



# Signale klimabedingter Extremwetterereignisse

in Mooren des Ammergebirges, TUM-CZO

Jörg Völkel

*Extraordinariat für Geomorphologie  
und Bodenkunde*

*Technische Universität München*



## Aktuelle Herausforderungen der Klimaforschung

- Global Change
- Welche Landschaftsveränderungen werden durch Änderungen der klimatischen Rahmenbedingungen ausgelöst?
- Klimaforschung in den letzten 20 Jahren sehr weit fortgeschritten, großes Datenkollektiv
- Klimaszenarien, -modelle stoßen immer wieder an ihre Grenzen

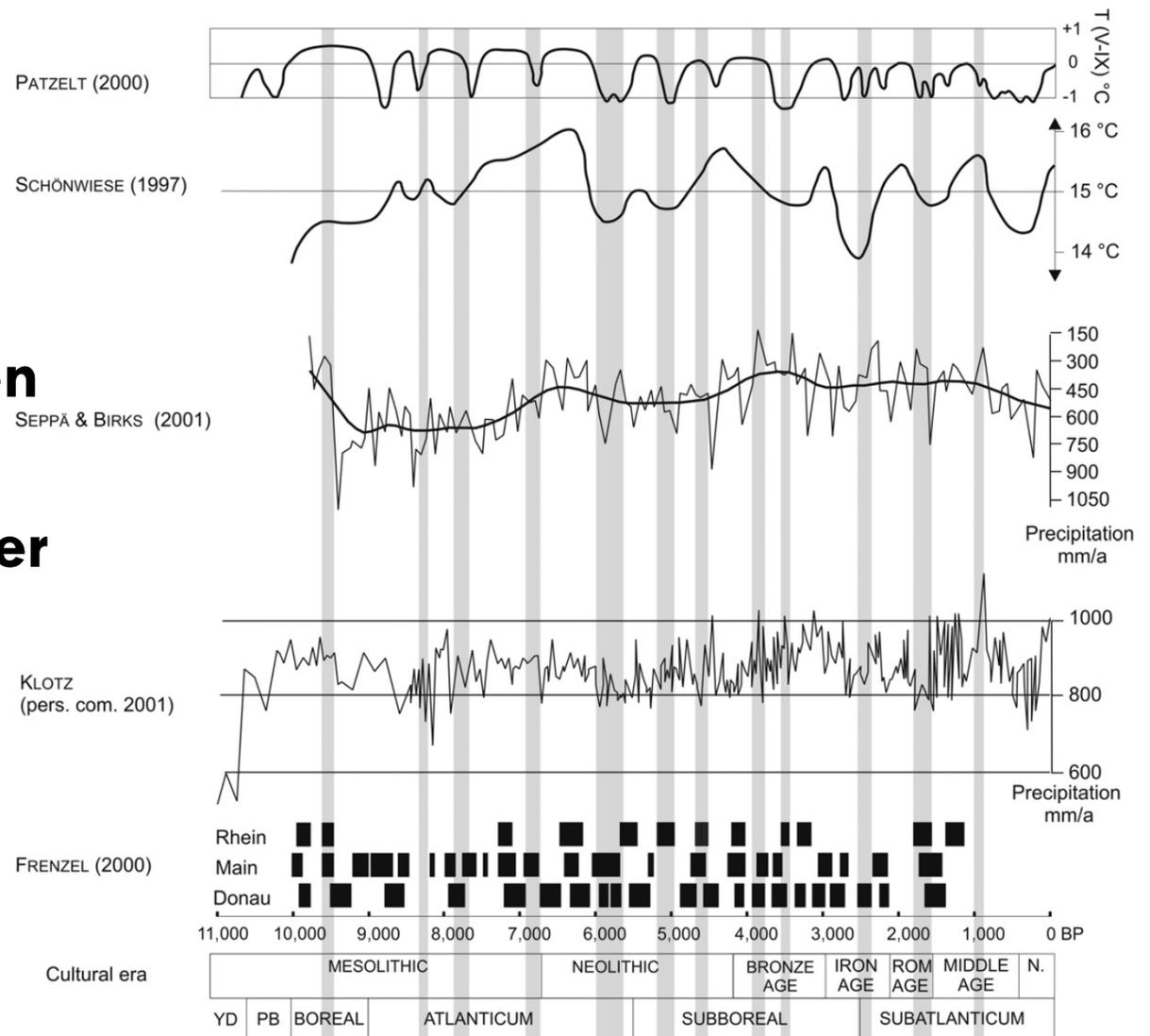
## Beitrag der Geomorphologie

- Möglichkeit der **Retrospektive** und **Validierung** anhand von **Geoarchiven**
- Geoarchive speichern die Reaktion der Landschaft auf veränderte Umweltparameter (u.a. Klimasignale)
- Geoarchive liefern insofern den notwendigen Abgleich prognostischer Klimaszenarien mit den stattgehabten Realitäten

„**Blick zurück nach vorn**“ (*documenta X 1997*)

