

SPRING

Simulation of Processes
in Groundwater

Die Software für die professionelle
Gewässersystem-Modellierung.

- **Grundwasserströmungsmodelle**
- **Stofftransportmodelle**
- **Wärmetransportmodelle**

SPRING – ein Produkt der delta h Ingenieurgesellschaft mbH

Gewässersysteme flexibel und realitätsnah modellieren – mit SPRING.



SPRING ist ein Produkt der delta h Ingenieurgesellschaft mbH.

Vom Tiefbau über die Wasserversorgung und die Altlasten- bzw. Grundwasseranierung bis hin zur Geothermie: Das innovative Softwaresystem SPRING bietet Ihnen optimale Unterstützung bei Ihren Planungs- und Beratungsprojekten. Ganz gleich, ob Sie Grundwasserströmungs-, Wärme- oder Stofftransportprozesse mit oder ohne Berücksichtigung der Interaktion mit Oberflächengewässern abbilden möchten: Mit SPRING erarbeiten Sie komplexe dreidimensionale Modelle mit allen wichtigen Informationen für Ihre Planung auf Basis der Finite Elementmethode – flexibel, präzise und realitätsnah.

Immer auf dem aktuellen Stand der Wissenschaft.

Mit SPRING sind Sie jederzeit auf dem neuesten Stand der Gewässersystem-Modellierung. Ursprünglich an der Ruhr-Universität Bochum von Hydrogeologen, Mathematikern und Bauingenieuren entwickelt, wird die Software im Zuge des kontinuierlichen Praxiseinsatzes und der engen Kooperation mit internationalen Hochschulen und Forschungseinrichtungen stetig optimiert. So können Sie jederzeit auf neueste Berechnungsmethoden, Modellhandlings und Darstellungsoptionen zurückgreifen.

Die SPRING Software-Pakete: Auf Ihre Anforderungen abgestimmt.

Je nachdem, ob Sie eher eine „Basic-Variante“ für kleinräumige Fragestellungen suchen oder die Premium-Version für anspruchsvolle Gewässersystem-Modellierungen benötigen: SPRING ist in verschiedenen Programm-Ausführungen erhältlich und lässt sich auch nach dem Kauf um den gewünschten Funktionsumfang erweitern. Das garantiert Ihnen ein Höchstmaß an Flexibilität.

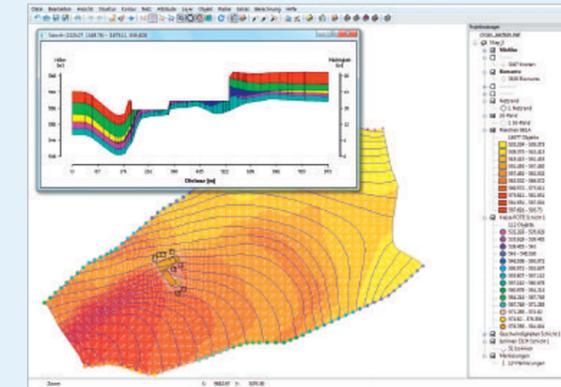
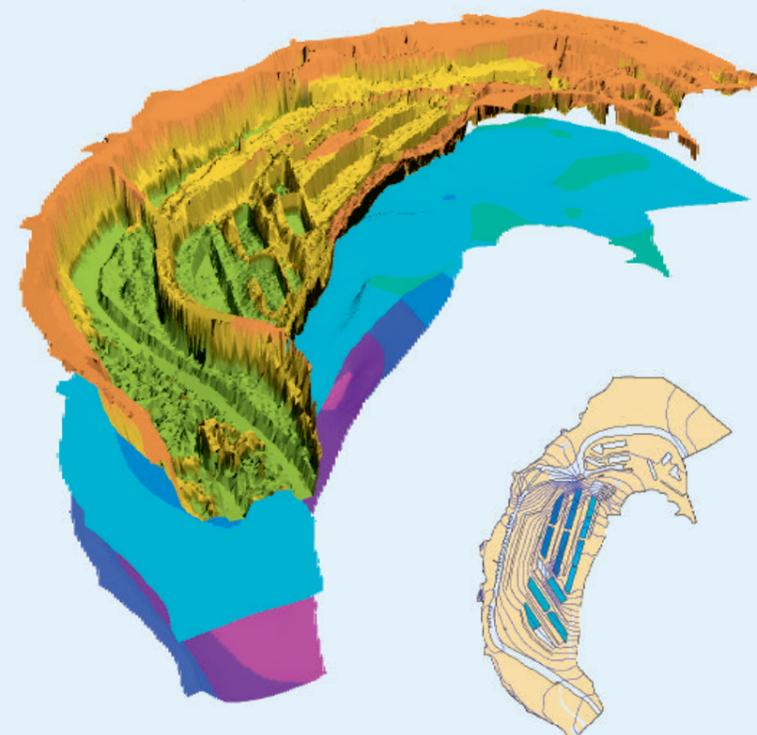
Der Vertrieb von SPRING erfolgt exklusiv über die **delta h Ingenieurgesellschaft mbH**. Das erfahrene Expertenteam übernimmt auf Wunsch auch die Einweisung bzw. die Schulung zur SPRING Software.

