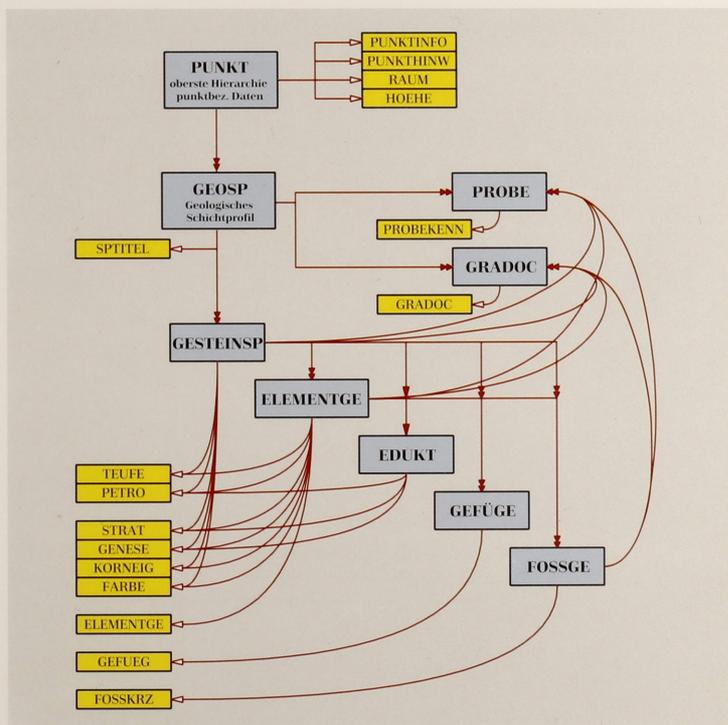


Das Hessische Erddinformati- ons- system (HEISS)

Elektronische Datenverarbeitung in einem
Geologischen Landesdienst



Geologie in Hessen, Band 3/1999
Wiesbaden 1999
ISSN 0947-9864
ISBN 3-89531-600-8

Das Hessische Erdinformations- system (HEISS)

Elektronische Datenverarbeitung in einem Geologischen Landesdienst



**Hessisches Landesamt
für Bodenforschung**

Schriftleitung
Prof. Dr. Andreas Hoppe
Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Leberberg 9, 65193 Wiesbaden

Umschlagbild: Die Inhalte und interne Struktur der Bausteine des Datenmodells am Beispiel des Fachdatenobjekts „Geologisches Schichtprofil“ (siehe Seite 11).

© Hessisches Landesamt für Bodenforschung, Wiesbaden 1999
ISSN 0947-9864
ISBN 3-89531-600-8

Bearbeitung: Dominik Ulmer, Dr. Klaus Friedrich & Simone Ulmer

Satz: Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Druck: Hessisches Landesvermessungsamt
Gedruckt auf chlor- und säurefreiem Papier

Vertrieb: Hessisches Landesamt für Bodenforschung
Leberberg 9, 65193 Wiesbaden
Telefon: 0611/537-0, Telefax: 0611/537 327
<http://www.hlfb.de>

Vorwort

Seit mehr als 175 Jahren wird auf hessischem Gebiet die Geologie systematisch erforscht, und seit knapp 150 Jahren ist dies ein Auftrag an den dafür gegründeten staatlichen geologischen Dienst. Die Schwerpunkte der Arbeiten haben sich seitdem gewandelt. Stand zunächst die Rohstofferkundung im Vordergrund, so waren dies vor allem in den letzten fünfzig Jahren mehr und mehr Fragen der Rohstoffsicherung, Hydrogeologie und Ingenieurgeologie. Schließlich bildete der Umweltschutz im Sinne einer Erkundung, Erfassung und Bewertung von Geo-Potentialen und Geo-Risiken eine der zentralen Aufgaben des geologischen Landesdienstes.

Der Einsatz von technischen Hilfsmitteln und immer ausgefeilteren Untersuchungsmethoden sowohl im Gelände (u.a. durch geophysikalische Erkundung und Bohrungen) wie auch in den Labors der Geologie, Paläontologie, Mineralogie, Bodenkunde und Hydrogeologie hatten ein schnelles Anwachsen geowissenschaftlicher Daten zur Folge. Es entwickelten sich immer stärker spezialisierte Fachbereiche mit entsprechend spezialisierten Methoden. Wichtig blieb dabei stets die Betrachtung aller Forschungsergebnisse im Kontext. Bei der Erkundung und Bewertung von Sand- und Kieslagerstätten werden daher gleichzeitig das darin enthaltene Grundwasser und die überdeckenden Böden betrachtet.

Den umfangreichen Datenbestand des gut 21000 km² großen Bundeslandes Hessen für jeden Mitarbeiter zugänglich zu machen, wurde zunehmend ein Problem. Wie soll eine solche Datenmenge unterschiedlicher Fachbereiche sinnvoll verwaltet und archiviert werden und

gleichzeitig der Zugriff fachübergreifend, umfassend und rasch möglich sein? Welche Kriterien müssen dabei berücksichtigt werden?

Die elektronische Datenverarbeitung bietet die technischen Möglichkeiten zur Lösung dieser Probleme. Eine geeignete Datenarchivierung soll für die unterschiedlichen Bedürfnisse der verschiedenen Bereiche spezielle Datenabfragen ermöglichen. Der Bearbeiter soll am Rechner gezielt eingeben können, welche Daten er braucht. Sie werden ihm dann z.B. in Form von „Ableitungskarten“, Bohrprofilen oder Klartexten zur Verfügung gestellt. Diese Vorgehensweise erfordert eine zentrale und übersichtlich strukturierte Verwaltung der Daten, damit eine fachübergreifende Nutzung möglich ist.

Datenverwaltung dieser Art ist für interne Fragestellungen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung unverzichtbar. Sie dient darüber hinaus auch Dritten bei speziellen Anfragen, insbesondere der Landesregierung und den ihr nachgeordneten Behörden, aber auch den Hochschulen und privaten Unternehmen sowie dem interessierten Bürger.

Wie und mit welchen Mitteln und Technologien dies geschieht, wird in diesem Heft erläutert.

Prof. Dr. Andreas Hoppe
Direktor des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
Datenverarbeitungstechnik	6
Netzwerk	6
Serveranlagen	6
Client-Anlagen	6
Softwarekonzeption	6
Datenstrukturierung und Archivierung	9
Datenbank	9
Typisierung zu speichernder Daten	12
Standardisierte Beschreibung geowissenschaftlicher Objekte	12
Thesaurus	13
Datenanalyse	16
Recherche von geologischen Schichtdaten	16
Methode zur Erstellung einer Grundwasserschutzfunktionkarte	17
Numerische Grundwassersimulation am Beispiel eines Modells	17
Visualisierung geowissenschaftlicher Daten	23
Darstellung geowissenschaftlicher Daten in Diagrammen	23
Darstellung von Profilen	23
Geowissenschaftliche Karten	23
Automatisierte Erstellung von Standardkarten	24
Interaktive Kartenerstellung	29
Ausblick	32
Lieferbare digitale geowissenschaftliche Daten aus Hessen	32

Einleitung

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung als geologische Fachbehörde von Hessen nimmt mit seinen nach Fachbereichen gegliederten Abteilungen (Abb. 1) unterschiedliche Aufgaben wahr.

Die Abteilung I „Geowissenschaftliche Landesaufnahme“ ist in erster Linie dafür verantwortlich, geologische Grunddaten zu sammeln. Die Wissenschaftler dieser Abteilung verbringen einen Großteil ihrer Arbeitszeit im Gelände, wo sie geologische Einheiten auf eine topographische Karte eintragen und Schichtenfolgen, sogenannte Profile, aufnehmen und beschreiben. Hier werden geologische und bodenkundliche Karten oder (Bohr-)Profile erstellt, die große Mengen an Information und somit an Daten enthalten. Einer Karte kann ein erfahrener Geo-

wissenschaftler beispielsweise die Bildungsbedingungen, das Alter und die räumliche Struktur der Gesteinsabfolge oder deren Gesteinszusammensetzung entnehmen. Paläontologie und Stratigraphie unterstützen die Kartierer bei der Alterseinstufung des Gesteins, Fossilien geben Auskunft über Ablagerungszeit und -raum.

Hydrogeologen, Ingenieurgeologen und Rohstoffgeologen der „Angewandten Geowissenschaften“ der Abteilung II stützen sich bei ihren Auswertungen und weitergehenden Bearbeitungen auf die bei der „klassischen“ Kartierung gesammelten Daten der Abteilung I. Sie empfehlen bei speziellen Fragestellungen anhand dieser geologischen Grunddaten gezielt weiterreichende Untersuchungen oder nehmen diese selbst vor. Soll z.B. ein Staudamm

Nutzer in Hessen

- Ministerien
 - für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit
 - des Inneren und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz
 - für Justiz und für Europaangelegenheiten
 - für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung
 - für Wissenschaft und Kunst
 - Staatl. Umweltämter bei den Regierungspräsidien
- Landesanstalt für Umwelt
- Zentrale für Datenverarbeitung
- Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen
- Landesvermessungsamt
- Bürger
- und andere

Hessisches Landesamt für Bodenforschung

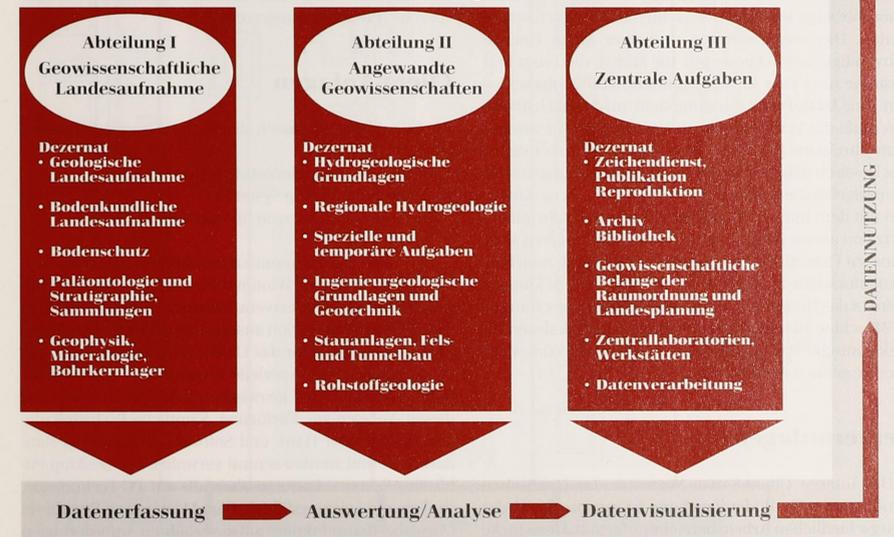


Abb. 1. Angestrebter Datenfluß der „Geodaten“ zur maximalen Nutzung bei Problemen und Fragestellungen unterschiedlicher Art.

gebaut werden, kann anhand der geologischen Karte der geeignete Bauuntergrund eingegrenzt werden. In diesen Bereichen werden dann gezielt weiterführende Untersuchungen vorgenommen, etwa zur Scherfestigkeit des Gesteins.

Die Abteilung III „Zentrale Aufgaben“ erbringt für die Abteilungen I und II Serviceleistungen, z.B. durch den Einsatz spezieller Untersuchungsmethoden oder durch Bereitstellung der erwünschten Logistik zur Datenerfassung und Datenvisualisierung. Das Gesteinslabor würde bei dem obengenannten ingenieurgeologischen Beispiel

die Prüfung der Scherfestigkeit durchführen. Im Dezernat Datenverarbeitung werden Lösungen zur Problematik der Datenarchivierung entwickelt. Mitarbeitern und anderen Nutzern sollen Techniken zur zentralen Erfassung und Verwaltung der Daten zur Verfügung stehen, damit sie umfassend und schnell Probleme und Anfragen bearbeiten können.

Mit den in diesem Heft beschriebenen Techniken werden Datenbanken, Methoden, Modelle und digitale Karten entwickelt, um die angestrebten Arbeits- und Vorgehensweisen zeitnah verwirklichen zu können.

Datenverarbeitungstechnik

Das Computer-System des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung unterstützt einerseits die wissenschaftlich-technische Arbeit durch spezielle Anwendungen zur Sammlung, Auswertung und Darstellung geowissenschaftlicher Daten und andererseits die Verwaltungsarbeit durch eine moderne vernetzte Bürokommunikationsanlage.

Netzwerk

Das Elektronische Datenverarbeitungs (EDV)-Netzwerk, in das das Hessische Landesamt für Bodenforschung eingebunden ist, ist hierarchisch gegliedert (Abb. 2).

Auf der untersten Ebene verbindet ein Twisted-Pair-Ethernet die drei Zentralgebäude Leberberg 9-11. Diese Ebene arbeitet mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Die Server-Systeme sind über einen Hochgeschwindigkeits-Backbone mit 100 Mbit/s, die Front-End-Systeme über eine 10 Mbit-Standardleitung angeschlossen. Eine ISDN-Festverbindung stellt auf der nächsthöheren Stufe die Verbindung zum Netzwerk des hessischen Umweltressorts her. Über diese sind auch Außenstellen des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung mit den Zentralgebäuden gekoppelt. Dieses Netzwerk ist wiederum mit dem Internet verbunden. Gegen Zugriffe auf das Netz von außen ist das Umweltressort durch einen sogenannten Firewall-Rechner abgeschirmt. Um dennoch Informationsdienste auf dem Internet anbieten zu können, betreibt das Hessische Landesamt für Bodenforschung eine Maschine, die vor dem Firewall-Rechner lokalisiert für elektronische Post, Dateidienste und World-Wide-Web-Dienste genutzt werden kann.

Serveranlagen

Das interne Client-Server-Netzwerk des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung ist entsprechend der unterschiedlichen Arbeitsbereiche aufgeteilt. Herzstücke der Anlage sind UNIX-Server mit zentral vorgehaltenen Peripherieeinheiten.

Ein Server dient zur zentralen Abspeicherung sämtlicher Benutzerdateien und übernimmt gleichzeitig die Verwaltung der Druckaufträge und die Koordinierung des Netzwerkes. Auf diesem Server können sich alle Nutzer der Client-Anlagen interaktiv anmelden. Ein weiterer Server ist der Datenbank-Server, auf dem das relationale Datenbankmanagementsystem Oracle 7 in Betrieb ist, das aber für die direkte interaktive Nutzung gesperrt ist. Die Daten des Datenbanksystems werden über das Netzwerk mit den Client-Anlagen ausgetauscht. Beide Server dienen auch als HTTP-Server für das Intranet des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung (siehe „Softwarekonzeption“). Ein drittes Server-System, das ebenfalls aus-

schließlich für nicht-interaktive Hintergrundprozesse genutzt werden kann, übernimmt die Aufrasterung der großformatigen Druckaufträge für die Plotteranlage. Es wird daher „Raster Image Processing“-Anlage (RIP-Server) genannt und dient der Beschleunigung des Kartendruckes.

Die zentral vorgehaltenen Peripheriesysteme umfassen mehrere 10er-Gigabyte Plattenspeicher, ein Sicherungssystem auf der Basis von Digital-Audio-Bändern (DAT) mit einem Bandwechselroboter, CD-ROM Lese- und Schreiblaufwerke sowie unterschiedliche Scannertypen. Geometriedaten werden mit einem DIN A0-Digitalisierbrett erfasst.