## Zusammenhang zwischen holozänen Klimafluktuationen und Phasen verstärkter fluvialer Erosion

LEOPOLD & VÖLKE (2007)  
Quaternary Int.162/163  
S. 133-140



## Klimasignale in Geoarchiven

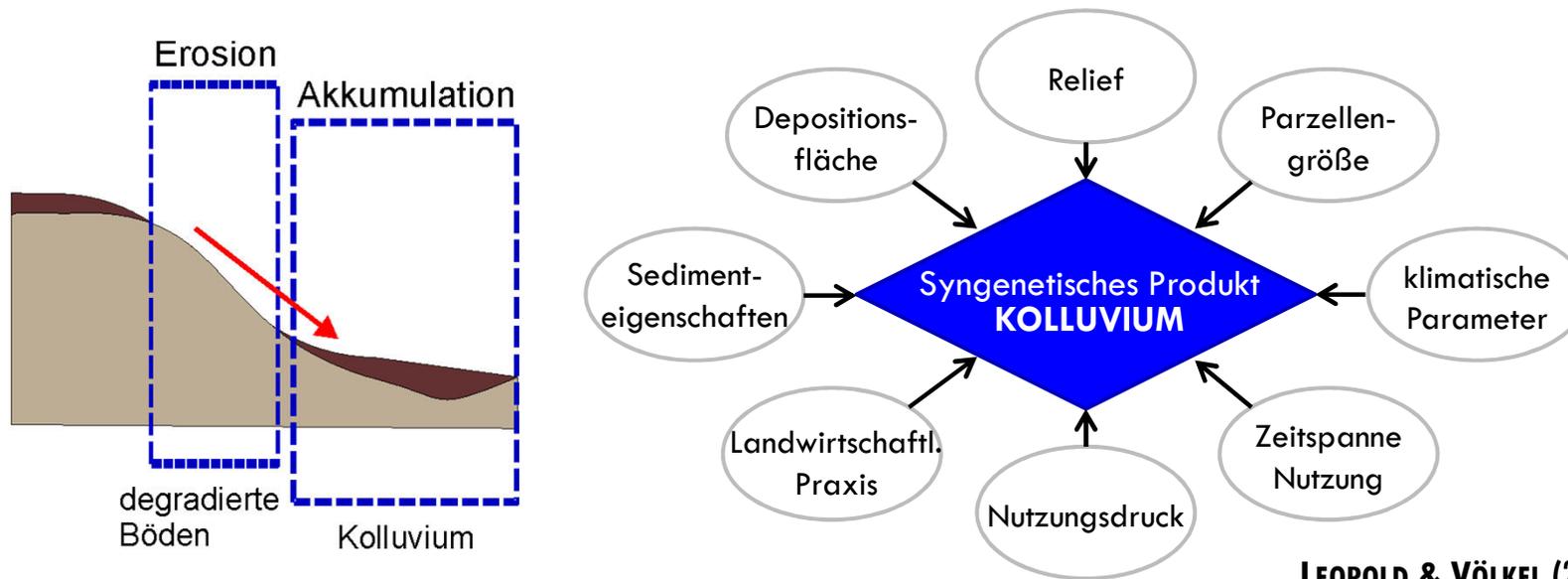
- Böden sind Teil des **heterogenen Reaktionsraums** des klimagesteuerten Stoffumsatzes der **GeoBioSphäre** (*Critical Zone*)
- Böden kennen neben hohem **Puffervermögen** und **Resilienz** nicht zuletzt **Schwellenwerte**, jenseits derer sie hochdynamisch reagieren → **Bodenabtrag**
- Prozessschema Bodenabtrag:

$$A = R * K * LS * C * P$$

(A: Abtrag, R: Niederschlag/Abfluss, K: Erodierbarkeit Sediment, LS: Hanglänge u. -neigung, C/P: Bearbeitung/Management)

## Klimasignale in Geoarchiven

- **Resultat:** **Kolluvium** als korrelates Sediment der Bodenerosion



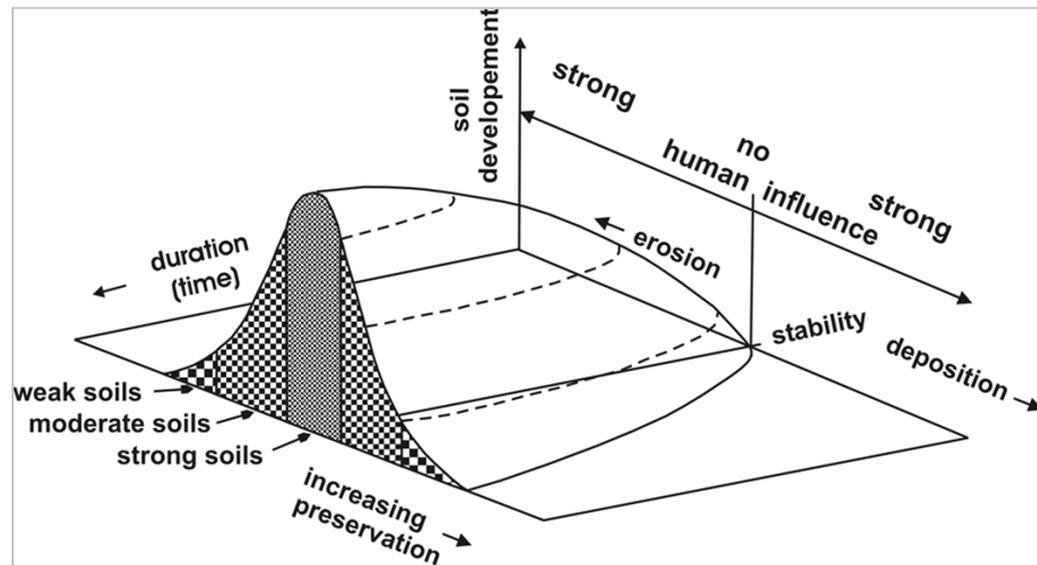
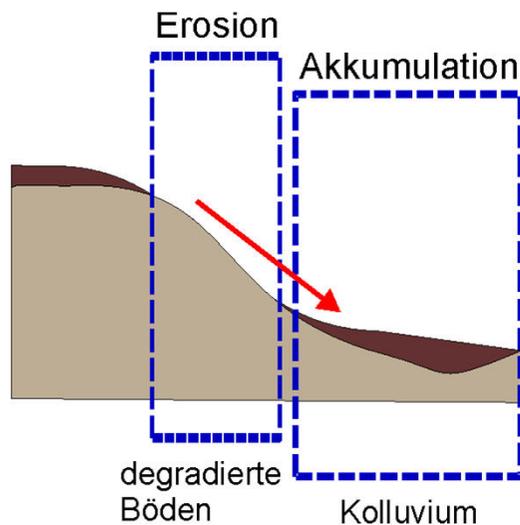
LEOPOLD & VÖLKE (2007)

Quaternary Int.162/163, S. 133-140

- Speicherung in Tiefenlinien und **Mooren** (→ **Geoarchiv**)

## Klimasignale in Geoarchiven

- **Resultat:** **Kolluvium** als korrelates Sediment der Bodenerosion



BIRKELAND (1999)

- Speicherung in Tiefenlinien und **Mooren** (→ **Geoarchiv**)