Einfache Bedienung und praktische Darstellungsoptionen.

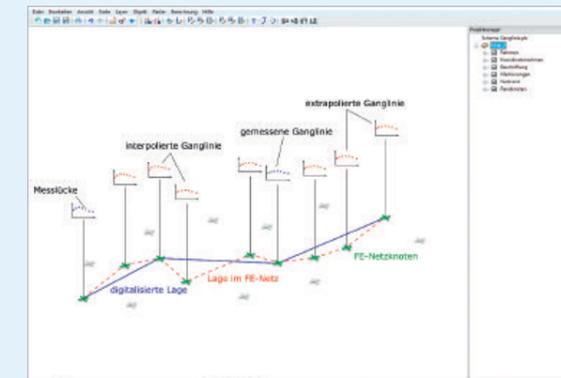
Eine benutzerfreundliche Oberfläche für Dateneingabe, Modellvisualisierung und Projektauswertung garantiert Ihnen die intuitive Steuerung aller Arbeitsschritte. Mit wenigen Mausklicks lässt sich die Software auf Ihre persönlichen Anforderungen einrichten. Zahlreiche Darstellungsoptionen erleichtern Ihnen die Arbeit nachhaltig – zum Beispiel lassen sich übereinander liegende Layer durch Transparenzeffekte anschaulich darstellen.

Und: Schon während der Berechnung können 3D-Ansichten eines Modells sowie instationäre Ergebnisse dargestellt werden.

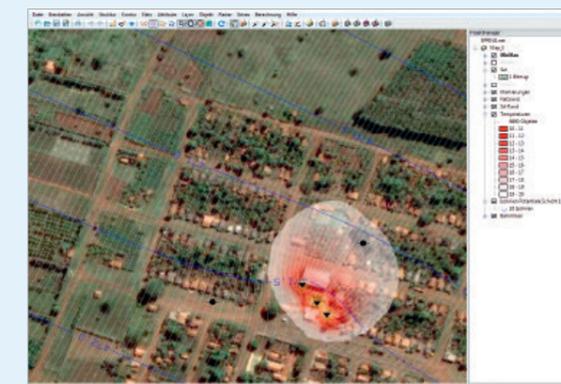
3D-Darstellungen: Die Software ermöglicht unterschiedliche 3D-Ansichten eines Modells während der Bearbeitung.



Vertikalschnitt: Mit SPRING lassen sich während der Bearbeitung Vertikalschnitte durch das Modell darstellen.



Instationäre Ergebnisse: Diese können schon bei der Berechnung aufgezeigt werden.

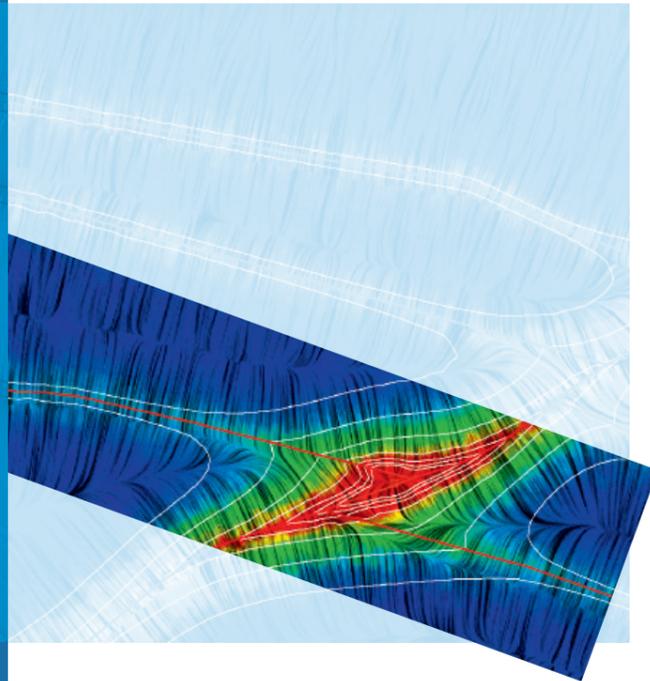


Transparenzeffekte: Durch die oben liegende graphische Ebene lässt sich ein Blick auf tiefer liegende Darstellungen werfen. Das ermöglicht einen schnellen Vergleich etwa zweier Zustände.