Die unterschiedlichen Ausgabegeräte sind direkt an das Twisted-Pair-Ethernet angeschlossen (Abb. 2). Sie werden alle mit einer einheitlichen Seitenbeschreibungssprache (PostScript) angesteuert.

Client-Anlagen

Die Client-Systeme lassen sich in drei Gruppen einteilen (Abb. 2):

- Bürokommunikationssysteme auf PC-Basis,
- Desktop-Publishing-Systeme,
- Desktop-UNIX-Anlagen für Fachanwendungen.

Basis der Bürokommunikationsanlagen sind Standard-PC-Rechner unter MS Windows. Sie sind mit Standard-Software-Paketen zur Textverarbeitung, Graphikerstellung und Tabellenkalkulation ausgestattet und können als graphische Terminals für das UNIX-System genutzt werden. Es stehen weiterhin spezielle Auswertungs- und Darstellungsprogramme für geowissenschaftliche Arbeiten auf diesen Anlagen zur Verfügung. Sämtliche PC-Installationen sind in ihrer Hard- und Softwarekonfiguration standardisiert und werden zentral verwaltet. Die Desktop-Publishing-Systeme basieren ebenfalls auf PC-Technologie, sind aber in Leistungsfähigkeit und Umfang an Peripherie (Ausgabe, Reproduktion) auf die erhöhten Anforderungen für den Satz von Veröffentlichungen und die Entwicklung komplexer Präsentationsgraphiken angepaßt.

Die Desktop-UNIX-Anlagen hingegen dienen der Bearbeitung komplexer und rechentechnisch anspruchsvoller Fachaufgaben wie z.B. der Arbeit in Geo-Informationssystemen (GIS) oder der Berechnung numerischer Modelle. Durch eine Emulation sind sie in der Lage, den Leistungsumfang der Bürokommunikationsanlagen mit anzubieten.

Softwarekonzeption

Die Standardsoftware, die im Hessischen Landesamt für Bodenforschung eingesetzt wird, muß entweder unter dem Betriebssystem MS Windows oder unter dem Be-

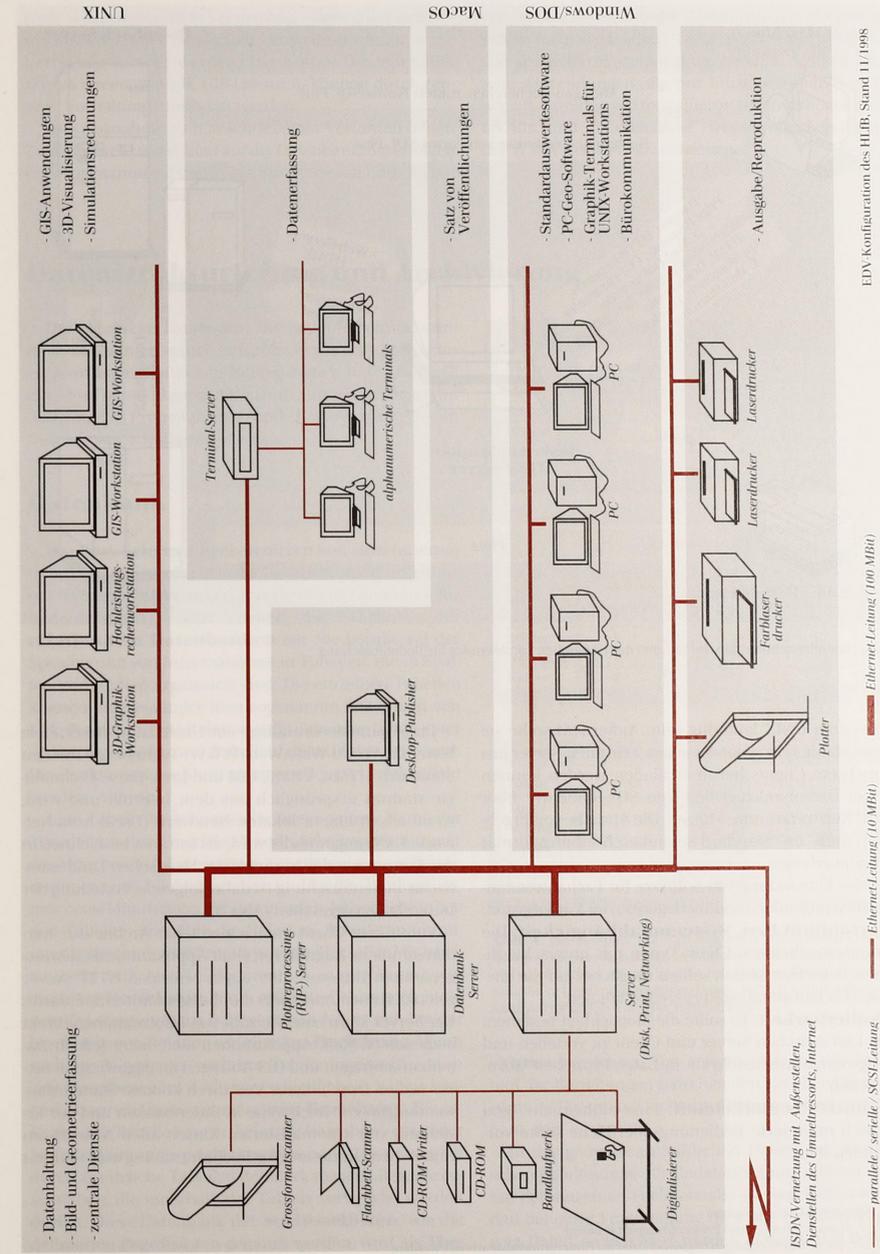


Abb. 2. Schematische EDV-Konfiguration des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung.

EDV-Konfiguration des HLfB, Stand 11/1998

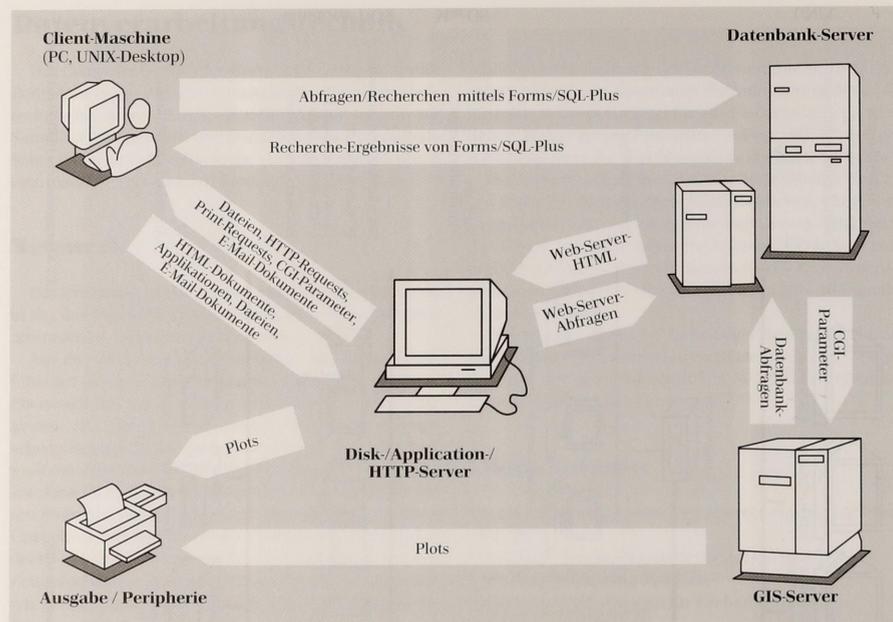


Abb. 3. Datenflüsse innerhalb des Intranet des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung.

triebssystem UNIX lauffähig sein. Außerdem sollte sie netzwerkfähig sein, also von einem zentralen Server aus auf mehrere Clients heruntergeladen werden können und bei Datenbankzugriffen den SQL-Standard¹ über TCP/IP-Netzwerke² unterstützen. Die Ausgabe von Ergebnissen muß im Standard-Seitenbeschreibungsformat PostScript erfolgen.

Bei der Entwicklung von Software für Fachanwendungen stehen folgende Grundüberlegungen im Vordergrund:

- **Portabilität bzw. Systemunabhängigkeit:** Die unterschiedlichsten Client-Typen mit unterschiedlichen Betriebssystemen sollten möglichst auf die gleichen Fachanwendungen zugreifen können.
- **Skalierbarkeit:** Es sollte die Möglichkeit bestehen, die Last zwischen Server und Client zu verteilen und langwierige Arbeitsschritte in Batch-Prozessen³ abzuarbeiten.
- **Benutzerfreundlichkeit:** Eine einheitliche, graphisch orientierte Bedienoberfläche sollte vorhanden sein.

Eine optimale Grundlage zur Umsetzung dieser Ziele bietet die World-Wide-Web (WWW)-Technologie mit den Standards HTML, VRML, CGI und Java. Diese Technologie stammt ursprünglich aus dem Internet und wird, wenn sie in einem lokalen Netzwerk (Local-Area-Netzwerk, LAN) angewendet wird, als Intranet bezeichnet. In der Konzeption des Intranets des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung ist dabei folgende Verteilung der Datenflüsse vorgesehen (Abb. 3):

Von einem Client unterschiedlicher Architektur werden sämtliche Zugriffe von einer Applikation aus, dem sogenannten Browser, über einen zentralen HTTP-Server gelenkt. Dieser unterstützt die obengenannten Standards. Der Server kann eine Vielzahl von Informationen direkt bedienen (E-Mail, Applikationen etc.), leitet jedoch Datenbankabfragen und GIS-Abfragen an zugewiesene Server weiter. Durch dieses Verfahren können Standardanwendungen zur Recherche in Datenbanken und zur Erstellung von automatisierten Karten allen Nutzern im Hessischen Landesamt für Bodenforschung und – mittels

einer weiterreichenden Vernetzung – dem gesamten Geschäftsbereich des hessischen Umweltministeriums zur Verfügung gestellt werden. Die Kosten für teure Einzelressourcen, wie z.B. GIS-Lizenzen, können durch zentrale Vorhaltung minimiert werden.

Eine Ausnahme zum beschriebenen Verfahren bilden Zugriffe direkt vom Client auf die Datenbank. Sie erfolgen über sogenannte ad-hoc-Tools. Sie werden in Einzelfällen

verwendet, bei denen die Standardmöglichkeiten über WWW nicht ausreichen. Diese Werkzeuge werden nur von speziellen Einzelpersonen benutzt. Ähnlich spezifische Anwendungen, die nur Einzelpersonen betreffen, wie z.B. Grundwassermodellierungssoftware (siehe unten im Abschnitt „Datenanalyse“) werden ebenfalls nicht mit der WWW-Technologie betrieben.

Datenstrukturierung und Archivierung

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung sammelt im Rahmen seiner Aufgaben ein breites Spektrum an geowissenschaftlichen Informationen und hält diese auf Abruf bereit. Dazu gehören unter anderem Daten von Bohrungen, Probenahmen und Untersuchungen im Gelände sowie Kartiererergebnisse.

Datenbank

Das Speichern und Recherchieren von strukturierten Informationen geschieht in der Informationsverarbeitung mit Hilfe von Datenbanken. Das Hessische Landesamt für Bodenforschung setzt dabei die Technik der **relationalen Datenbanken** ein. Sie beruht auf der Speicherung von Informationen in Tabellen, die in Spalten und Reihen organisiert sind. Die einzelnen Tabellen können untereinander über sogenannte Relationen verknüpft werden. Eine Relation stellt dabei den Inhalt einer Spalte dar, die in zwei Tabellen gleichzeitig vorkommt. Die Funktionsweise kann an einem Beispiel verdeutlicht werden (Abb. 4):

Eine Tabelle besteht aus den zwei Spalten „Name der Mitarbeiter eines Betriebes“ und „Arbeitsraumnummer des Mitarbeiters“. Eine weitere Tabelle weist einer Raumnummer eine Telefonnummer zu. Um die Telefonnummer eines Mitarbeiters herauszufinden, können diese beiden Tabellen nun über die Relation „Arbeitsraumnummer“ miteinander verknüpft werden. Hat jeder Mitarbeiter dabei exakt eine Telefonnummer, so spricht man von einer **1:1-Beziehung**. Kann ein Mitarbeiter auch mehrere Telefonnummern haben, so handelt es sich bei der beschriebenen Relation um eine **1:n-Beziehung**. Wenn mehrere Mitarbeiter mehrere Telefonnummern – zum Teil dieselben, zum Teil unterschiedliche – haben können, so spricht man von einer **n:m-Beziehung**. Die Inhalte einer Tabelle können bei einer Datenbank entweder als freier Eintrag gespeichert werden oder aber sie werden durch zusätzliche Tabellen definiert, die jene Begriffe beschreiben, die innerhalb der Tabelle verwendet werden dürfen. Diese Datenbank der **Schlüssellisten**, wie die definierten Begriffslisten genannt werden, wird als **The-**

1:1-Beziehung

Name	Zimmer	Zimmer	Telephon
Meier	1	1	110
Schmidt	5	2	111
Müller	3	3	112
Neumann	4	4	113
Keller	2	5	114

1:n-Beziehung

Name	Zimmer	Zimmer	Telephon
Meier	1	1	110
Schmidt	5	1	111
Müller	3	2	112
Neumann	4	3	113
Keller	2	3	114

n:m-Beziehung

Name	Zimmer	Zimmer	Telephon
Meier	1	1	110
Schmidt	1	2	111
Müller	3	2	112
Neumann	4	4	113
Keller	2	4	114

Abb. 4. Ein Beispiel, wie Tabellen einer relationalen Datenbank über sogenannte Relationen verknüpft werden können. Eine Relation besteht, wenn gleiche Spalten mit gleichen Inhalten vorhanden sind, die sich einander zuordnen lassen. Je nach Verknüpfung spricht man von einer 1:1-, 1:n- oder n:m-Beziehung.

saurus bezeichnet. Das gesamte System der Tabellen und der Beziehungen zwischen den Tabellen für eine bestimmte Datenbank stellt das **Datenmodell** der Datenbank dar.

In der geowissenschaftlichen Datenbank des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung müssen die Daten der einzelnen Fachbereiche so vorgehalten werden, daß bei einer Fragestellung über alle Fachbereiche hinweg Daten recherchiert werden können. Das bedeutet,

¹ SQL, Structured Query Language

² TCP/IP, Transmission Control Protocol/Internet Protocol

³ Prozesse, die in Warteschlangen organisiert und im Hintergrund abgearbeitet werden.

daß im Datenmodell alle möglichen Verknüpfungen zwischen Datenbereichen – auch über Fachgrenzen hinaus – realisiert sein müssen. Zusätzlich verlangt eine solche Datenbank, daß gleiche Datentypen aus unterschiedlichen Fachbereichen an der gleichen Stelle in der Datenbank gespeichert werden.