## Geoarchiv Moor

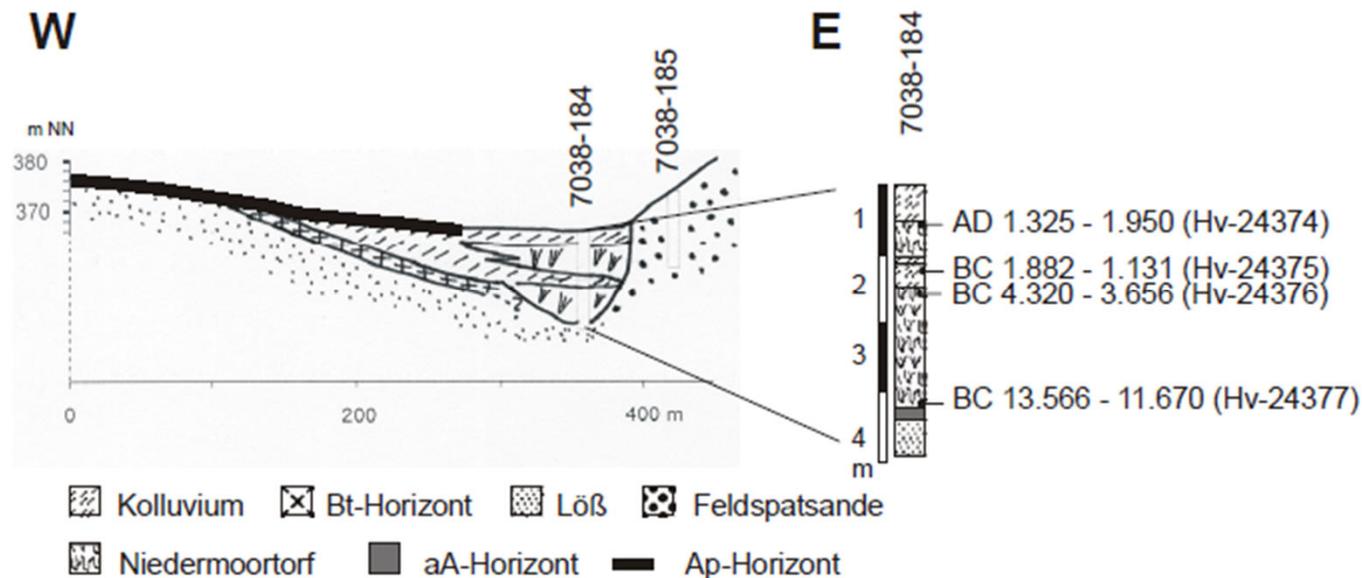
- Sonderstellung als Geoarchiv, weil:
  - topographische **Assoziation mit Hang**/Tiefenlinien (Catena)  
→ optimale Speicherung von kolluvialer Einträge (Kolluvien)
  - Vielzahl an **zusätzlichen Proxy-Daten** zu Vegetation, Klima und Landnutzung (Pollen, Holzkohle, Makrorestanalyse etc.)
  - gute **Datierbarkeit** (numerische Datierung, Bulkanalyse, PZ)
- **Prinzip:** Minerogene Feststoffe (partikulärer Transport; schnelle Massenverlagerungen; Bodenerosion) erreichen die Moore und geben dort als datierbare, qualitativ analysierbare und bilanzierbare Sedimente beredten Ausdruck von Systemveränderungen
- Feststoffeinträge zeichnen vollständiges Bild der klima- bzw. landnutzungsbedingten Bodenerosion im direkten Moorumfeld

## Geoarchiv Moor

- Moore sind besonders sensible Geoarchive sowohl für klimatische Variabilität als auch für das davon gesteuerte geomorphologische Prozessgeschehen und damit einhergehende katastrophale (*natural hazards*) als auch schleichende Veränderungen eines Lebensraums/einer Landschaftszone
- Insbesondere in Grenzregionen wie der alpinen und subalpinen Stufe sind klimatische Veränderungen (Niederschlagsgeschehen, Dauer Schneebedeckung etc.) in der Lage, das geomorphodynamische Prozessgeschehen direkt zu beeinflussen
  - Klimatische Variabilität schlägt sich in Stabilität oder Labilität der *Critical Zone* nieder
  - Indikatorfunktion der Geoarchive steigt

## Kolluvien in Mooren

am Beispiel der Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg (Teilareal Helling)



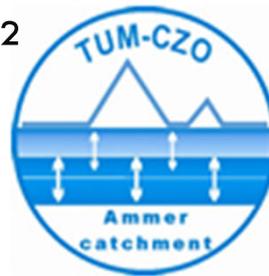
**M. LEOPOLD (2003):** Multivariate Analyse von Geoarchiven zur Rekonstruktion eisenzeitlicher Landnutzung im Umfeld der spätlatènezeitlichen Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg. *Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung (BOLAQ), Band 2.*

## Fragestellungen

- Forschungsgegenstand: Moore in der alpinen und subalpinen Stufe und darin archivierte Phasen der Bodenerosion
- Fragestellungen:
  - welche **Folgen** haben Veränderungen der klimatischen Bedingungen (z.B. durch gehäuftes Auftreten **meteorologischer Extremereignisse**, Landnutzungswandel) auf die **Systemstabilität** der Georessource Boden
  - was ist dazu an bislang unbekannter Information im **Geoarchiv Moor** hinterlegt, die dringend zur **Validierung prognostischer Klimaszenarien** und für präventive Maßnahmen benötigt wird

## TUM-CZO Ammer EG

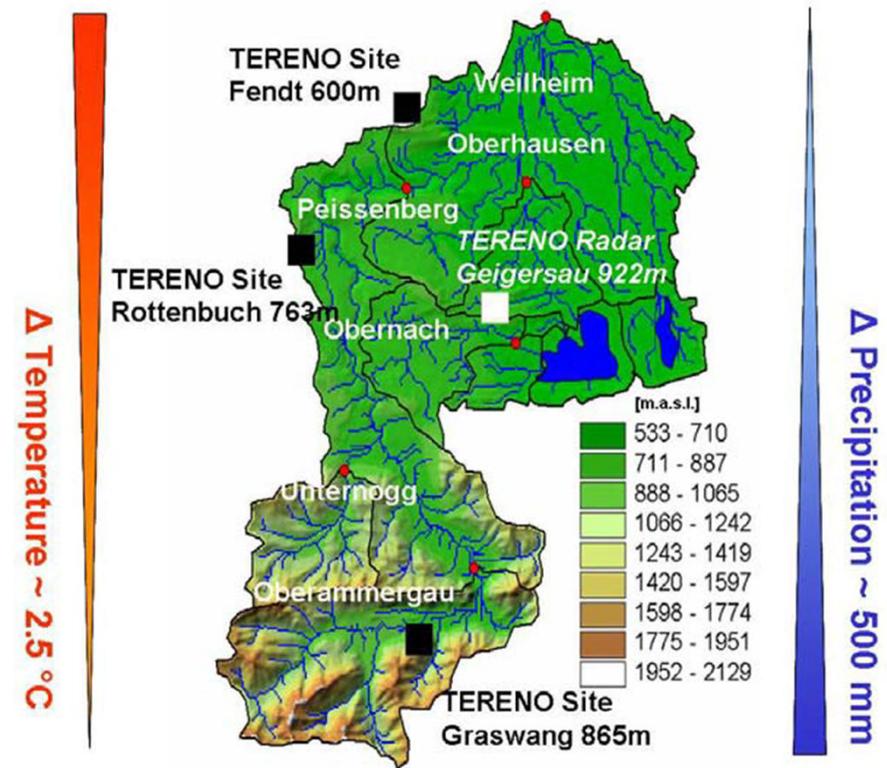
- **TUM-Critical Zone Observatorium** erlaubt die Erforschung komplexer Prozesse innerhalb der *Critical Zone* über die isolierte ebenso wie über die vergleichende Betrachtung relevanter Umweltparameter entlang verschiedener Zeitskalen und Gradienten (Lithotypen, Biota, Topographie, Nutzung)
- Ammereinzugebiet: 709 km<sup>2</sup>  
2.185 - 533 m NN
- idealer Gradient alpine → subalpine Ökosysteme
- TERENO-Programm (Helmholtz HGF)



