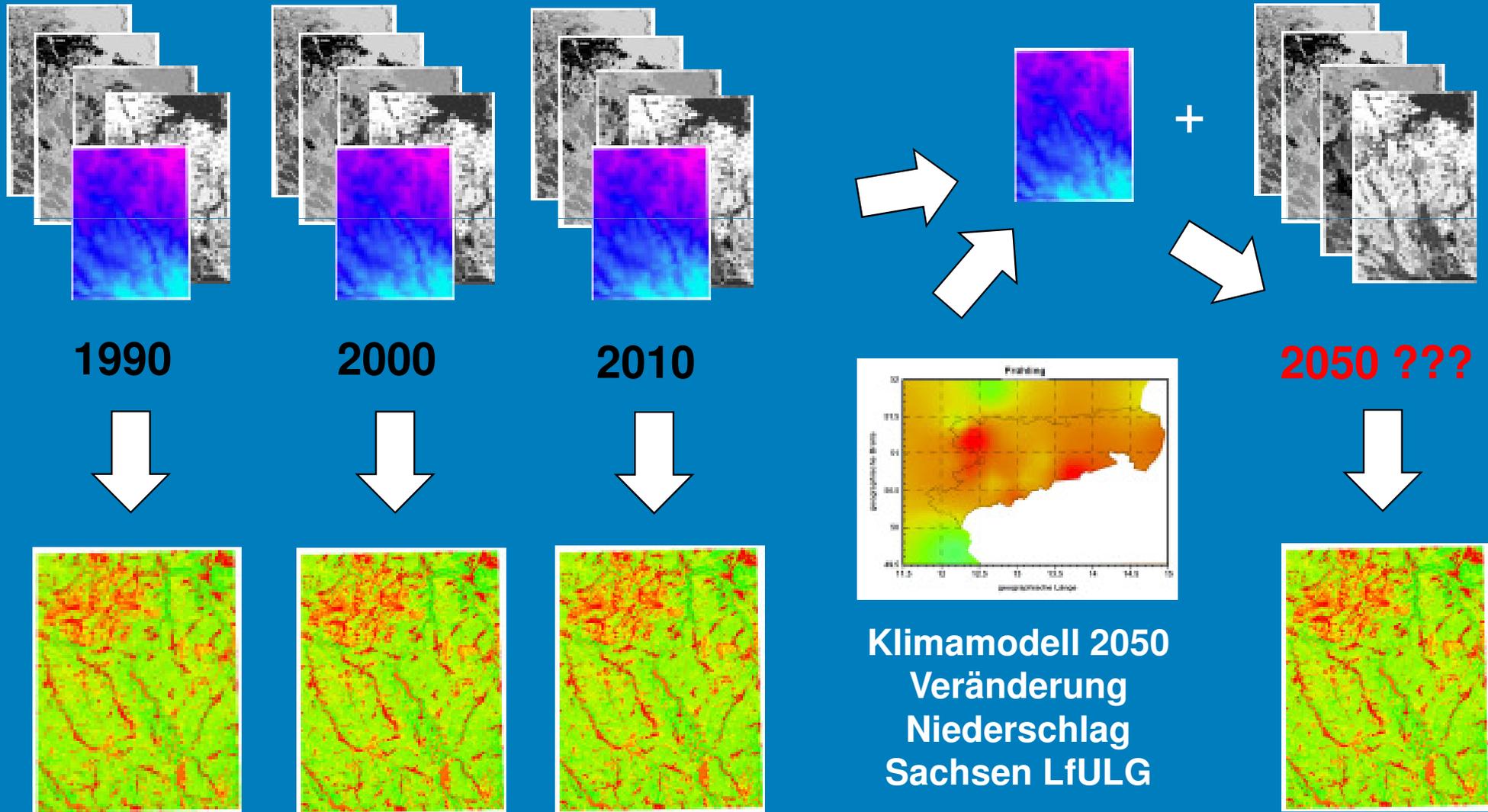


# Anwendungsbeispiel 6: Regionalisierung bodenkundlicher Parameter: *TOC [%]*

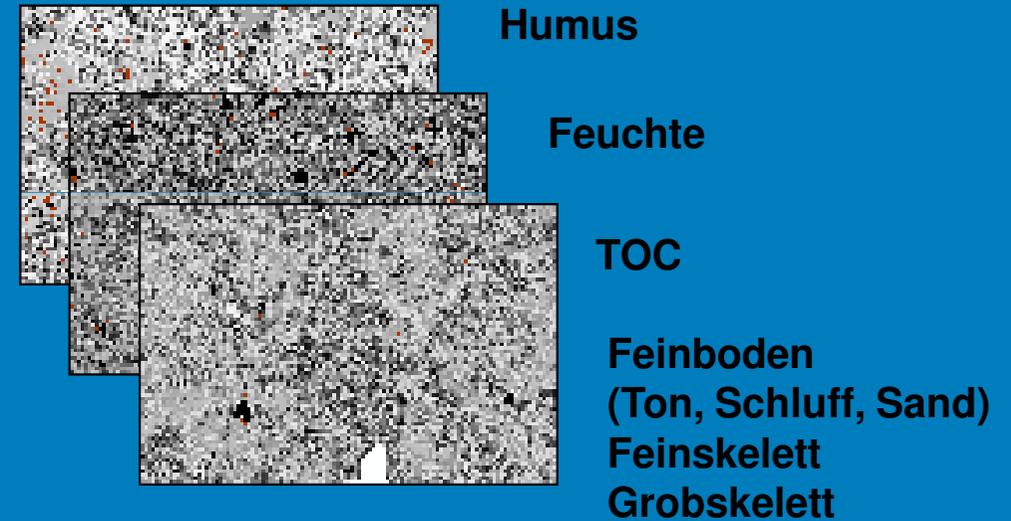
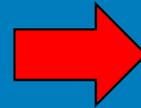


- **Was wollen wir:**
    - Erzeugung deutlich besserer, flächenschärferer Aussagen, insbesondere für Planungsziele: Forstwirtschaft, Landwirtschaft, Flächennutzungsplanung, Grundwasserschutz, Berücksichtigung des Klimawandels auf die Veränderung unseres Lebensumfeldes
  - **Dazu brauchen wir:**
    - Erzeugung flächendeckender Informationsebenen mit hoher Auflösung für Einzelparameter: Gehalte: Makrokomponenten, Nährstoffe, Schadstoffe, Auswaschung von Stoffen
  - **Berücksichtigung des Zeitfaktors: Zeitreihenanalyse**
  - **Modellierung des Einflusses angenommener Veränderungen der Rahmenbedingungen (Klima, FN) auf die Eigenschaften der Böden und Abschätzung der Folgen → Wichtige Fragestellungen:**
    - Boden als Kohlenstoffsенке ?
    - Grundwasserneubildung ??
    - Nährstoffhaushalt ???