Die Vereinigung von Fachbereichen wie Geologie, Hydrogeologie, Rohstoffgeologie, Bodenkunde, Labor etc. zu einem integrierten Datenmodell nimmt schnell komplexe Formen an. Konventionell werden für das Datenmodell in einem Top-Down-Ansatz die verschiedenen Bereiche separat voneinander entwickelt. Als Basis dienen dabei die gemeinsamen Stammdaten, die die geometrisch-topografische Beziehungen des Punktes im Raum beschreiben (Abb. 5). So wird z.B. für die Schichtdaten einer Bohrung unterhalb der Stammdaten der Bereich „Schichttiteldaten“ (übergeordnete Beschreibung des Profiltyps) angehängt. Hiernach folgen die Daten der einzelnen Schichten, unterhalb derer wiederum Teilschichten erfaßt werden können. Will man jetzt jedoch noch einzelne Komponenten beschreiben, so muß man den einfach hierarchischen Top-Down-Ansatz verlassen, da die Einzelkomponenten sowohl in einer Gesamtschicht als auch in einer Teilschicht vorkommen können. Nimmt man außerdem noch einen weiteren Datenbereich hinzu, z.B. Proben, so wird das Relationengeflecht schnell dichter. Es gibt Proben, die ein gesamtes Profil umfassen, also mit den Schichttiteldaten verknüpft sind, oder Proben, die sich auf Schichten, Teilschichten oder wiederum auf Komponenten in einer Schicht oder in einer Teilschicht beziehen.

Zu der Schwierigkeit, ein **Relationenmodell** in seiner Komplexität zu entwickeln, kommt das Problem hin-

zu, daß die Verknüpfung der Relationen im Regelfall erst über die Anwendung geschieht, die zur Eingabe und Recherche auf der Datenbank verwendet wird. Das heißt, daß bei einer Änderung des Datenmodells – beispielsweise durch Hinzufügen eines weiteren Fachbereiches – die gesamte bestehende Anwendung neu überarbeitet werden müßte. Der Aufwand für die Pflege des gesamten Informationssystems würde somit exponentiell wachsen.

Um dieser Schwierigkeit zu begegnen, bietet sich an, das Datenmodell weiter zu abstrahieren. Dies geschieht durch eine Reduktion auf einfache Grundtypen (Bausteine), die auf alle in der Datenbank zu beschreibenden geowissenschaftlichen Objekte (Fachdatenobjekte), angewandt wird. Folgende Grundtypen bzw. „Grundbausteine“ werden dazu definiert:

- **Attribut:** Eine einzelne in der Datenbank beschriebene Eigenschaft, ein Datenfeld. Für jedes Attribut steht eine Begriffsliste im fachlichen Thesaurus zur Verfügung, die die erlaubten Begriffe zur Beschreibung enthält.
- **Charakteristik:** Eine Reihe von Attributen, die fachlich eine logische Gruppe bilden, d.h. daß sie immer gemeinsam vorkommen.
- **Objekt:** Die Beschreibung eines gesamten Fachdatenobjektes durch eine logische Zusammenfassung von Charakteristiken und evtl. weiteren Objekten.

Das **Fachdatenmodell** wird aus diesen Grundbausteinen aufgebaut. Sie beschreiben ein sehr einfaches Grunddatenmodell (Abb. 6). Zunächst werden die benötigten oder zur Beschreibung gewünschten Attribute zu Charakteristiken zusammengefaßt. Danach wird eine Sammlung der zu beschreibenden Fachdatenobjekte

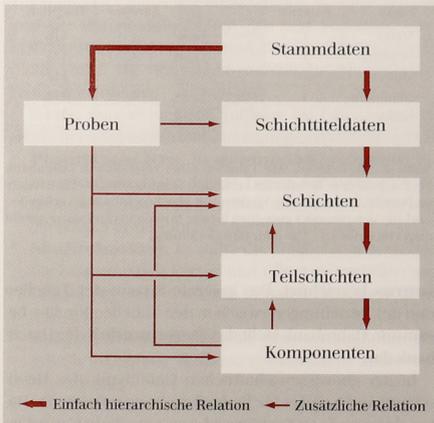


Abb. 5. Die Struktur eines klassischen Relationenmodells für ein erdwissenschaftliches Informationssystem.

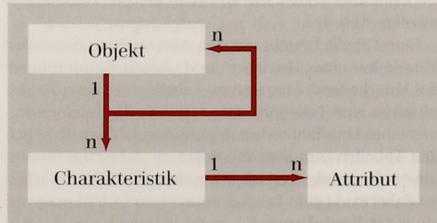


Abb. 6. Grundbausteine des erweiterten, abstrahierten Datenmodells.

durchgeführt und diese als Objekt beschrieben. Dies geschieht durch Zusammenstellung von denjenigen Charakteristiken, die zur Beschreibung dieses Fachdatenobjektes nötig sind und von zusätzlichen Objekten, falls dieses Objekt hierarchisch über anderen Fachdatenobjekten anzusiedeln ist. In Abb. 7 ist dieses Prinzip beispielhaft für das Fachdatenobjekt „Geologisches Schichtprofil“ angewandt:

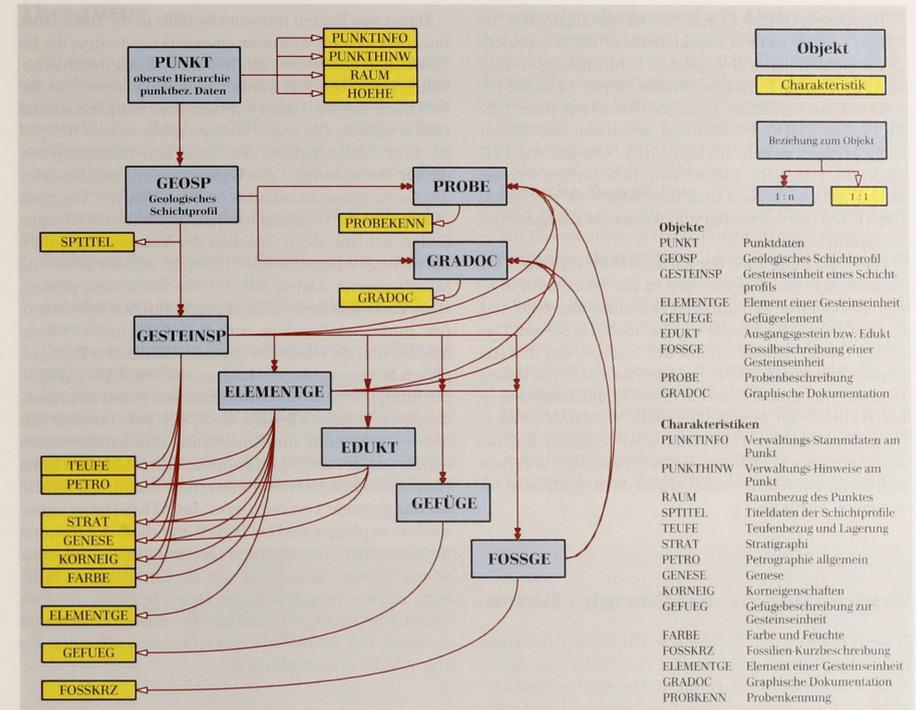


Abb. 7. Die Inhalte und interne Struktur der Bausteine des Datenmodells am Beispiel des Fachdatenobjekts „Geologisches Schichtprofil“ (GEOSP).

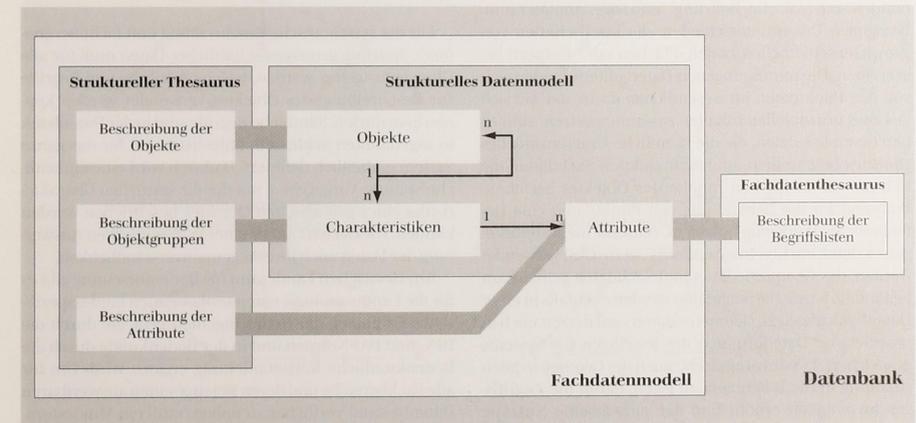


Abb. 8. Aufbau und Organisation der Datenbank. Die Beschreibung der Fachdatenobjekte ist in dem strukturellen Thesaurus abgelegt.

Das Objekt GEOSP ist von PUNKT aus zugänglich. Im Objekt GEOSP ist die Charakteristik SPITTEL (spezielle „Stammdaten“ eines geologischen Schichtprofils) verfügbar. Als mehrfach nachgeordnetes Objekt steht die GESTEINSP zur Verfügung, in der die Charakteristiken TEUFFE, PETRO, STRAT, GENESE usw. anwählbar sind. Gleichzeitig können weitere nachgeordnete Objekte wie ELEMENTGE, FOSSKRZ, EDUKT usw. beschrieben werden, die z.T. auf die gleichen Charakteristiken wie das Objekt GESTEINSP zurückgreifen und wiederum nachgeordnete Objekte besitzen.

Diese Strukturierung der Fachdaten in Attribute, Charakteristiken und Objekte wird in der Datenbank in einem gesonderten strukturellen Thesaurus abgelegt (Abb. 8). Eingabe und Recherche von Fachdaten in diesem Thesaurus erfolgt dynamisch mit der Laufzeit, um den Anwender selbständig durch die Daten navigieren zu lassen. Wird das Datenmodell um ein neues Fachdatenobjekt erweitert, muß die Anwendung nicht verändert werden. Dem strukturellen Thesaurus wird lediglich die Beschreibung des Fachdatenobjektes hinzugefügt und dem fachlichen Thesaurus entsprechend die Begriffslisten für die neuen Attribute.

Typisierung zu speichernder Daten

Der große Vorteil des oben beschriebenen Datenmodells besteht darin, daß keinerlei Vorgriffe auf die Struktur und die Inhalte der darin abzubildenden Fachdaten geschehen. Ein integriertes geowissenschaftliches Informationssystem muß sehr unterschiedliche Datenarten vereinigen. Dabei wird im allgemeinen zwischen sogenannten Punktdaten, die an einen einzelnen Punkt im Raum gebunden sind (z.B. eine Bohrung), und sogenannten raumbezogenen Daten unterschieden, die Eigenschaften von geowissenschaftlichen Linien, Flächen oder Körpern beschreiben. Die raumbezogenen Daten unterscheiden sich von den Punktdaten im wesentlichen darin, daß sie sich aus zwei prinzipiellen Inhalten zusammensetzen: zum einen Geometriedaten, die die räumliche Umgrenzung des Objektes beschreiben, und zum anderen Sachdaten, die sich auf die fachlichen Inhalte des Objektes beziehen. Während für die Behandlung von Punktdaten eine Datenbank als Werkzeug ausreicht, muß für die raumbezogenen Daten ein Geo-Informationssystem (GIS) verwendet werden, das Geometriedaten und Sachdaten gemeinsam behandeln kann. Die Sachdaten werden ebenfalls in einer Datenbank abgelegt, Geometriedaten sind derzeit noch in proprietären Dateiformaten des jeweiligen GIS-Systems gespeichert. Es wird angestrebt, auch die Geometriedaten zukünftig in die Datenbank zu legen, damit die Zugriffsgeschwindigkeit erhöht und die gemeinsame Nutzung durch unterschiedliche Anwender und unterschiedliche Client-Plattformen erleichtert wird.

Daten von Dritten müssen ebenfalls in die Datenbank integriert werden, weil diese einerseits zur Analyse der im Hessischen Landesamt für Bodenforschung intern erhobenen Daten benötigt werden, und weil andererseits die Erhebung eigener Daten auf dem Informationsmaterial Dritter basiert. Zur ersten Gruppe gehören zum Beispiel die Untersuchungsdaten des Deutschen Wetterdienstes, die für Berechnungen des Bodenwasserhaushaltes oder des Grundwasserhaushaltes (siehe unten im Abschnitt „Datenanalyse“) benötigt werden. In der zweiten Gruppe finden sich vor allem Angaben der Vermessungsämter, die wichtige topographische Informationen zur Erhebung raumbezogener Daten, wie z.B. die Kartierung geologischer Einheiten, liefern. Die topographischen Informationen umfassen Angaben zum Relief (Digitales Höhenmodell) und die Daten des digitalen Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informations-Systems (ATKIS). Die Komplexität dieser raumbezogenen Daten ist so groß, daß es nicht rationell wäre, wenn sich jede Behörde mit deren Behandlung und Umsetzung auseinandersetzen würde. Daher wurde das Landesamt für Bodenforschung vom hessischen Umweltministerium beauftragt, zentral für das gesamte Umweltressort die ATKIS-Daten einzuspielen, zu pflegen und bei Bedarf innerhalb des Ressorts weiterzugeben. Die externen topographischen Informationen werden dabei nicht nur als Grundlage zur Erhebung eigener raumbezogener Daten benötigt, sondern bilden eine wichtige Grundlage für Auswertungen und Analysen von geowissenschaftlichen Informationen für angewandte Fragestellungen.

Standardisierte Beschreibung geowissenschaftlicher Objekte

Für die systematische Beschreibung und fachübergreifende Nutzung geowissenschaftlicher Daten muß für alle Objekte festgelegt werden, welche Attribute und Begriffe zur Beschreibung des Objektes verwendet werden können bzw. dürfen. Sämtliche Begriffe sind in der Datenbank in sogenannten Schlüsseln aufgelistet und für das ganze System einheitlich definiert. Dadurch wird eine einheitliche Sprache vorgegeben, mit der die speziellen Charakteristika eines geologischen Objektes beschrieben werden können. Dies sichert außer einer systematischen Auswertung der Daten auch ihre Allgemeinverständlichkeit.

Am Hessischen Landesamt für Bodenforschung gibt es für die Landesgeologie einen umfassenden landesspezifischen Schlüssel, der in der Ingenieurgeologie durch die DIN- und ISO-Normen und in der Bodenkunde durch die Bodenkundliche Kartieranleitung ergänzt wird. Um für alle Fachbereiche und deren Belange einen auswertbaren Datenbestand verfügbar zu haben, muß ein Mindestumfang an beschriebenen Attributen pro beschriebenem „Geo-Objekt“ eingehalten werden.

Thesaurus

Für den Aufbau einer Datenbank ist die Entwicklung einer einheitlichen Begriffswelt zur Beschreibung der einzelnen Attribute notwendig. Dieser sogenannte geowissenschaftliche Thesaurus bildet eine eigenständige, fachübergreifende Datenbank, die für alle Datenbereiche – wie Punktdaten, Flächendaten, Liniendaten oder Körper – zur Verfügung steht.

Im wesentlichen erfüllt der Thesaurus folgende Aufgaben:

- Festlegung der verfügbaren Begriffe zur Beschreibung geowissenschaftlicher Attribute,
- Abbildung von Beziehungen der einzelnen Begriffe zueinander,
- Dokumentation von Eigenschaften und Funktionen einzelner Begriffe.