<http://www.lago.geographie.uni-muenchen.de/>

## TUM-CZO Ammer EG

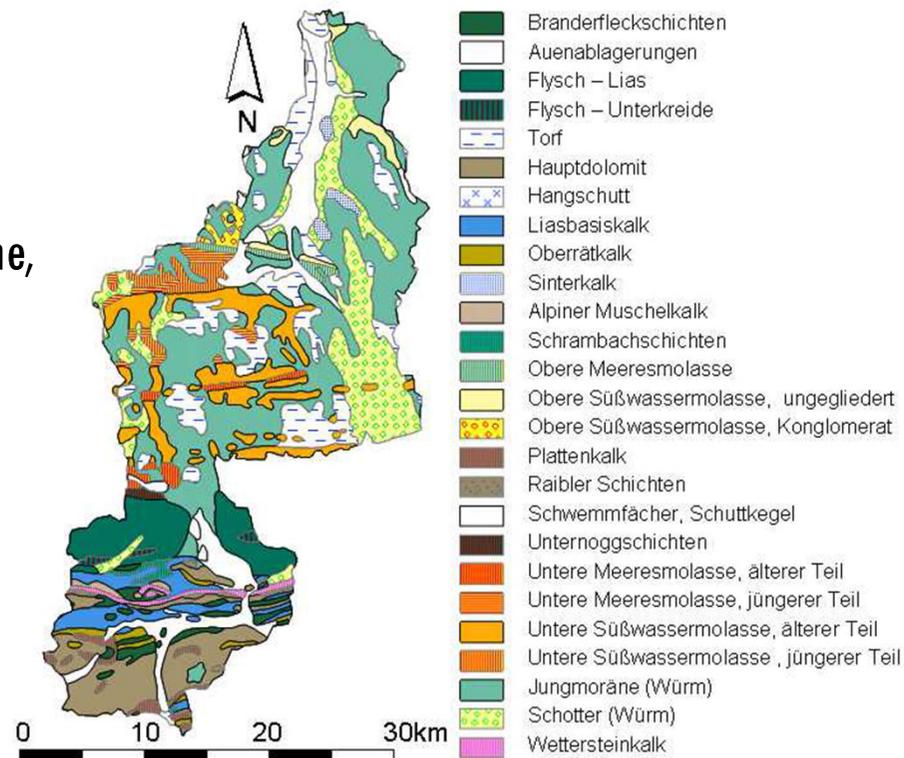
- **Relief:** 2.185 - 533 m NN
- **Jahresmitteltemperatur:**  
4,5°C (S) - 7/8°C (N)
- **Temperaturgradient:**  
0,6°C/100 m (Sommer), 0,45°C/100 m (Winter)
- **mittlerer jährlicher Niederschlag:**  
950 mm (N) - 1.500 mm (S)
- **Schneebedeckung:** ca. 130 Tage



KUNSTMANN (2009), [www.peer.eu/fileadmin/user\\_upload/projects/flagship\\_projects/PEER\\_Euraqua/Ammer\\_Germany.pdf](http://www.peer.eu/fileadmin/user_upload/projects/flagship_projects/PEER_Euraqua/Ammer_Germany.pdf)

## TUM-CZO Ammer EG

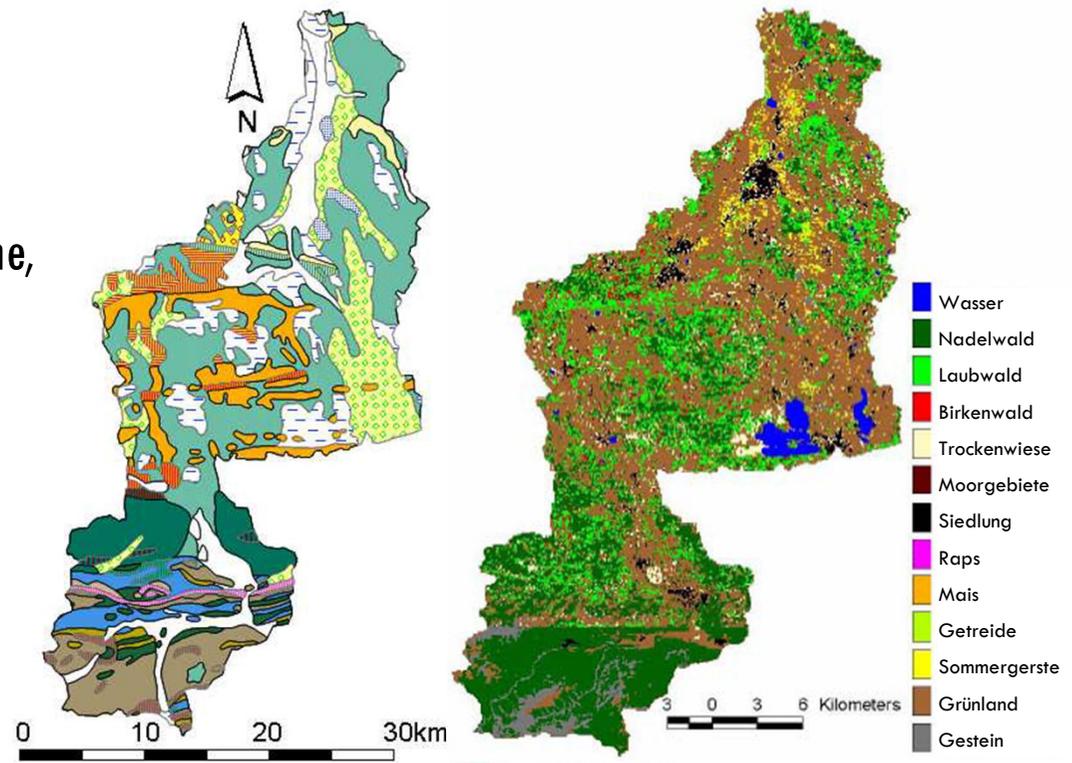
- **Naturräumliche Einheiten**
  - nördl. Jungmoränenlandschaft (Moräne, Molasse)
  - südl. Jungmoränenlandschaft (Moräne, Molasse)
  - Ammergauer Vorberge (Flysch)
  - Ammergebirge (Kalkalpin)
- **Landnutzung (aktuell)**
  - 50% Forstwirtschaft
  - 30% Weideflächen, Almwirtschaft (Flyschberge, Hochlagen)
  - wenig Anbauflächen (Ammertal: 17,5%; Moräne/Molasse: 1,2-6%)