- **Nutzung der BDF-Daten für die zeitliche Kalibrierung der Modelle**
- **Anwendung prognostizierter Klimadaten auf unsere Rechnungen**

# Ausblick: Zeitreihenanalysen im Bodenmonitoring



# Ausblick: Vision einer „Gerasterten Bodenkarte“



**AKTUELL:**

## Vektor-Bodenkarte

feste Polygongrenzen mit  
gleichen Parametern innerhalb  
eines Polygons (ohne Gradient)

**VISION:**

## Raster-Bodenkarte

mit einzelnen Raster-Ebenen für  
jeden Parameter und Gradient  
innerhalb eines Polygons

- Vielfältige Einsatzmöglichkeiten der dargelegten Methodik unter Verwendung künstlicher neuronaler Netze und GIS im Bodenmonitoring möglich, e.g.:
  - Regionalisierung,
  - Zeitreihenanalyse,
  - „Raster-Bodenkarte“

→ **Wir freuen uns auf Ihre Fragen, Hinweise und Kommentare und hoffen auf zukünftigen Wissensaustausch und Zusammenarbeit!**

[info@beak.de](mailto:info@beak.de)

[andreas.knobloch@beak.de](mailto:andreas.knobloch@beak.de)

[\*\*www.advangeo.com\*\*](http://www.advangeo.com)