Die Begriffe werden von den eigentlichen Sachdaten getrennt in sogenannten Begriffslisten vorgehalten, wo sie an einer Stelle definiert und gespeichert sind. Jede strukturierte Beschreibung eines geologischen Objektes ist lediglich ein Verweis auf die jeweiligen Begriffe in der

Thesaurusdatenbank. Kürzel und Klartextschreibweise sind bei diesem Vorgehen unabhängig von der Strukturierung der Begriffe verändert werden, ohne daß die eigentlichen Sachdaten überarbeitet werden müssen.

Folgende Arten von Begriffslisten werden am Hessischen Landesamt für Bodenforschung derzeit unterschieden und verwaltet (Abb. 9):

- **Einfache Begriffsliste:** Alle Begriffe dieser Liste sind gleichwertig. Eine Reihung der Begriffe wird nur zur übersichtlichen Darstellung vorgenommen.
- **Sortierte Begriffsliste:** Diese Begriffsliste ist nicht nur zur besseren Übersicht sortiert, sondern hat eine innere logische Ordnung und kann auch eine Entwicklung, Zusammensetzung oder einen Zustand widerspiegeln. Ein Beispiel wäre eine Begriffsliste zur Beschreibung des Grades der Verwitterung oder der Lagerungsverhältnisse einer Schicht.
- **Hierarchische Begriffsliste:** In ihr sind die Begriffe so aufgelistet, daß ab der zweiten Hierarchieebene jeder Begriff genau einem Überbegriff zugeordnet ist.
- **Netzwerk von Begriffen:** Diese Begriffslisten sind

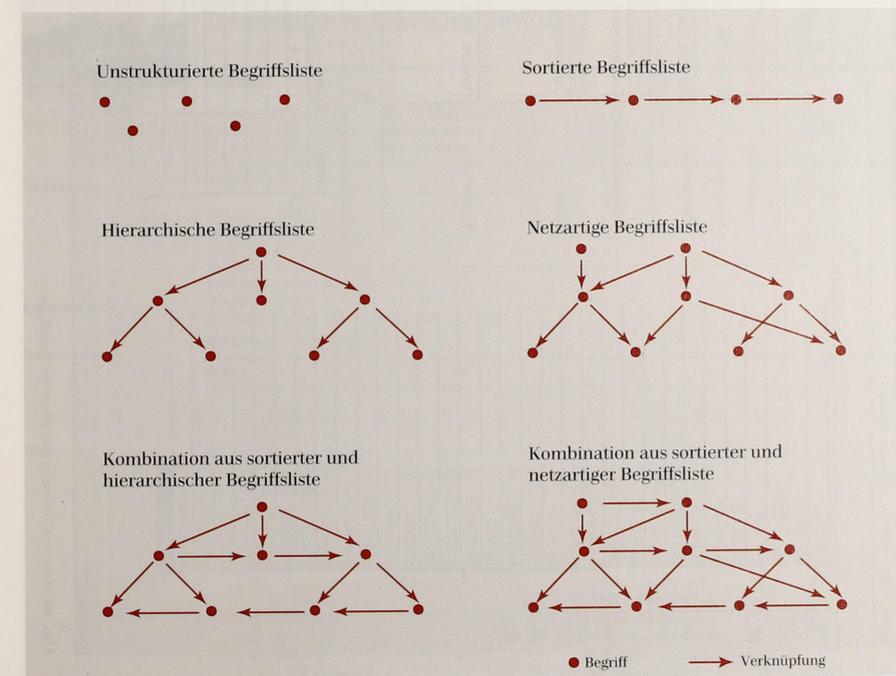


Abb. 9. Schematische Konzeption der Begriffslisten.

Die aktuellen Datenbankeinträge der Begriffslisten können im Hessischen Landesamt für Bodenforschung auch

Datenanalyse

Neben der systematischen Erfassung und Verwaltung von Begriffen kommt dem Thesaurus eine wichtige Funktion bei der Datenrecherche zu (siehe unten im Unterabschnitt „Recherche von geologischen Schichtdaten“).

Für die Beantwortung praktischer, von außen an das Hessische Landesamt für Bodenforschung herangetragenener Fragestellungen müssen die – wie oben beschrieben – in strukturierter Form abgespeicherten Daten nach bestimmten Kriterien recherchiert und ausgewertet werden. Die rechnergestützte Datenanalyse ist somit ein essentielles Werkzeug für den Arbeitsbereich der angewandten Geowissenschaften.

Hierbei unterscheiden wir drei qualitative Stufen der Datenanalyse:

- **Recherche:** Durch eine gezielte Technik der „Fragestellung“ werden bestimmte, für den aktuellen Fall passende Datensätze aus der Datenbank selektiert.
- **Methode:** Die mit der Recherche gewonnenen Datensätze werden nach bestimmten Regeln miteinander verknüpft, um einen abgeleiteten Parameter zu gewinnen.
- **Modell:** Parameter, die über Recherchen und Methoden gewonnen wurden, fließen in ein Rechenprogramm, das einen geologischen Prozeß entsprechend den zugrundeliegenden physikalischen und chemischen Gleichungen numerisch simuliert.

Diese drei Typen der Datenanalyse sollen anhand von Beispielen verdeutlicht werden.

Recherche von geologischen Schichtdaten

Ziel einer Recherche in der geowissenschaftlichen Grunddatenbank ist es, möglichst viele für eine Fragestellung passende Datensätze zu finden. Für die geowissenschaftliche Recherche muß daher die Datenbank in ihrer gesamten Breite recherchierbar sein. Dies unterscheidet sich grundsätzlich von Datenbankanwendungen in anderen Bereichen, z.B. Kundendatenbanken bei Banken und Versicherungen, die darauf zielen, die Suche möglichst auf einen einzigen Treffer einzuengen.

Die Datenbanksuche findet dabei in drei Schritten statt. Im ersten Schritt werden aus dem strukturellen Thesaurus Attribute ausgewählt, für die Recherchekriterien formuliert werden sollen. Demgegenüber steht die Auswahl der Attribute, die nach der Recherche ausgegeben werden. Mit den Recherchekriterien wird zunächst die Begriffsli-

ste ohne spezielle Anwendung per Intranet durch den WWW-Browser von jedem Nutzer abgefragt werden (vgl. Abb. 11).

ste abgefragt, um die ausgewählten Begriffe und deren hierarchisch untergeordneten „Kinder“ zu selektieren. Erst mit dieser Vorselektion an Begriffen kann die Datenbank im letzten Schritt nach den gewünschten Fachdaten durchsucht werden. Die so gefundene Treffermenge muß danach für Mengenoperationen zur Verfügung stehen. Entweder wird innerhalb dieser Menge weiter gesucht, weil sie eine Übermenge der eigentlich gesuchten Fachdaten darstellt, oder sie wird mit einer Treffermenge einer bereits vorliegenden Recherche zu einer Gesamttreffermenge vereinigt. Wenn der Benutzer eine Menge als Endresultat der Recherche akzeptiert, muß diese zur Weiterverarbeitung zur Verfügung gestellt werden. Dieser Ablauf soll anhand eines Beispiels verdeutlicht werden:

Ein Benutzer sucht alle Bohrungen, die einen geologischen Horizont bestimmten Alters mit einem bestimmten Karbonatgehalt enthalten, wobei ihn als Ergebnis lediglich die Koordinaten der Bohrungen interessieren. Zunächst manövriert der Benutzer mit dem Recherche-Programm durch den Objekt- und Charakteristik-Baum und markiert in der Charakteristik STRAT das Attribut „Stratigraphieinheit“ als Suchmerkmal. Das Recherche-Programm schaltet nun von einer Navigation durch den strukturellen Thesaurus um auf eine Navigation im Fachdatenthesaurus und erlaubt dem Benutzer hier, die gewünschte stratigraphische Einheit als Einschränkung auszuwählen. Automatisch sind damit alle hierarchisch unterhalb der ausgewählten Einheit gelegenen Subformationen als mögliche Treffer gekennzeichnet. Desweiteren werden in der Charakteristik PETROBEZ die Petrographie als Suchmerkmal markiert sowie durch eine Suche im Fachdatenthesaurus alle Begriffe, die eine Petrographie mit einem bestimmten Karbonatgehalt darstellen, als Treffer festgehalten. Schließlich manövriert der Benutzer zum Objekt PUNKTINFO und beendet die Recherche im strukturellen Thesaurus durch die Markierung der Attribute „Rechtswert“ und „Hochwert“ sowie „Bohrungsname“ als auszugebende Datenfelder. Danach startet das Recherche-Werkzeug die Suche durch den eigentlichen Datenbestand, wählt die entsprechenden Bohrungen aus und präsentiert dem Benutzer die Trefferliste mit den auszugebenden Merkmalen. Der Benutzer kann nun bei Bedarf die für ihn nicht relevanten Bohrungen aus der Liste herauslöschen. Entweder startet er jetzt eine neue Suche innerhalb des gefundenen Datenbestandes zur weiteren Eingrenzung des Resultats oder aber er kennzeichnet den gefundenen Datenbestand als einen Datenpool. Dies ermöglicht ihm jederzeit den Zugriff auf die selektierten Daten, ohne jedesmal neu recherchieren zu müssen. Dadurch ist

es möglich, einen Projektdatenbestand zu erstellen, der bei häufigem Arbeiten unter dem gleichen Thema eine immer wieder stattfindende Suche erspart. Dieser Projektdatenbestand kann jederzeit durch weitere Suchkriterien im Gesamtdatenbestand erweitert oder durch Herausnehmen einzelner Bohrungen verkleinert werden.

Die in einer Recherche gefundene Trefferliste wird dann entweder an ein Programm zur Bohrsäulendarstellung, zur Tabellenkalkulation oder zur Bohrpunktkartendarstellung weitergereicht.

Methode zur Erstellung einer Grundwasserschutzfunktionskarte

Die Geologie, als eine ursprünglich beschreibende Wissenschaft, behandelt viele Eigenschaften, die mehr qualitativer Natur sind bzw. die nicht direkt über Meßmethoden oder mathematisch über physikalische Basisgleichungen bestimmt werden können. Viele dieser Parameter sind aber sehr hilfreich bei angewandten Fragestellungen, da sie unterschiedliche Aspekte zu einem Wert aggregieren.

Ein typisches Beispiel für einen solchen Parameter ist die Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Der Bereich zwischen Grundwasser und Geländeoberkante, die ungesättigte Zone, kann Verschmutzungen, die an der Geländeoberfläche eingetragen werden, zurückhalten oder verzögern. Dies geschieht durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Prozessen wie Absorption, chemische Umwandlung oder durch biologischen Abbau. Jeder dieser Prozesse ist kaum durch ein physikalisch-chemisches Rechenmodell beschreibbar. Dennoch ist es hilfreich, ein allgemeines Maß zu besitzen für den Schutz, den die ungesättigte Zone an einer bestimmten Stelle ausübt. Hierzu wird ein Verfahren gewählt, das zum großen Teil auf empirischem Wissen basiert. Es werden die Hauptfaktoren, die einen Schutz definieren, lokalisiert, ihr Einfluß über ein Punktsystem quantifiziert und schließlich eine Kombinationsformel festgelegt, die den Einfluß aller Größen zu einem Wert aggregiert (auf das Verfahren hat sich der ad-hoc-Arbeitskreis Hydrogeologie der Geologischen Dienste Deutschlands 1995 geeinigt). Dieser Wert drückt dimensionlos eine Schutzfunktion aus. Um eine verständliche Aussage zu gewinnen, werden die für ein Gebiet ermittelten Schutzfunktionswerte dabei in Klassen eingeteilt, die mit sprachlichen Ausdrücken wie „gering“ oder „hoch“ umschrieben werden. Im Falle der Grundwasserschutzfunktion wurden die Sickerwassermenge aus dem Niederschlag, die nutzbare Feldkapazität des Bodens, die Gesteinsart der ungesättigten Zone, die Mächtigkeit der Grundwasserüberdeckung, die Druckverhältnisse und der Sondereinfluß von schwebenden Grundwasserleitern als Haupteinflußgrößen festgestellt (Abb. 12). Jeder dieser Parameter wird zunächst für das zu untersuchende Gebiet auskartiert und als raumbezogene Daten in ein GIS-Sy-

stem eingebracht. Innerhalb des GIS-Werkzeuges werden diese Parameter anhand der in Abb. 12 beschriebenen Gleichung an jedem Punkt des Untersuchungsgebietes kombiniert und das Ergebnis in einer neuen Karte bzw. als neuer raumbezogener Parameter dargestellt. Ein Beispiel für eine Grundwasserschutzfunktionskarte für den Bereich der hessischen Oberrheinebene zeigt Abb. 13.

Der Vorteil dieser parametrischen Methoden liegt darin, daß sie die empirische Aussage des Geowissenschaftlers objektivieren helfen, obwohl sie semiquantitative Ergebnisse liefern bzw. auf Erfahrung beruhende Ableitungen darstellen. Das beschriebene Verfahren kann von Dritten nachvollzogen werden und wird bei gleichen Parametern immer die gleiche Aussage liefern.

Um eine breite Palette an Methoden zur Verfügung zu stellen, werden Beispiele validierter Verfahren gesammelt und in einer Methodenbank zur allgemeinen Nutzung zur Verfügung gestellt. In ihr ist nicht nur der Algorithmus (Berechnungsverfahren) zur Durchführung einer Methode fest kodiert, sondern es liegen Metadaten zur Beschreibung der jeweiligen Auswertung vor. Außerdem werden einfache Tests zur Qualitätssicherung durchgeführt, damit beispielsweise keine raumbezogenen Daten miteinander verschnitten werden, die mit völlig unterschiedlichen Maßstäben gewonnen wurden. In vielen Fällen sind Methoden hierarchisch gegliedert, da ein Verfahren wiederum Ergebnisse aus einem anderen Verfahren verarbeitet. Im oben ausgeführten Beispiel ist die nutzbare Feldkapazität, die als Parameter des Bodens eingeht, ein Wert, der mit Hilfe einer Methode aus der Bodenkarte gewonnen wird. Aufgrund dieser Systematik läßt sich die Methodenbank ebenfalls mit dem System der Objekte, Charakteristiken und Attribute darstellen.

Numerische Grundwassersimulation am Beispiel eines Modells

Für einige wenige geologische Prozesse kann das gesamte System durch Grundgleichungen beschrieben werden, die aus der Physik und der Chemie eines Vorgangs mathematisch abgeleitet werden. Im Gegensatz zu den aus der Empirie entwickelten Methoden (siehe die oben gegebene Darstellung zur „Grundwasserschutzfunktion“) besteht hinsichtlich der allgemeinen Gültigkeit der auf mathematischem Weg gewonnenen Aussagen kein Zweifel. Dieser Vorteil wird jedoch durch wesentlich höhere Anforderungen an den Rechenprozess und durch eine größere Vielzahl der zu erhebenden Parameter erkauft. Hauptanwendungsgebiet der numerischen Simulation in der Geologie ist die Modellierung von Grundwasserströmungs- und -transportvorgängen.