KUNSTMANN (2009), [www.peer.eu/fileadmin/user\\_upload/projects/flagship\\_projects/PEER\\_Euraqua/Ammer\\_Germany.pdf](http://www.peer.eu/fileadmin/user_upload/projects/flagship_projects/PEER_Euraqua/Ammer_Germany.pdf)

## TUM-CZO Ammer EG

- **Naturräumliche Einheiten**
  - nördl. Jungmoränenlandschaft (Moräne, Molasse)
  - südl. Jungmoränenlandschaft (Moräne, Molasse)
  - Ammergauer Vorberge (Flysch)
  - Ammergebirge (Kalkalpin)
- **Landnutzung (aktuell)**
  - 50% Forstwirtschaft
  - 30% Weideflächen, Almwirtschaft (Flyschberge, Hochlagen)
  - wenig Anbauflächen (Ammertal: 17,5%; Moräne/Molasse: 1,2-6%)



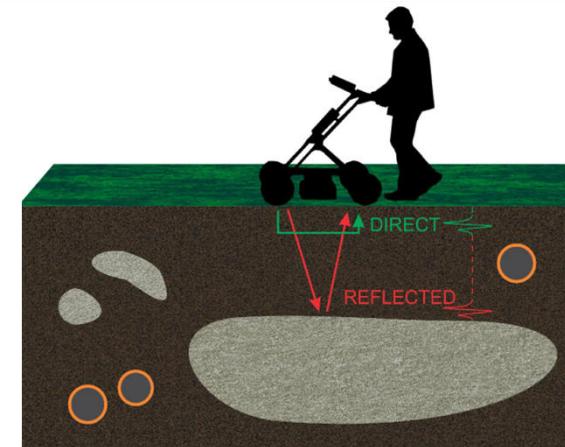
KUNSTMANN (2009), [www.peer.eu/fileadmin/user\\_upload/projects/flagship\\_projects/PEER\\_Euraqua/Ammer\\_Germany.pdf](http://www.peer.eu/fileadmin/user_upload/projects/flagship_projects/PEER_Euraqua/Ammer_Germany.pdf)

## Arbeitsschritte

- **1. Standortanalyse** und Eignungsprüfung: ca. 12 Moore verteilt auf 3 unterschiedliche Höhenstufen
  - **Repräsentativität, Klimaarchivfunktion**
- **2. Archiverschließung:**
  - **geophysikalische Prospektion** (GPR, ERT, nicht invasiv)
  - Stechsondierungen (Eijkelkamp, Russischer Moorbohrer)
  - Bodenschurfe
  - **sedentäre und sedimentologische Wechsellagerungen**
- **3. Laboranalysen** (Corg, N, KAK, pH, Korngröße, pedogene Oxide, RDA-Tonmineralanalyse, Palynologie, Makrorestanalysen) und numerische Datierungen ( $^{14}\text{C}$  Radiokohlenstoff, OSL) → **Klimaproxy**

## Bodenradar GPR

- Anwendung:
  - geophysikalische Darstellung der Torfmächtigkeit, Torfheterogenität und Moortopographie im Untergrund
  - **Prospektion möglicher mineralischer Einlagerungen**
- Messprinzip: Reflektion **elektromagnetischer Wellen**
- **Aufbau:** Sender- und Empfängerantenne (10<sup>6</sup>MHz-1 GHz, ±Abschirmung), Steuereinheit, PC
- Reflektion an Materialgrenzen, abhängig von:
  - elektrischen Eigenschaften
  - magnetischen Eigenschaften
  - dielektrische Leitfähigkeit (veraltet: Dielektrizitätskonstante)
- Berechnung der Objekttiefe über Signallaufzeit



BEKIC (2011), [www.geoscanners.com](http://www.geoscanners.com)

Material	relative Permittivität $\epsilon_r$
Luft	1
Wasser	78-88
Ton trocken/nass	2-20/15-40
sandiger Boden trocken/nass	4-6/15-30
tonreicher Boden trocken/nass	4-6/10-15

Tabelle nach CASSIDY (2009),  
in JOL (ed.), Elsevier

## Bodenradar GPR

- Grundsatz: je höher Antennenfrequenz, umso
  - geringere Eindringtiefe
  - höhere vertikale Auflösung
- bevorzugte Projektkonfiguration:
  - Steuereinheit: RAMAC CUII (Måla Geosciences)
  - 100 MHz (mit/ohne Abschirmung)
  - Antennendistanz: 1 m
  - Messinterval: alle 10cm



## Geländearbeiten



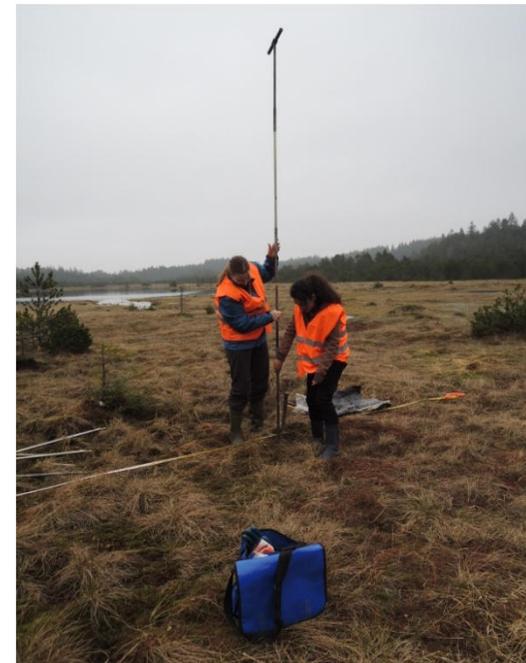
**Antennensystem 100 MHz o.A.**  
(Arbeitsgebiet Rotmoos)



**Antennensystem 100 MHz o.A.**  
(Arbeitsgebiet Wildseefilz)



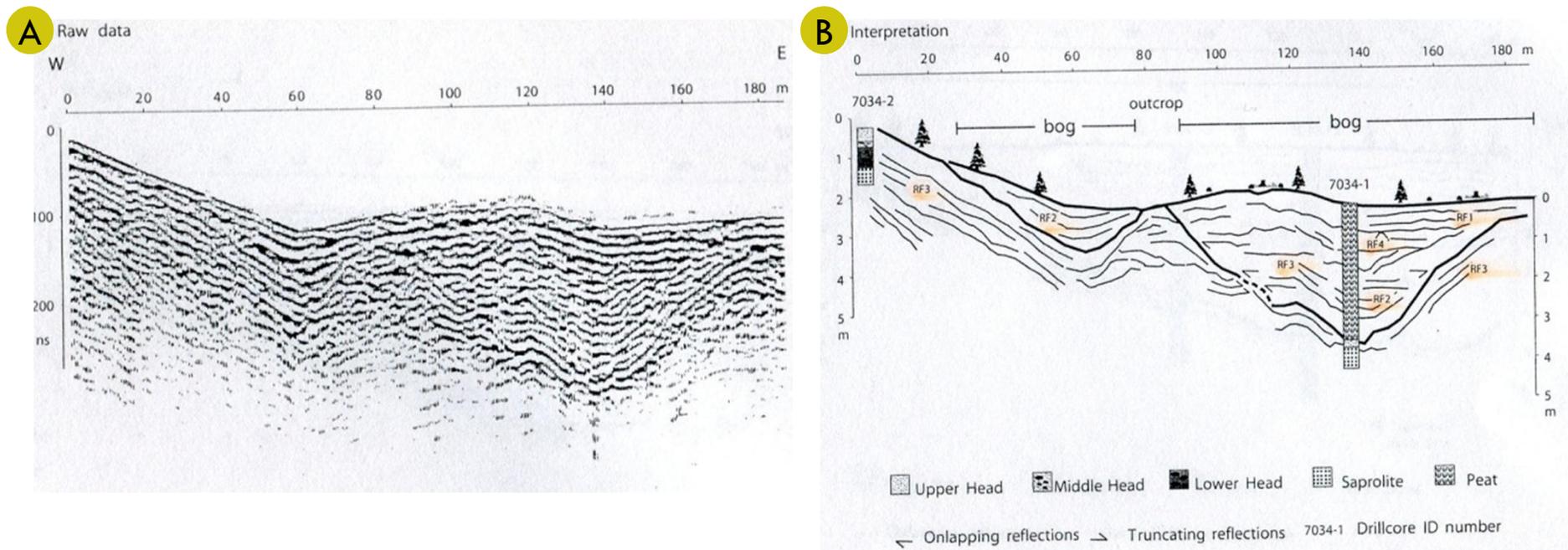
**Torf mit Wurzel über mineral. Untergrund**  
(Arbeitsgebiet Wildseefilz)



**Begleitsondierung**  
(Arbeitsgebiet Wildseefilz)

## Anwendungsbeispiel: Prospektion periglazialer Deckschichten in Moorkörpern

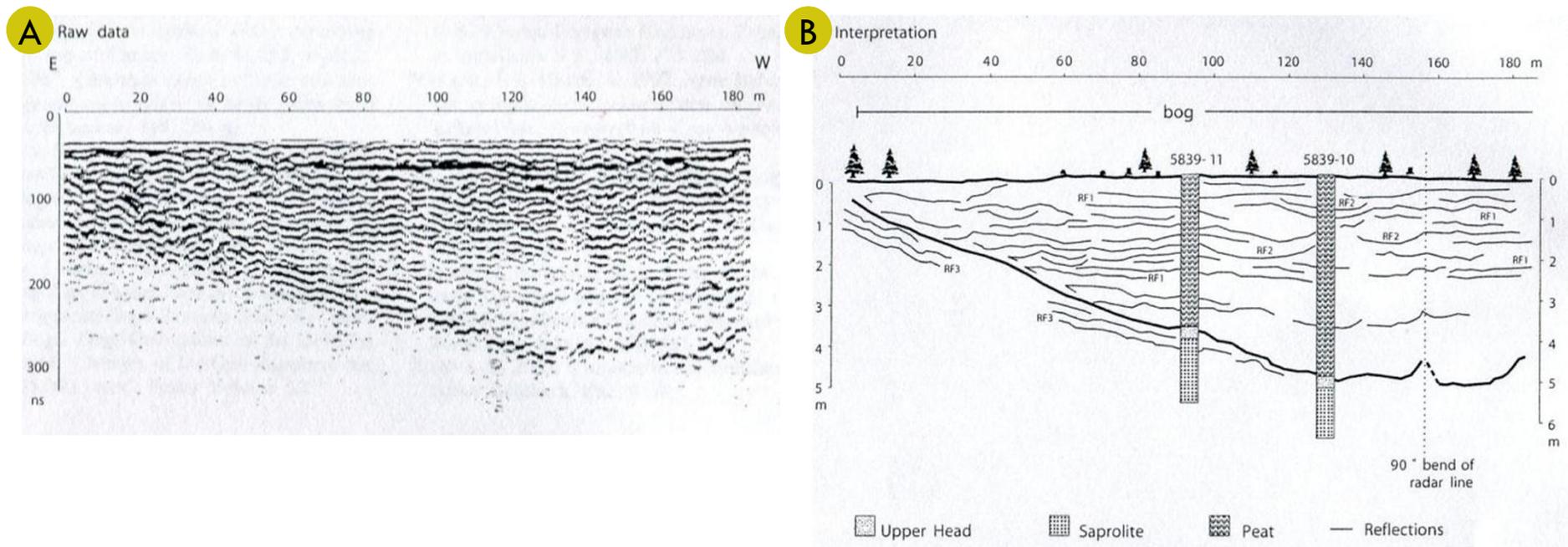
am Beispiel Kugelstatt Moos, Bayer. Wald: **Radar** (A) und geomorphologische **Interpretation** der Daten (B)



M. LEOPOLD & J. VÖLKE (2003): GPR images of periglacial slope deposits beneath peat bogs in the Central European Highlands, Germany . In: C.S. Bristow & H.M. Jol (eds): *Ground Penetrating Radar in Sediments*. Geological Society, London, Special Publ. 211, 181-189.