Der Beschreibung des Grundwasserfließens liegt die sogenannte Darcy-Gleichung zugrunde:

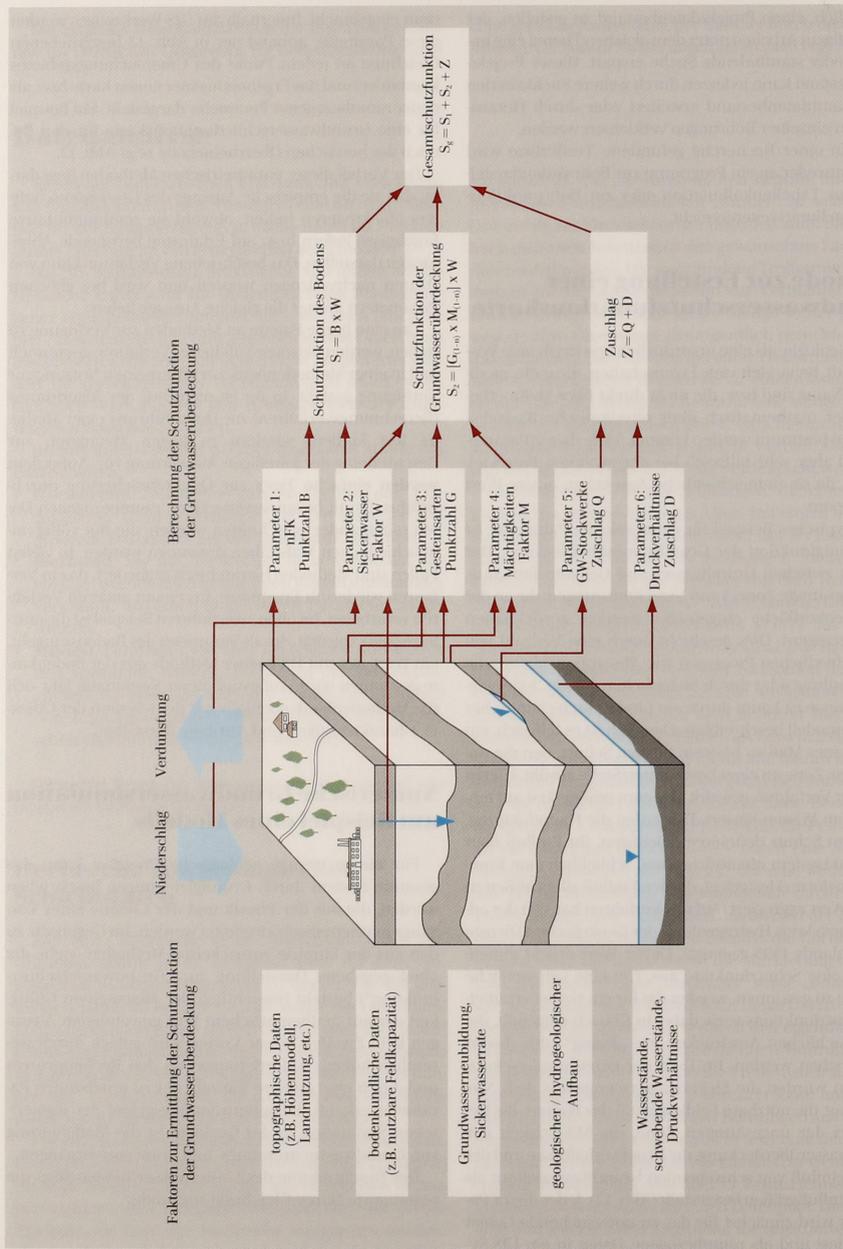


Abb. 12. Ermittlung der Grundwasserschutzfunktion der grundwasserüberdeckenden Schichten.

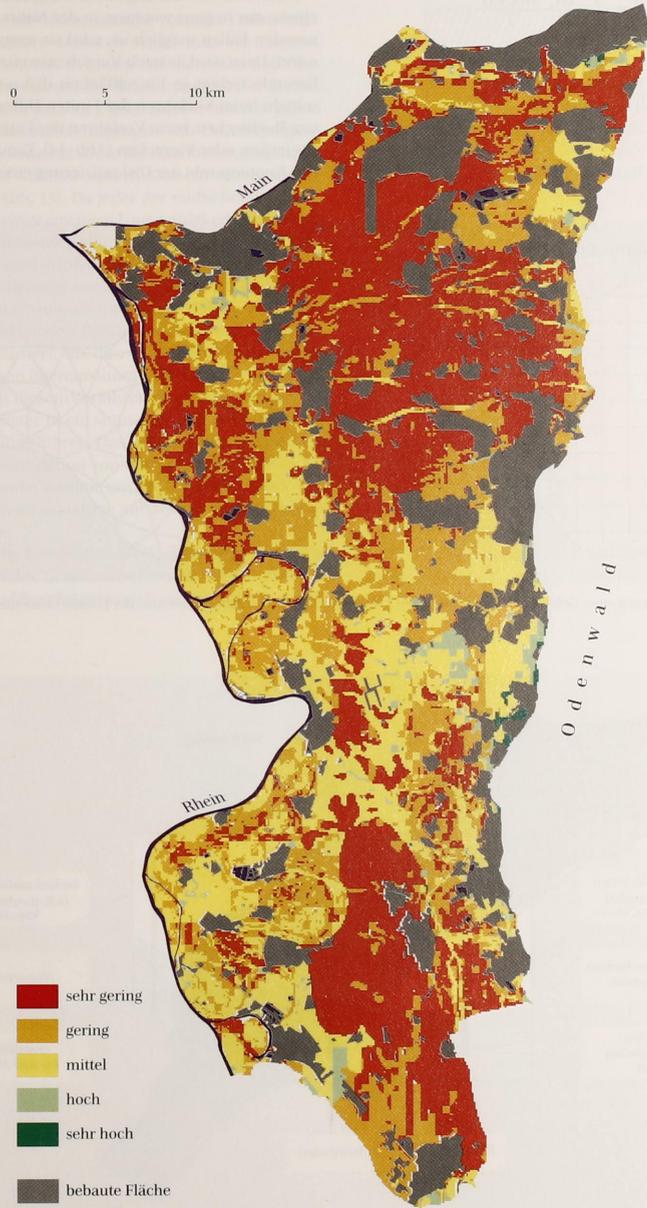


Abb. 13. Grundwasserschutzfunktionskarte für das Hessische Ried.

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 h}{\delta y^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\delta h}{\delta t} - \frac{R(x,y,t)}{T}$$

wobei: h Grundwasserdruckhöhe
 S Speicherkoeffizient
 T Transmissivität
 R Randbedingungen (Zu- oder Abstrom)
 t Zeit
 x,y Raumkoordinaten

Da eine direkte Lösung durch Integration für diese Gleichung nur in ganz wenigen, in der Natur kaum vorkommenden Fällen möglich ist, wird sie numerisch approximiert. Dazu wird, je nach Vorgehensweise, das zu modellierende Gebiet in Einzelflächen diskretisiert. Dies geschieht beim Verfahren der Finiten Differenzen in Form von Rechtecken, beim Verfahren der Finiten Elemente in Dreiecken oder Vierecken (Abb. 14). Danach wird für jeden Knotenpunkt der Diskretisierung eine Gleichung auf-

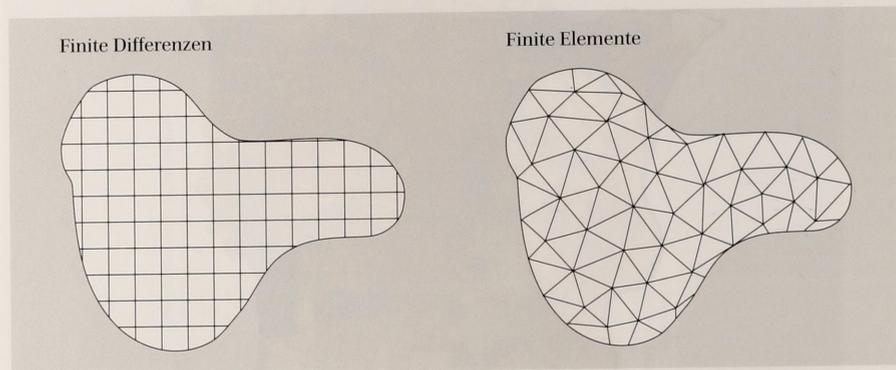


Abb. 14. Diskretisierung eines Gebietes bei Anwendung des Verfahrens der Finiten Differenzen bzw. der Finiten Elemente.

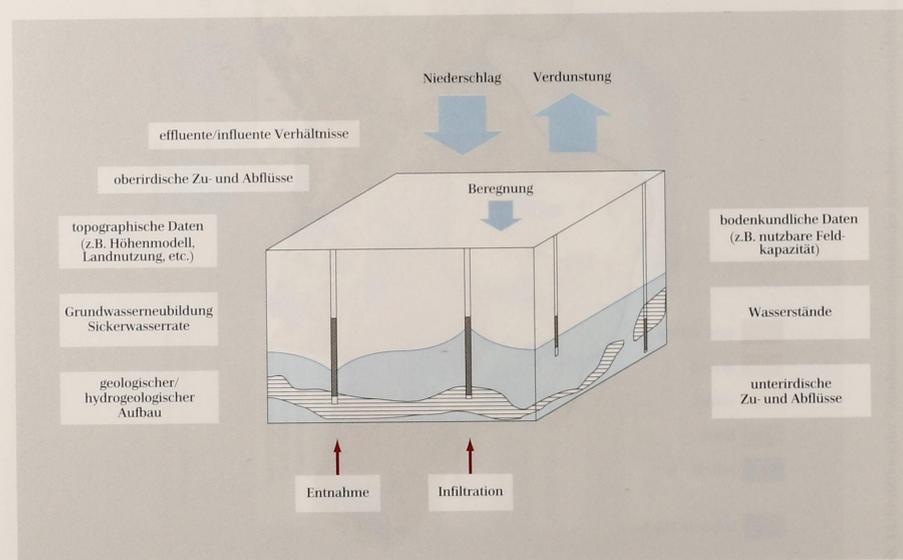


Abb. 15. Zu berücksichtigende Faktoren bei der Simulation von Grundwasserständen; schematische Darstellung.

gestellt, welche die obengenannte partielle Differentialgleichung annähert. Dadurch erhält man ein lineares Gleichungssystem mit so vielen Unbekannten und Gleichungen wie die Anzahl der Knotenpunkte. Für die Berechnung müssen jetzt an jedem Knoten bzw. an jedem Element die Materialbedingungen wie Durchlässigkeit und Speicherkoeffizient sowie die Randbedingungen, die äußere Zu- und Abflüsse zum System darstellen, spezifiziert werden (Abb. 15). Da jeder der einfließenden Parameter nur mit einer gewissen Ungenauigkeit bekannt ist, werden anschließend Kalibrierungsläufe durchgeführt, bei denen versucht wird, einen oder mehrere in der Natur gemessene Grundwasserstände mit bekannten Randbedingungen nachzumodellieren. Um dies zu erreichen, werden die geschätzten Parameter innerhalb zulässiger Bandbreiten variiert, bis das modellierte Ergebnis mit dem gemessenen übereinstimmt. Die Grundwassersimulation dient bei diesem Verfahren dazu, eine Vielzahl bekannter Parameter in ein sinnvolles und in sich stimmiges Ganzes zu überführen. Das kalibrierte Modell kann in der Folge zur Simulation von noch nicht bekannten Zuständen verwendet werden, um z.B. den Einfluß einer veränderten Brunnenentnahme auf den Grundwasserstand vorherzusagen.

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung hat ein dreidimensionales Grundwassermodell für den Bereich der hessischen Oberrheinebene (Hessisches Ried) erstellt

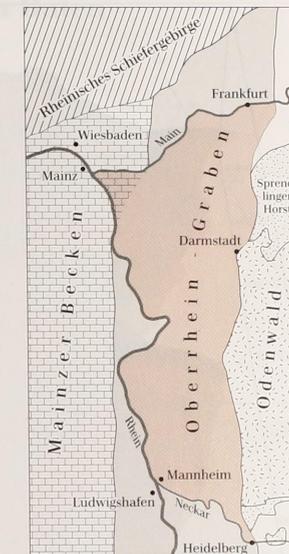


Abb. 16. Lage des Grundwassermodells für den Bereich der hessischen Oberrheinebene.

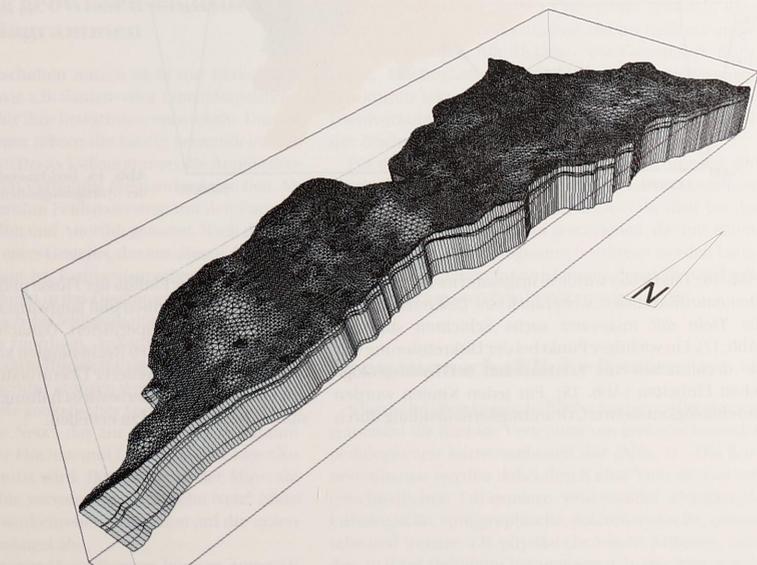


Abb. 17. Diskretisierung des Modellgebietes im Hessischen Ried.

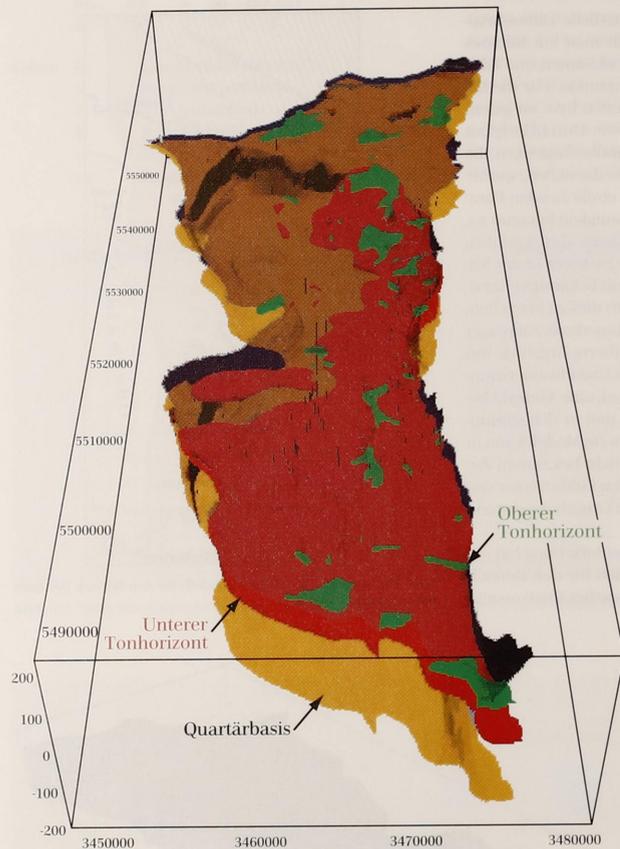


Abb. 18. Dreidimensionale Konstruktion der hydrogeologischen Einheiten.