## Anwendungsbeispiel: Prospektion periglazialer Deckschichten in Moorkörpern

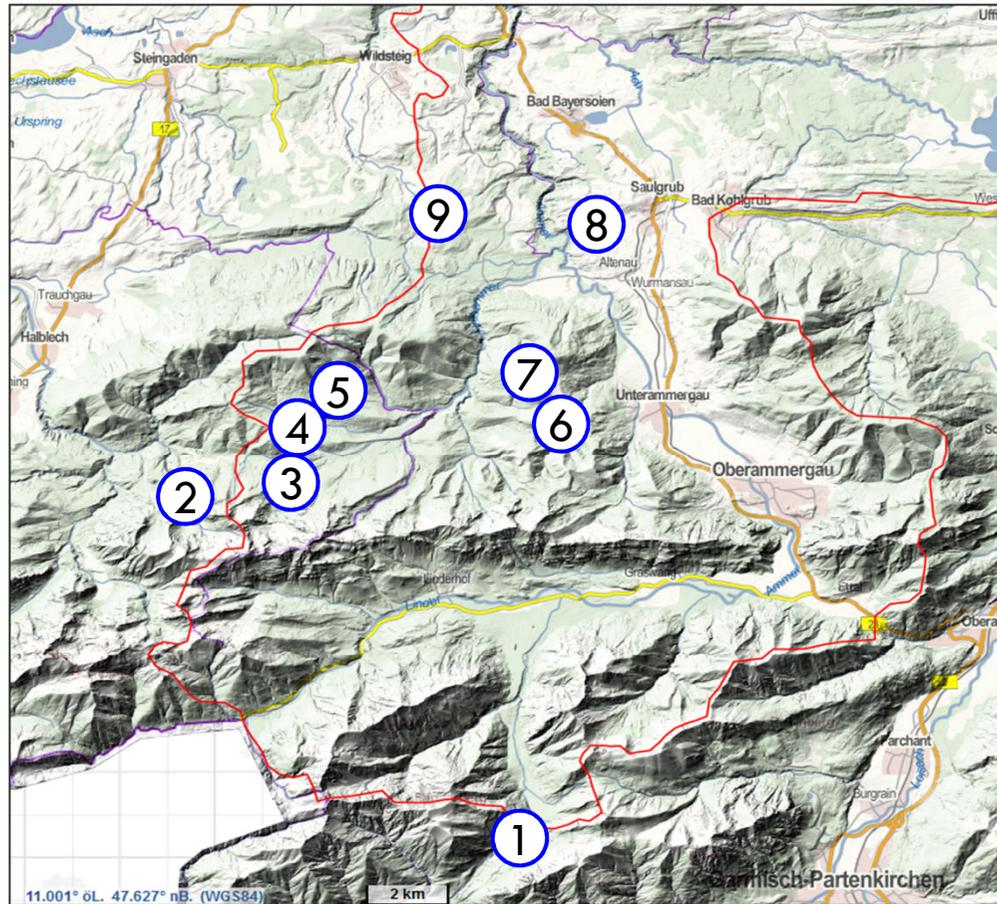
am Beispiel Häusellohe, Fichtelgebirge: **Radaraufnahmen (A)** und geomorphologische **Interpretation** der Daten **(B)**



M. LEOPOLD & J. VÖLKE (2003): GPR images of periglacial slope deposits beneath peat bogs in the Central European Highlands, Germany . In: C.S. Bristow & H.M. Jol (eds): *Ground Penetrating Radar in Sediments*. Geological Society, London, Special Publ. 211, 181-189.

# STAND DER DINGE

## Untersuchte Moorgebiete



Kartengrundlage: [www.geoportal.bayern.de/bayernatlas](http://www.geoportal.bayern.de/bayernatlas)

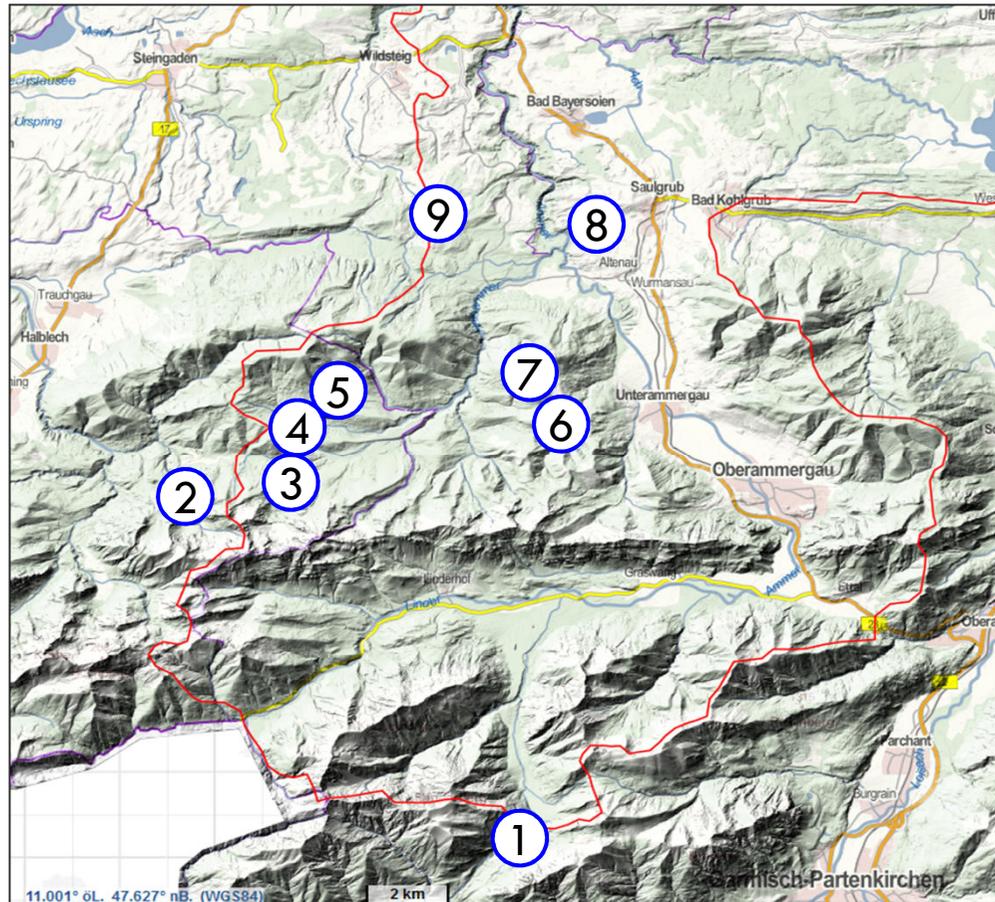


<http://www.lago.geographie.uni-muenchen.de/>



# STAND DER DINGE

## Untersuchte Moorgebiete



Kartengrundlage: [www.geoportal.bayern.de/bayernatlas](http://www.geoportal.bayern.de/bayernatlas)