(Abb. 16). Das Gebiet wurde in insgesamt mehr als 100 000 Elemente diskretisiert, wobei auch eine Diskretisierung in die Tiefe mit insgesamt sechs Schichten stattfand (Abb. 17). Ein wichtiger Punkt bei der Diskretisierung war die dreidimensionale Konstruktion der hydrogeologischen Einheiten (Abb. 18). Für jeden Knoten wurden Durchlässigkeitsbeiwert, Grundwasserneubildung durch

Niederschlag, der Einfluß der Flüsse und Bäche sowie die Entnahme aus Brunnen und landwirtschaftlichen Beregnungsmaßnahmen spezifiziert. Danach wurde das Modell im Laufe von ca. 80 Rechenläufen kalibriert. Das Modell ist jetzt – nach weiterer Überarbeitung – im Einsatz, um einen Grundwasserbewirtschaftungsplan für das gesamte Hessische Ried zu erstellen.

Visualisierung geowissenschaftlicher Daten

Die in einer Datenrecherche oder Datenanalyse gewonnenen Ergebnisse können in einem weiteren Schritt in Form eines Reports bzw. eines Standardformulars ausgegeben werden. Bei einer Bohrung wäre dies beispielsweise die Ausgabe eines Schichtenverzeichnisses. Um aber einen umfassenden Überblick über die Vielzahl an Informationen zu gewinnen, die ein geowissenschaftliches Objekt mit ihrer Komplexität und mit ihren gegenseitigen Abhängigkeiten beschreiben, werden die Informationen mit Hilfe von wissenschaftlichen Visualisierungstechniken abgebildet. Dabei können drei Kategorien unterschieden werden:

- **Diagramme** beschreiben die Wertigkeit eines Parameters unabhängig von seiner räumlichen Verteilung. Die Geowissenschaften haben zum Teil spezielle Koordinatensysteme zur Darstellung bestimmter Parameter entwickelt.
- In **Profilen** wird die vertikale Abfolge von Parametern an einem Punkt beschrieben. Das klassische Beispiel hierfür ist das geologische Schichtenprofil.
- **Karten** stellen die Verteilung von Parametern an der Erdoberfläche bzw. auf die Erdoberfläche projiziert dar. Mit Hilfe von Karten läßt sich geowissenschaftliche Information in der komprimiertesten Form beschreiben.

Darstellung geowissenschaftlicher Daten in Diagrammen

Die Geowissenschaften nutzen nicht nur herkömmliche Diagramme wie z.B. Säulen- oder Liniendiagramme, sondern speziell für ihre Bedürfnisse entwickelte Darstellungsformen. Hierzu zählen die häufig verwendeten ternären Diagramme (Dreiecksdiagramme), die Anteile dreier Komponenten im Verhältnis zueinander darstellen. Als Beispiel sei das ternäre Feldspatsystem mit den Parametern Orthoklas, Albit und Anorthit genannt. Nach der chemischen Analyse eines Gesteins, das aus diesen drei Komponenten aufgebaut ist, kann entsprechend der Zusammensetzung ein Punkt in das Diagramm eingetragen werden. Daraus läßt sich das feldspathaltige Gestein einem bestimmten Namen zuordnen. Außerdem können aus der Position im Diagramm Rückschlüsse auf Chemismus und Entstehungstemperatur gezogen werden (Abb. 19).

Weitere Beispiele geologischer Spezialdiagramme sind das „Schmidtsche Netz“, das zur Abbildung von Raumlagen tektonischer Flächen und Linien in einer Lagenkugelprojektion genutzt wird. Das häufig in der Mineralogie/Kristallographie verwendete „Wulffsche Netz“ bildet Flächen in einer winkeltreuen Projektion auf die untere Hälfte einer Lagenkugel ab.

Die obengenannten Darstellungen können automatisiert aus der Datenbank generiert werden.

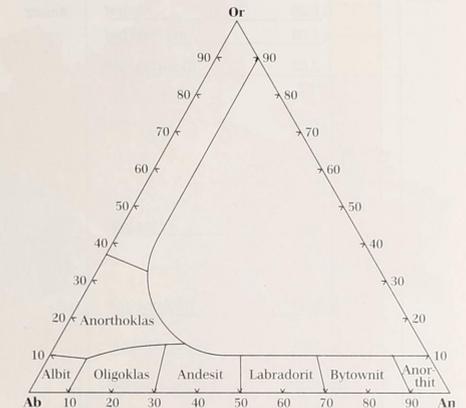


Abb. 19. Ternäres Feldspatsystem.

Darstellung von Profilen

In den Geowissenschaften werden häufig „Profilsäulen“ dargestellt (Abb. 20). Das sind Schichtenfolgen, die durch eine Bohrung in den Untergrund ermittelt, oder Schichtenfolgen in Aufschlüssen, die im Gelände aufgenommen wurden. Alle Details – wie Gesteinsart, Korngröße, Mächtigkeit einer Schicht, Schichtungsgefüge, Strukturen tektonischer- oder sedimentologischer Art, Fossilvorkommen und Besonderheiten – können so in einer Zeichnung übersichtlich dargestellt werden.

Für die Zeichnung der geologischen Schichtprofile gibt es standardisierte Signatursysteme, die keine Darstellung von Besonderheiten ermöglichen. Deshalb wird bei der Profilerstellung eine Datei geschrieben, die mit einem interaktiven Zeichenprogramm bearbeitet werden kann. In diesem Zeichenprogramm können die nicht standardisierten Einträge vom Bearbeiter ergänzt werden.

Geowissenschaftliche Karten

Klassische geowissenschaftliche Karten stellen im allgemeinen die flächige Verteilung von geologischen oder pedologischen Kartiereinheiten dar (Abb. 21). Die Kartiereinheiten werden dabei durch eine Vielzahl von unterschiedlichen Parametern voneinander abgegrenzt: Lithologische, stratigraphische, paläontologische, genetische und weitere, z.B. physiko-chemische Kriterien, werden zu ihrer Definition herangezogen. In der Angewandten Geologie ist jedoch weniger die Zugehörigkeit des

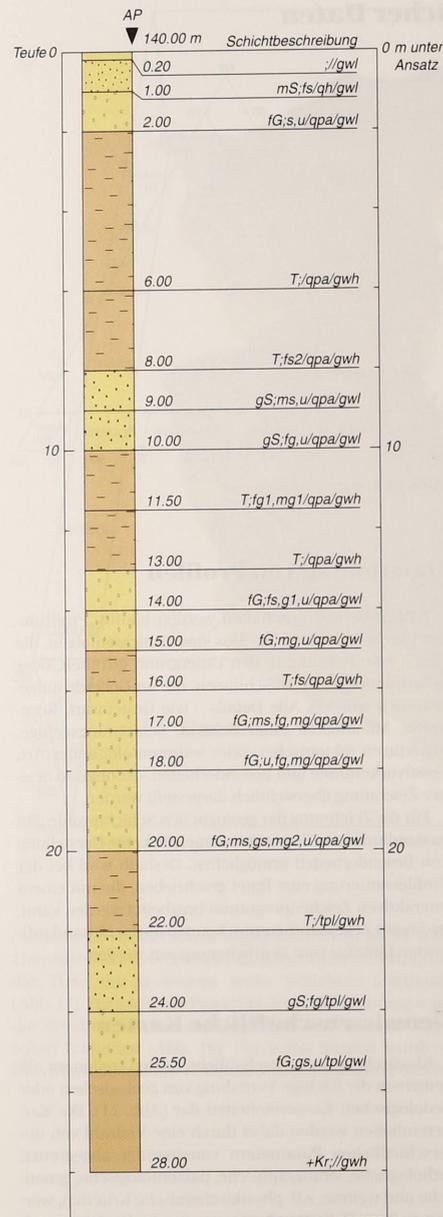


Abb. 20. Beispiel eines Schichtenprofils.

Gesteins oder Bodens zu einer bestimmten Kartiereinheit von Interesse, sondern in erster Linie die physiko-chemischen Eigenschaften des Untergrunds. Dies trifft vor allem in den Bereichen Geotechnik, Rohstoffsicherung, Depo-niestandortsuche, Umweltverträglichkeitsprüfung, Land-schaftsplanung, Bodenschutz und Geotopschutz zu. Ein Geologe oder Bodenkundler kann diese Informationen i.d.R. einer „klassischen“ geologischen oder pedologi-schen Karte entnehmen. Anderen Benutzern erschwert die Komplexität einer solchen geowissenschaftlichen Karte das Verstehen und verhindert damit einen breiter ge-fächerten Einsatz.

Das Hessische Landesamt für Bodenforschung setzt deshalb einen Schwerpunkt in die Entwicklung neuer Metho-den zur Aufbereitung und Präsentation der geowissen-schaftlichen Fachdaten, um auch „Nicht-Geowissen-schaftler“ bei der Lösung der jeweiligen Problemstellung zu unterstützen. Dabei werden jedoch nicht einfach ana-loge Kartenentwürfe in EDV-Anwendungen 1:1 umge-setzt, sondern geowissenschaftliche Landesaufnahme, Datenverwaltung und Kartenpräsentation müssen den neuen Bedürfnissen angepaßt werden. Da die zugrunde-liegenden Daten eine sehr lange Lebensdauer in der Größenordnung von Zehnerjahren behalten (eine geowissenschaftliche Neuaufnahme ist zeit- und kosten-intensiv), müssen sie systematisch strukturiert vorliegen. Das bedeutet für die Kartierer, daß sie die Gesteine und Böden des Landes nach einem einheitlichen Schema erfassen müssen. Der bereits oben beschriebene geowissen-schaftliche Thesaurus bildet dabei die Basis für dieses Reg-elwerk. Für die Speicherung der so gewonnenen Sach-daten wird das bereits oben geschilderte Datenmodell zu-grunde gelegt. Durch den Einsatz von Geo-Informationssystemen (GIS) können dann thematische Karten erstellt werden, die für den jeweiligen individuellen Nutzer maß-geschneidert sind. Der Schwerpunkt im Einsatz von EDV-Technik kann daher nicht die EDV-gestützte kartographi-sche Gestaltung von Einzelkarten sein, sondern muß in der automatisierten Erzeugung von Kartenwerken, der in-teraktiven graphischen Recherche sowie der räumlichen Analyse liegen. Computerkartographie wird dabei nur noch für die Gestaltung spezieller herausgehobener Ein-zelwerke verwendet

Automatisierte Erstellung von Standardkarten

Digitale Kartenwerke werden blattschnittfrei erfasst und verwaltet. Das bedeutet, daß ein beliebiger Ausschnitt – unabhängig vom topographischen Blattschnitt – zur Darstellung ausgewählt werden kann. Daher ist es not-wendig, daß die Darstellung der Karte mit der dazu-gehörigen Legende automatisch generiert wird, da eine in-dividuelle Gestaltung jeder Kartenausgabe technisch zu aufwendig ist.

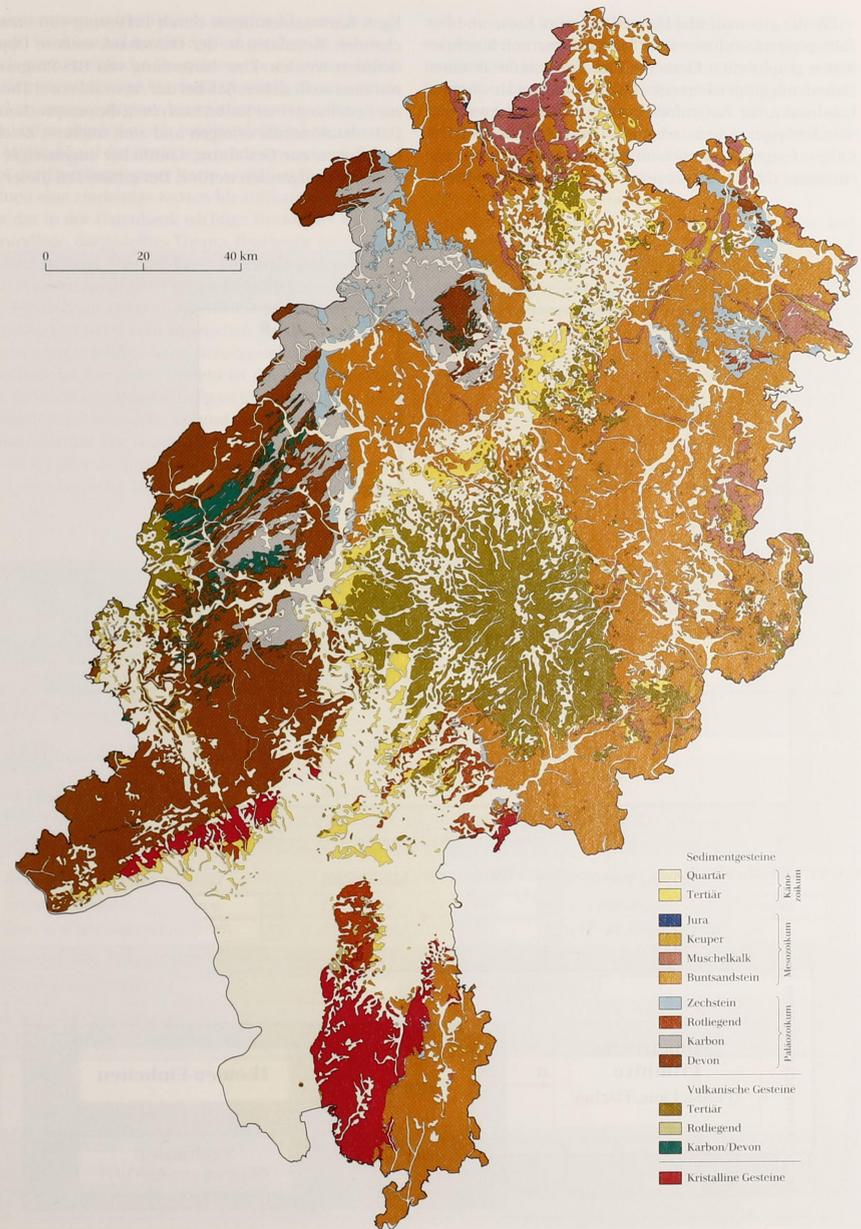
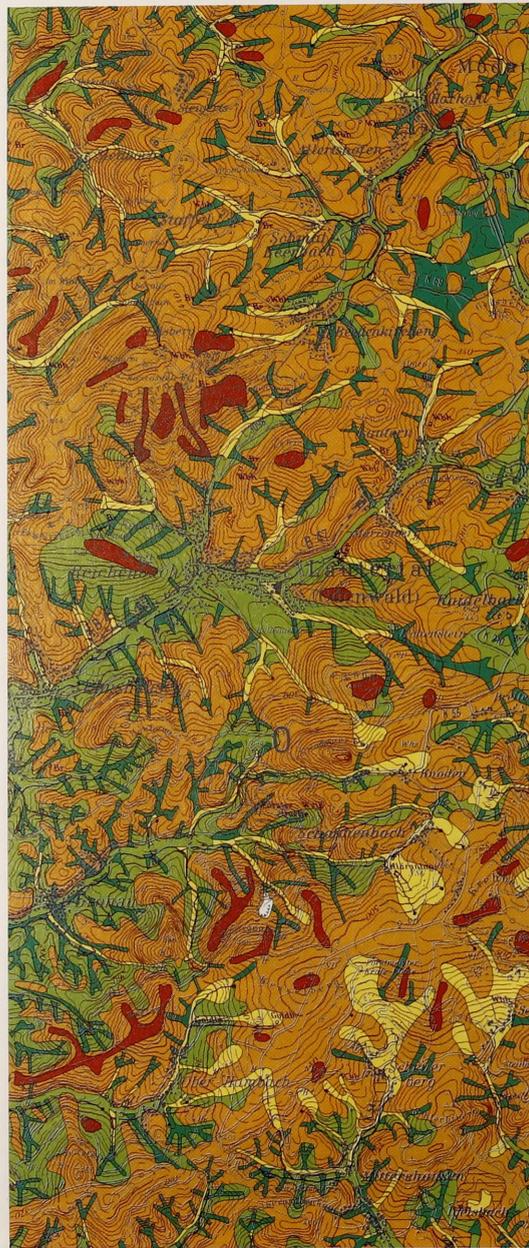


Abb. 21. Geologische Übersichtskarte von Hessen.

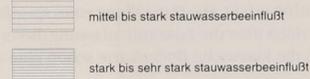


Edaphische Faktoren des Nitratrückhaltevermögens von Böden

Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum



Potentieller Stauwassereinfluß



Neigung zur Bildung von Trockenrissen



Organische Substrate (erhöhtes Mineralisationspotential)



Einstufung des Nitratrückhaltevermögens von Böden

Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum	Potentieller Stauwassereinfluß			Neigung zur Bildung von Trockenrissen
	ohne	schwach/mittel	stark/sehr stark	
sehr gering	1	1-2	2	1
gering	2	2-3	3	1
mittel	3	3-4	4	2
hoch	4	4-5	5	3
sehr hoch	5	5	5	4

Abb. 25. Karte des Nitratrückhaltevermögens des Bodens, abgeleitet aus der Bodenflächendatenbank 1:50 000 (Ausschnitt aus Bl. L 6318 Erbach).

Die Objektseiten, Deckblatt und Themeninformationen sind auf der linken Seite angeordnet, die Legende ist auf der rechten Seite, mehrspaltig umbrochen, dargestellt. Das Beispiel in Abb. 25 zeigt einen Ausschnitt aus den Bodenflächendaten 1 : 50 000 (Odenwald, L 4318 Erbach).

Interaktive Kartenerstellung

Mit der oben beschriebenen automatischen Kartengenerierung können nicht alle geowissenschaftlichen Visualisierungswünsche erfüllt werden. Für einzelne Fragestellungen und Gutachten müssen individuelle Karten interaktiv erstellt werden. Dabei können folgende Anwendungs- und Anwenderbereiche unterschieden werden:

- **Interaktive Erstellung von Karten über Standardsysteme:** Hiermit sind einfache Systeme gemeint, die dem ungeschulten Geowissenschaftler er-

lauben, interaktiv Standardkarten aus GIS-Daten zu erzeugen. Ein Beispiel ist die Darstellung von Bohrpunktarten aus Recherchen auf den bereits oben beschriebenen Punktdaten. Diese Anwendung ist als Intranet-Lösung realisiert, in der in einer einfachen Maske Kartenparameter wie Maßstab, geowissenschaftlicher Hintergrund, Ausgabegerät etc. vom Anwender definiert (Abb. 26) und durch eine ARC/Info-Routine entsprechende Bohrpunktarten erzeugt werden (Abb. 27).

- **Kartenerstellung über GIS-Viewing-Systeme:** Wenn Fragestellungen Recherchen und Verschneidungen auf GIS-Datenbeständen verlangen, die nicht bereits über Standardmethoden verfügbar sind, so können geschulte Geowissenschaftler über sogenannte GIS-Viewer diese Operationen selbst durchführen und entsprechende Kartenausgaben realisieren. Dazu wird entweder das vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung selbstentwickelte System SOPIC eingesetzt,

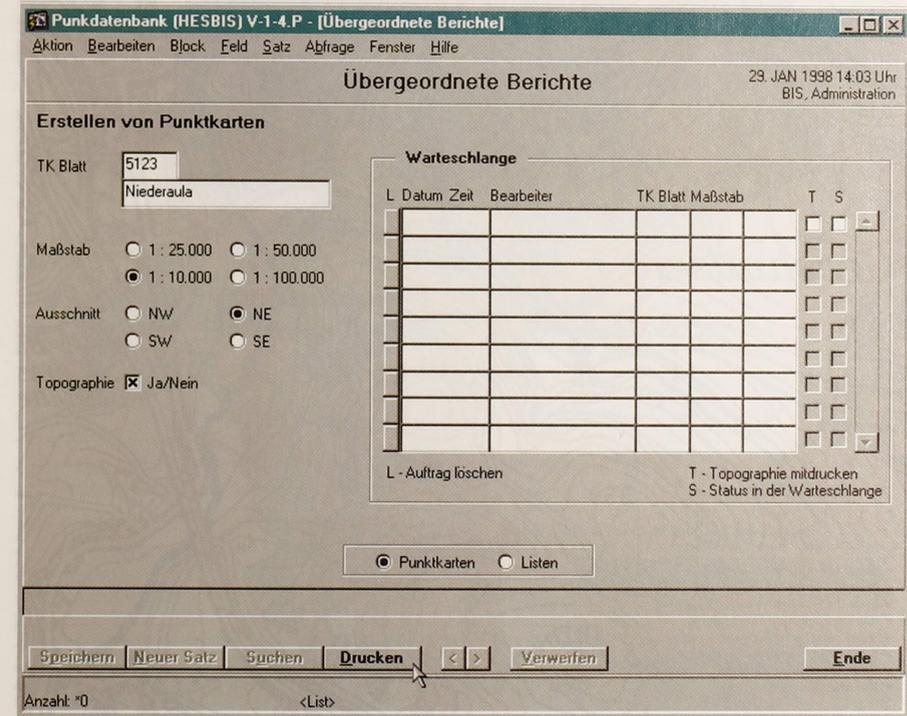


Abb. 26. Bildschirmmaske zur Auswahl von Bohrpunkten.

das auf ARC/Info-Makros basiert, oder es kommen kommerzielle Lösungen wie ARC/View zum Zuge. Letztere haben den Vorteil, daß sie auch über das Intranet genutzt werden können.

- **GIS-gestützte Computerkartographie für veröffentlichte, gedruckte Karten:** Einzelne Karten sollen in ihrer graphischen und drucktechnischen Qualität der analogen Karte entsprechen und auf dem gleichen Wege veröffentlicht und vertrieben werden. Diese Kar-

ten werden durch GIS-geschultes Personal mit Hilfe von ARC/Info auf kartographischem Wege entworfen. Es sind Einzelwerke mit besonderem Inhalt von allgemeinem Interesse, wie z.B. die 1996 veröffentlichte Übersichtskarte 1:300 000 der „Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen und oberflächennahem Untergrund Hessens“ (Abb. 28), die den entsprechend hohen Aufwand an Personal rechtfertigen.

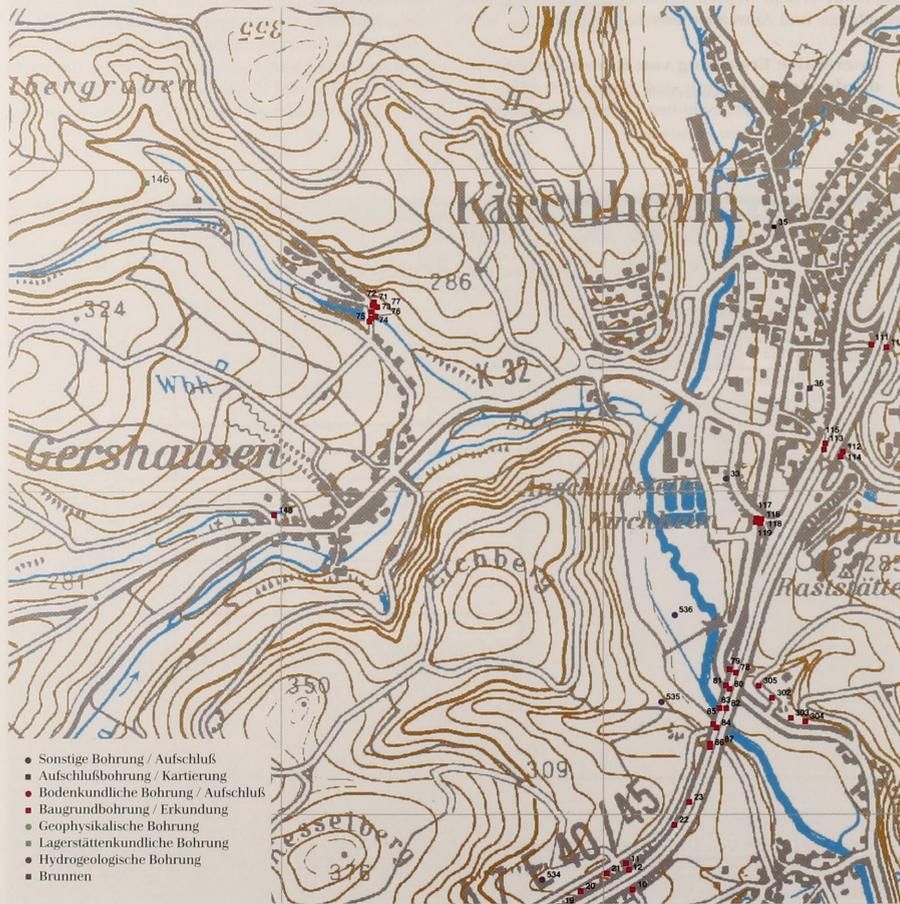


Abb. 27. Beispiel einer Bohrpunktkarte (Ausschnitt aus TK 25, Blatt 5123 Niederaula).

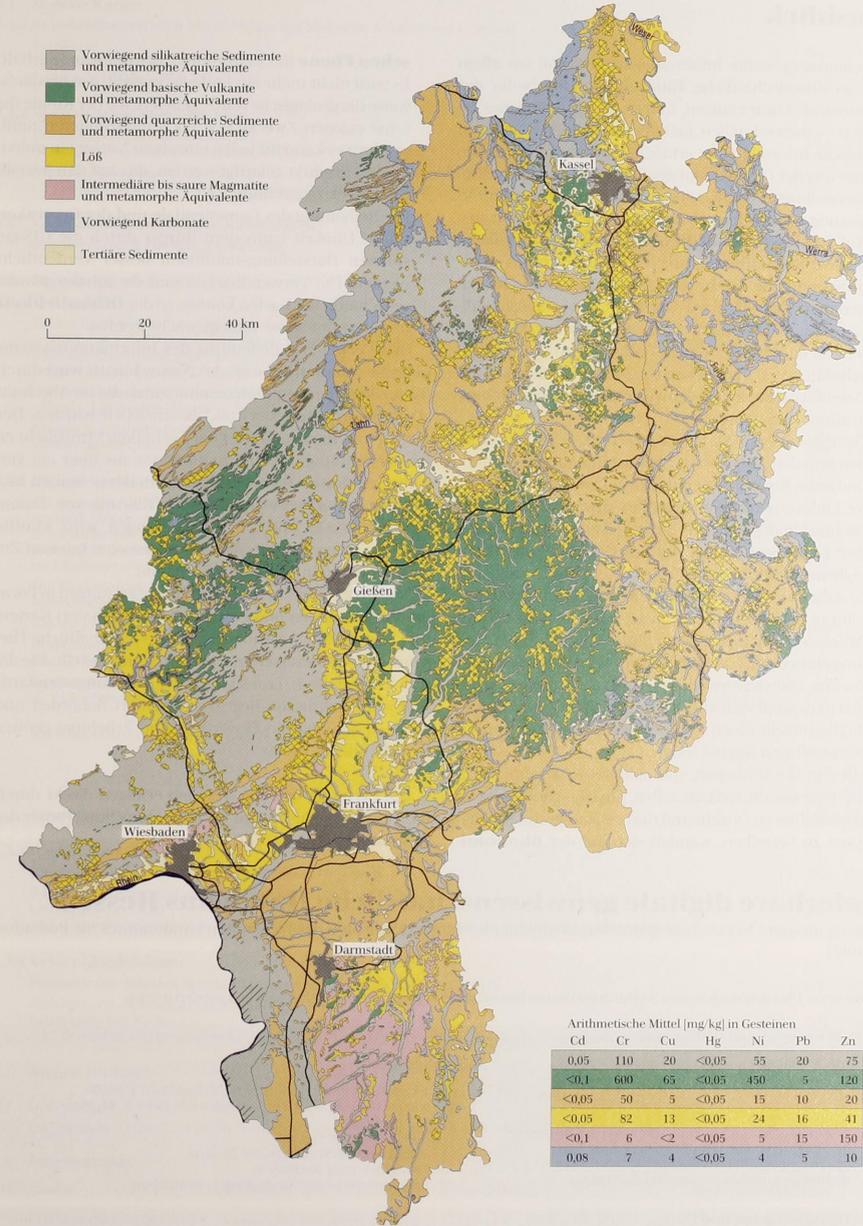


Abb. 28. Karte der Hintergrundgehalte umweltrelevanter Schwermetalle in Gesteinen Hessens.

Ausblick

Das hier vorgestellte Informationssystem soll vor allem die geowissenschaftliche Tätigkeit der Mitarbeiter des Landesamtes unterstützen, indem es – wie eingangs erläutert – einen schnellen, fachübergreifenden Zugriff auf sämtliche Informationen ermöglicht. Dadurch wird eine Steigerung der Qualität und der Schnelligkeit bei der Produkterstellung erreicht. Diese interne Änderung der Organisation wirkt sich rasch auch auf anderen Ebenen aus:

- Auf der **wissenschaftlichen Ebene** bedeutet die intensive Beschäftigung mit „Geo-Daten“ und Anwendungsmethoden, daß das Hessische Landesamt für Bodenforschung Standards setzt, wie geowissenschaftliche Inhalte computergestützt beschrieben, ausgewertet und dargestellt werden. Dadurch wird der wissenschaftliche Datenaustausch vereinfacht und die Datenflüsse zwischen den verschiedenen Forschungsinstitutionen intensiviert.
- Der intensive Einsatz von GIS-Techniken, der einen hohen initialen Aufwand bei der Installation der Technik und beim Erwerb des notwendigen know-hows bedeutet, bildet einen neuen Aufgabenschwerpunkt des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung **innerhalb der Landesverwaltung**. Das GIS-System spielt im täglichen Betrieb dieses Amtes eine zentrale Rolle und ist daher unverzichtbar. Das Landesamt für Bodenforschung investiert einen hohen Anteil an Kapital und Arbeitsleistung aus eigenen Mitteln, was ihm die Stellung eines GIS-Kompetenzzentrums innerhalb der hessischen Umweltverwaltung eintrug. Aus Kostengründen ist es nicht sinnvoll und auch nicht möglich, daß jede Dienststelle einen solchen Aufwand in Form von Arbeitskraft und Kapital leistet.
- Mit den Möglichkeiten, spezielle wissenschaftliche Inhalte verständlich darzustellen, physiko-chemische Eigenschaften zu extrahieren und rechnergestützte Analysen zu betreiben, wandelt sich auf der **ökonomi-**

schon Ebene das Endprodukt, das der Kunde erhält. Es wird nicht mehr ein Einheitsprodukt, wie beispielsweise die geologische Karte, geliefert, die der Kunde für seine eigenen Zwecke erst noch interpretieren muß, sondern es kann für jeden einzelnen Nutzer ein individuelles Produkt gefertigt werden, das auf den jeweiligen Zweck zugeschnitten ist.