(4) Rundmoos, 1000 mNN



(5) Angstmoos, 1200 mNN



(3) Kronwinkelmoos, 1110 mNN



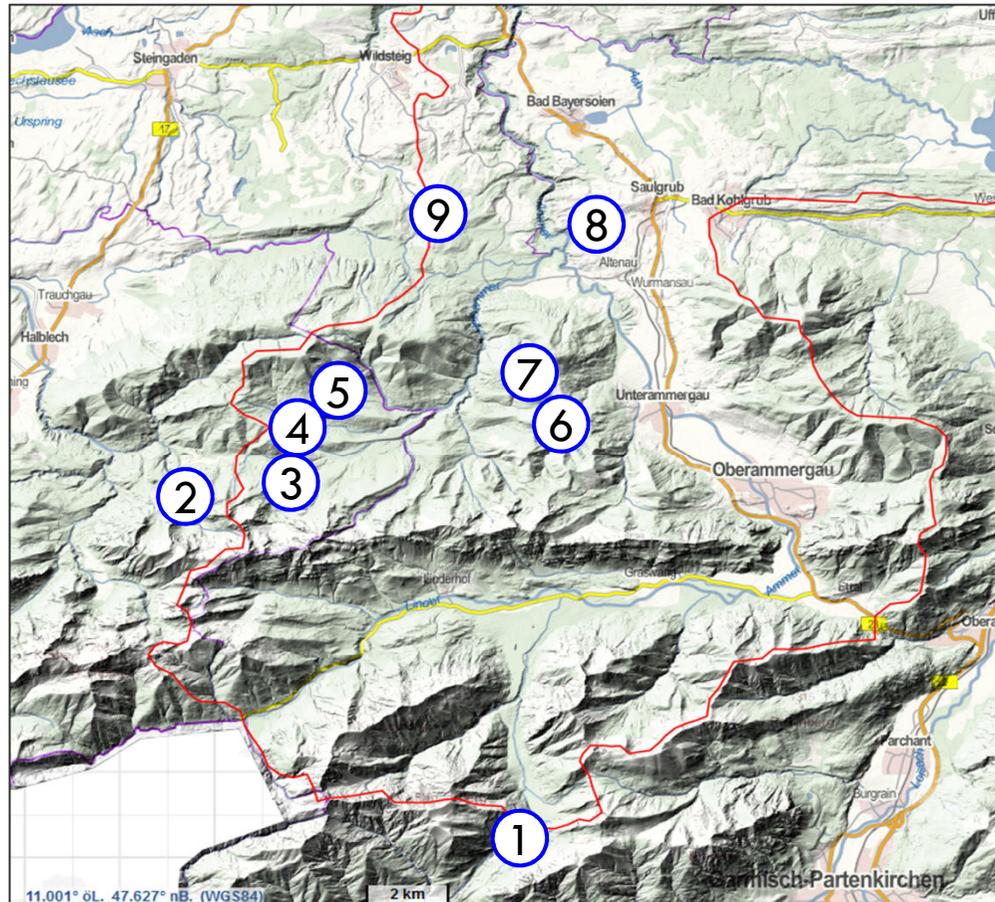
(2) Krottensteinmoos, 1110 mNN



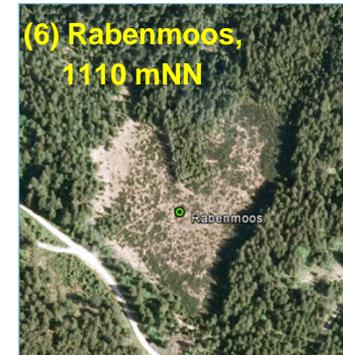
(1) Rotmoos, 1200 mNN

# STAND DER DINGE

## Untersuchte Moorgebiete



Kartengrundlage: [www.geoportal.bayern.de/bayernatlas](http://www.geoportal.bayern.de/bayernatlas)

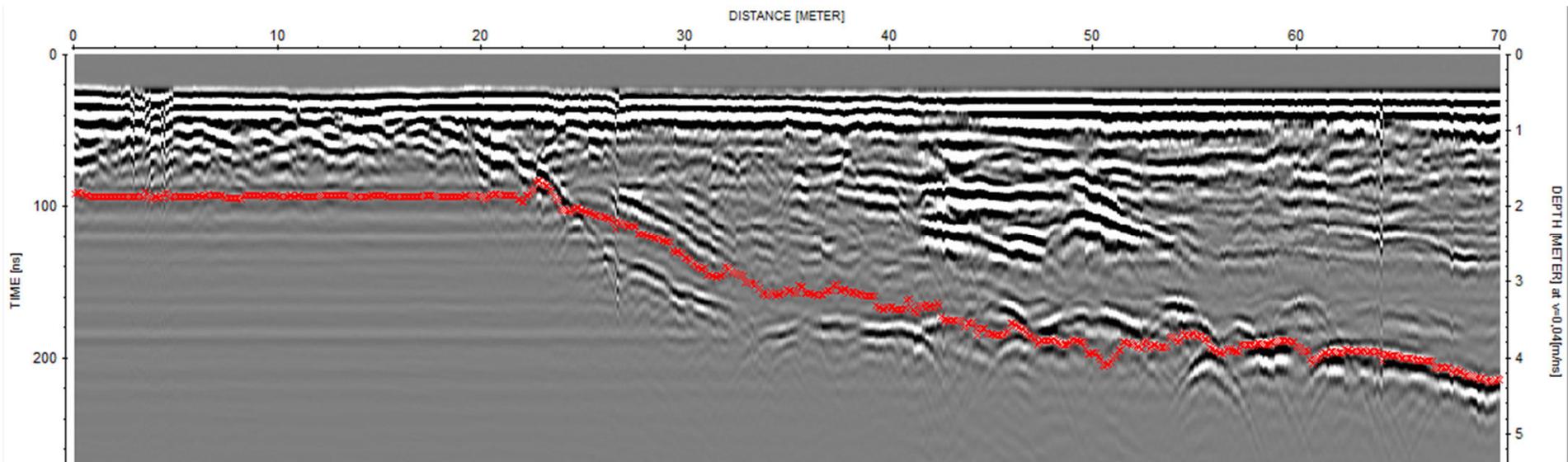


# STAND DER DINGE

## Beispiel: Wildseefilz

Hochmoor, 900 mNN,  
Jungmoränenlandschaft  
(Toteiskessel)

→ Radarlinie: 100 MHz unshielded,  
Länge 70 m, Antennenabstand 1m,  
Messintervall 10cm,  $v=0,04$  m/ns



## Wissenschaftlicher Beitrag

- Eignungsprüfung von **Mooren als Geoarchive** für morphodynamische Prozesswechsel infolge Klima- und Landnutzungswandel
- Beurteilung **Systemlabilität, Ereignisfrequenz** und **Ausmaß** der Systemstörungen, Gefährdungsabschätzung
- **validierbare Klimaproxy-Daten** zum Einsatz in prognostisch ausgerichteten Szenarien/Modellen

## Umweltpolitischer Beitrag

- Bewertung der **Gefährdung von Ökosystemdienstleistungen** (ecosystem services, Millenium Ecosystem Assessment 2005)
- Empfehlungen für **Ökosystemmanagement** in alpinen bzw. montanen Stufen im Zuge eines Klima-/Landnutzungswandels
- **Maßnahmenkatalog** für Forst-/Landwirtschaft, Naturschutz
- Einbindung umweltpolitischer Maßnahmen in nationale und internationale Programme (**EU, CZEN Critical Zone Environmental Network, ...**)
- **(Klima)Adaptionsstrategien**

---

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Prof. Dr. Jörg Völkel**

Technische Universität München, Wissenschaftszentrum Weihenstephan, Geomorphologie und Bodenkunde  
Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2, 85354 Freising  
[www.geomorphologie.wzw.tum.de](http://www.geomorphologie.wzw.tum.de), [geo@wzw.tum.de](mailto:geo@wzw.tum.de)



» Signale klimabedingter Extremwetterereignisse in Mooren des Ammergebirges «  
Jörg Völkel - TU München

25.5.13  
S.27