- Die Bedeutung der Geopotentiale und der Georisiken seiner Umwelt kann dem Bürger durch die GIS-gestützten Darstellungsmethoden besser verdeutlicht werden. Die Verwendbarkeit und die Inhalte geowissenschaftlicher Karten können so der **Öffentlichkeit** in stärkerem Maße nahegebracht werden.

Diese erweiterte Bedeutung des Informationssystems über die internen Belange des Amtes hinaus wird durch die technischen Grundsätze unterstützt, die im Abschnitt „Datenverarbeitungstechnik“ beschrieben wurden. Der Einsatz von Intra- und Internet-Techniken ermöglicht eine Verwendung des Informationssystems über ein verwaltungsinternes Weitverkehrsnetz in der gesamten hessischen Umweltverwaltung. Nach Klärung von Datenschutzbelangen und Zugriffsregelungen wird künftig auch die Öffentlichkeit über das allgemeine Internet Zugang zu vielen Informationen erhalten.

Neben der Bereitstellung von Dienstleistungen in Form (spezieller) Karten und Berichte sowie (digitaler) Karten- und Punktdaten, wird auch der geowissenschaftliche Thesaurus allen Interessierten zur Verfügung gestellt. Die dadurch geschaffene Transparenz der Erfassungsstandards und standardisierten Begriffe erleichtert Behörden und privaten Kunden die Bewertung und Erhebung geowissenschaftlicher Daten.

Die Beratung und der Vertrieb erfolgen direkt durch das Hessische Landesamt für Bodenforschung (unter der Rufnummer 0611-537317).

Lieferbare digitale geowissenschaftliche Daten aus Hessen

(Auszug aus dem Verzeichnis geowissenschaftlicher Karten und Schriften des Hessischen Landesamtes für Bodenforschung)

Für die in der Übersicht dargestellten Bodenkarten können thematische Karten nutzerspezifisch erstellt und geliefert werden

Digitale Kartendaten (Vektor- und Sachdaten)

Maßstab 1:500 000

- Bodenübersichtskarte von Hessen (BÜK 500)
- Ableitungskarten auf Grundlage der BÜK 500
 - a) Physikochemisches Filtervermögen des Bodens
 - b) Nitratrückhaltevermögen des Bodens
 - c) Ertragspotential des Bodens
 - d) Biotopentwicklungspotential des Bodens

Maßstab 1:50 000

- Themenkarten der bodenkundlichen Flächendaten 1:50000 Geometrien blattweise lieferbar; Verfügbarkeit siehe S. 34, 35 z. Z. verfügbar:
 - a) Bodenkarte von Hessen
 - b) Nitratrückhaltevermögen des Bodens
 - c) Ertragspotential des Bodens
 - d) Standorttypisierung für die Biotopentwicklung

1. Digitale Karten und Daten

Digitale Karten und Daten werden projektbezogen abgegeben. Die Nutzung der Daten wird durch eine Nutzungsvereinbarung geregelt.

1.1 Digitale Karten

1.1.1 Standardkarten nach Blattsnitten der Maßstäbe 1:50000 und 1:500000

Farbkarte	DM	40,-
Farbkarte, wasserfest	DM	60,-
Farbkarte 1:1 Mio. (DIN A4)	DM	10,-

1.1.2 Spezialkarten, Speziallayouts

Grundpreis Farbkarte bis DIN A0	DM	60,-
Grundpreis Farbkarte, wasserfest bis DIN A0	DM	80,-

Die Kosten für Spezialkarten, Speziallayouts errechnen sich aus dem Grundpreis zzgl. Zeitaufwandpauschale je Stunde gemäß den Sätzen der Hessischen Verwaltungskostenordnung.

1.2 Sachdatendokumentation Kartendaten

Legendenauszug Flächen-, Liniendaten	je angefangene 100 Seiten	DM	25,-
--------------------------------------	---------------------------	----	------

1.3 Digitale Kartendaten

1.3.1 Vektordaten

Vektordaten werden als Voll- oder Teilblatt (Ausschnitt) im Blattschnitt der amtlichen Kartenreihen der Maßstäbe 1:50000 bis 1:200000 geliefert. Blattschnittfreie Kartenwerke (z.Z. BK 50) und der Maßstab 1:500000 können für beliebige Ausschnitte geliefert werden. Das gewünschte Raumsegment wird über vier Rechts- und Hochwerte (Gauß-Krüger) als Quader definiert oder mit Blattnummer und -name (z.B. L 5520 Schotten) gekennzeichnet.

Die Berechnung der Kosten erfolgt nach gelieferten attribuierten Objekten (je nach Kartenwerk und Datenart – Punkt, Linie oder Fläche–). Angebote auf Anfrage.

Kosten je attribuiertem Objekt	DM	0,30
Mindestkostenpauschale	DM	400,-

1.3.2 Digitale Sachdaten zu Kartenwerken

Die digitalen Sachdaten werden nur in Verbindung mit Geometriedaten der Kartenwerke abgegeben. Je nach Kartenwerk stehen verschiedene Merkmale zur Auswahl, die auf Anfrage zur Verfügung gestellt werden. Bei den bodenkundlichen Flächendaten 1:50000 sind dies z.B. Bodenprofilindizes wie Bodensubtyp, Grundnässe, Staunässe, Erosionsgrad, Bodenart oder abgeleitete Daten, z.B. Feldkapazität des Hauptwurzelraumes und Nitratrückhaltevermögen des Bodens.

Die Merkmaldefinitionen (Thesaurus bzw. Schlüssel) sowie die Methodenbeschreibungen zu Ableitungsthemen werden kostenfrei abgegeben.

Kosten je Merkmal/Thema	DM	150,-
-------------------------	----	-------

Berechnungsbeispiel:

Abgabe von Kartendaten der bodenkundlichen Flächendaten 1:50000

Geometriedaten			
Bl. L 5520 Schotten	1592 Flächenobjekte	zu je DM 0,30	DM 478,-

Sachdaten zu den Grundeinheiten des Kartenausschnittes			
Bodeneinheit/Bodenform		DM	150,-
Bodenart der Bodenhorizonte		DM	150,-
Grobbodengehalt der Bodenhorizonte		DM	150,-
Nutzbare Feldkapazität des Hauptwurzelraumes		DM	150,-
Gesamtkosten		DM	1.078,-

1.3.3 Rasterdaten

Rasterscan der digitalen Standardkartenwerke je Blatt	DM	250,-
---	----	-------

Rasterscan für Spezialkarten und -layouts	DM	250,-
Grundpreis pro Scan		
zzgl. Zeitaufwandpauschale je Stunde gemäß den Sätzen der Hessischen Verwaltungskostenordnung		

1.3.4 Vektor-Graphikdaten

Plotdaten der digitalen Standardkartenwerke als PostScript-Datei je Blatt	DM	250,-
---	----	-------

Plotdaten von Spezialkarten und -layouts als PostScript-Datei	DM	250,-
Grundpreis pro Karte		
zzgl. Zeitaufwandpauschale je Stunde gemäß den Sätzen der Hessischen Verwaltungskostenordnung.		

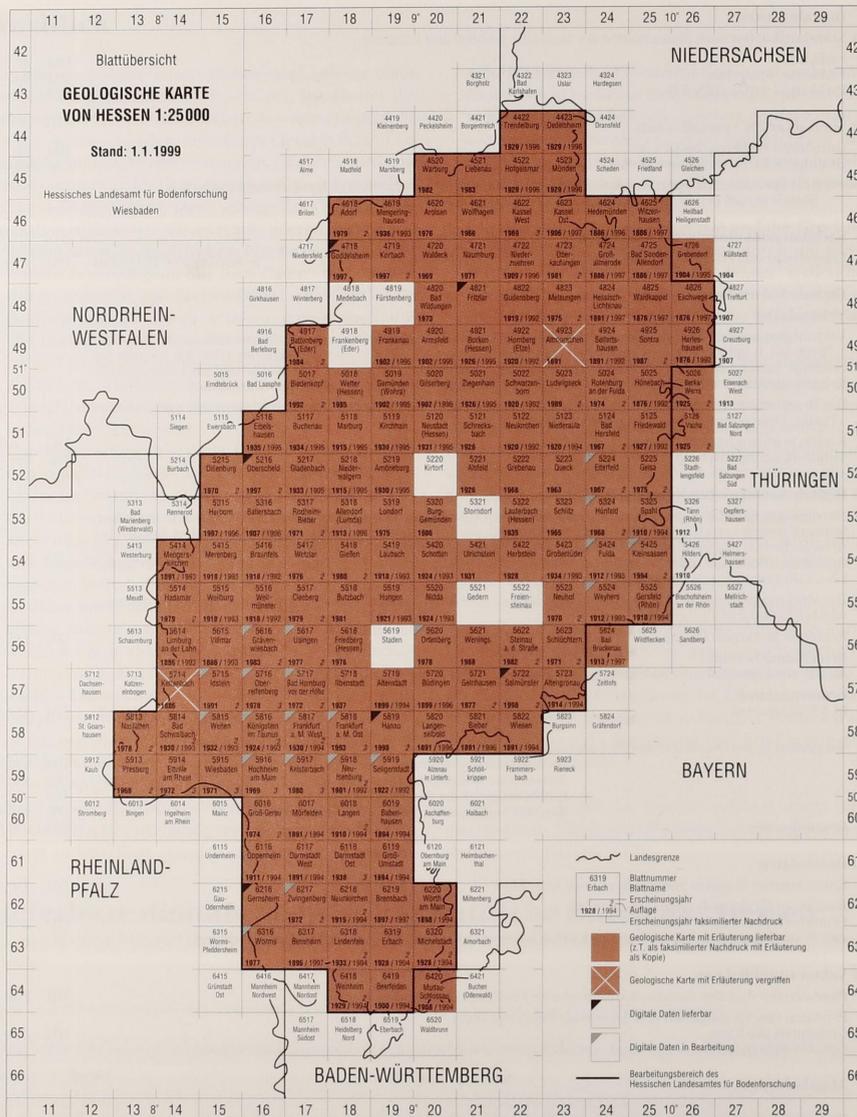
2. Abgabeformate

2.1 Datenträger

DAT-Streamer-Tape (UNIX-TAR-Format), CD-ROM, 3,5 Zoll Disketten 1,4 MB (DOS-Format)

2.2 Datenformate

Vektordaten	Sachdaten	Rasterdaten	Vektor-Graphikdaten
ArclInfo E00 und Generate DXF	Oracle, Arc-Info-Tables, dBase Access, Excel, ASCII	TIFF, PCX, PICT, GIF, JPEG in der Auflösung 300 bis 800 DPI	Plotdaten als PostScript-Datei



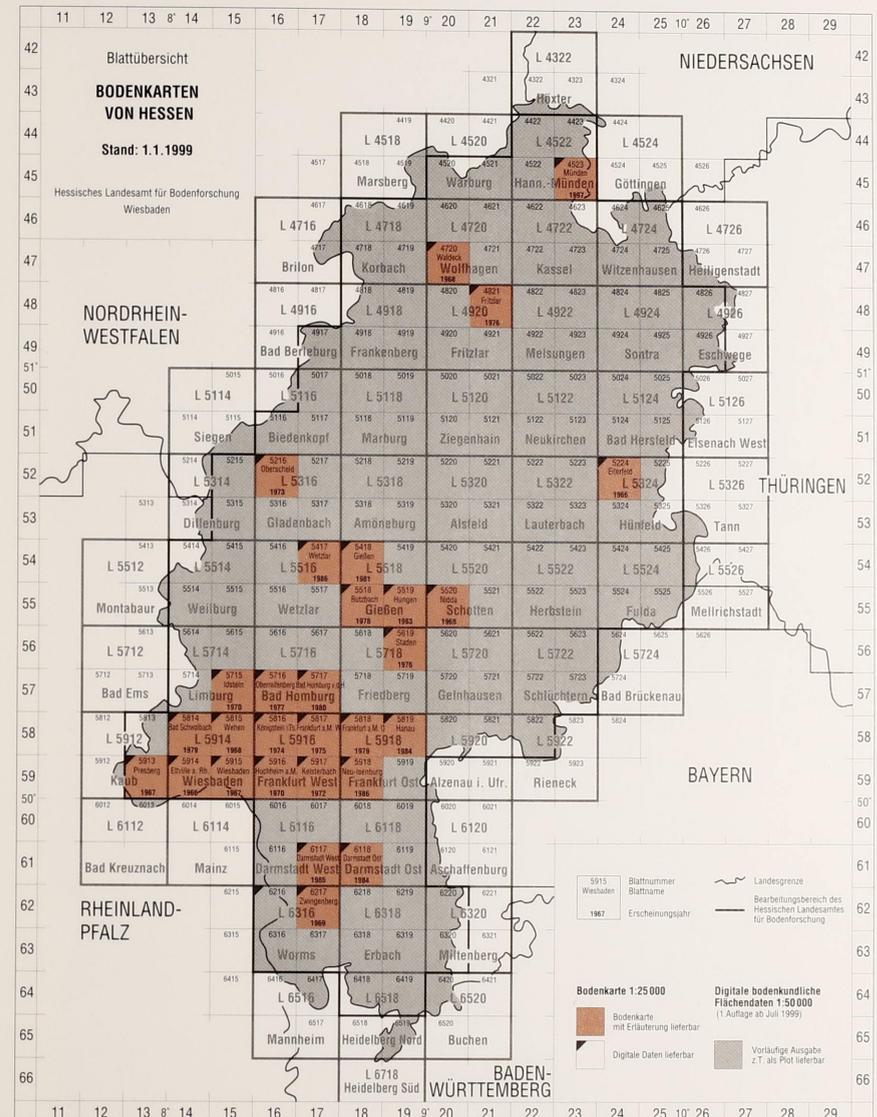
Faksimilierter Nachdruck mit Erläuterung
 Geologische Karte mit Erläuterung bis einschl. Ausgabejahr 1986
 Geologische Karte mit Erläuterung ab Ausgabejahr 1987

DM 40,-
 DM 45,-
 DM 60,-

Ausführliches Verzeichnis verkäuflicher Veröffentlichungen
 (Geologische und bodenkundliche Karten, Geologisches Jahrbuch Hessen,
 Geologische Abhandlungen Hessen, Geologie in Hessen)

auf Anforderung kostenlos durch:

Hessisches Landesamt für Bodenforschung
 Leberberg 9, 65193 Wiesbaden, Tel.: (0611) 537-0
 Fax: (0611) 537-327
 Vertriebsstelle: (0611) 701 034



Preis pro Karte der BK 25 mit Erläuterung

DM 40,-

Ausführliches Verzeichnis verkäuflicher Veröffentlichungen
 (Geologische und bodenkundliche Karten, Geologisches Jahrbuch Hessen,
 Geologische Abhandlungen Hessen)

auf Anforderung kostenlos durch:

Hessisches Landesamt für Bodenforschung
 Leberberg 9, 65193 Wiesbaden, Tel.: (0611) 537-0
 Fax: (0611) 537-327
 Vertriebsstelle: (0611) 701 034