Lernen Sie die wichtigsten Leistungsmerkmale von SPRING kennen:

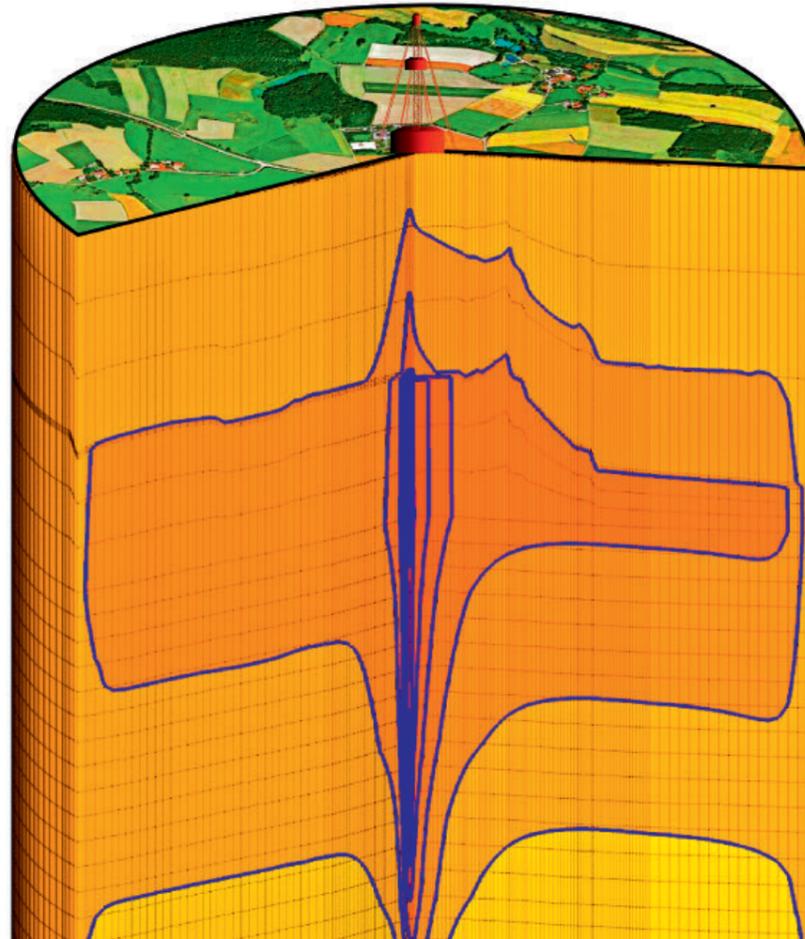
- Tiefengeothermie 4
- Oberflächennahe Geothermie 5
- Erstellung von Elementnetzen 6 – 7
- Ermittlung von Einzugsgebieten 8 – 9
- Berechnung von Grundwasserneubildungsraten 10
- Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern 11
- Möglichkeiten der Attributzuweisung 12
- Numerik/Hardware 13
- Weitere spezielle Anwendungsmöglichkeiten 14 – 15

Tiefengeothermie



Tiefengeothermie im süddeutschen Molassebecken (Tiefen bis 5000 m unter Geländeoberfläche): Darstellung der Temperaturen in einem Störungsbereich als Ergebnis der numerischen Berechnung.

Schnitt durch ein Tiefengeothermie-Modell: Darstellung des Elementnetzes und der berechneten Temperaturen.



Wärmetransportsimulationen (tiefe geologische Schichten)

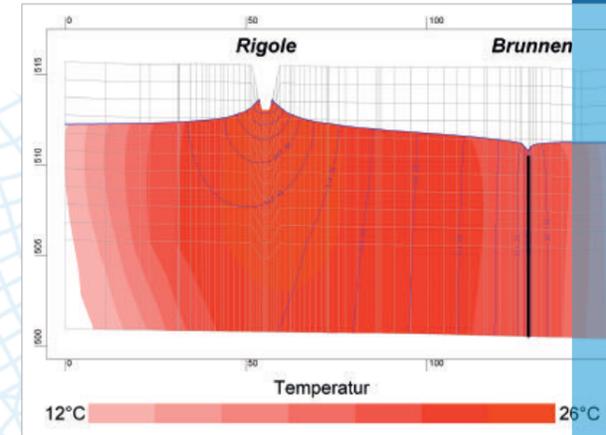
Aufgrund von Inhomogenitäten im Untergrund oder zyklischen Anlagen-Belastungen lässt sich die genaue Dimensionierung bei der Planung größerer Geothermie-Anlagen meist nur schwer vorhersagen.

SPRING bietet zahlreiche nützliche Features, die verlässliche numerische Berechnungen und Prognosen über das physikalische Gesamtsystem der Anlage erlauben. Neben dem geothermischen Potential können auch die Auswirkungen der späteren Nutzung auf die Grundwassersituation analysiert werden. Darüber hinaus ist die Betreuung von Monitoring-Programmen sowie die Bewertung konkurrierender Nutzungsinteressen möglich.

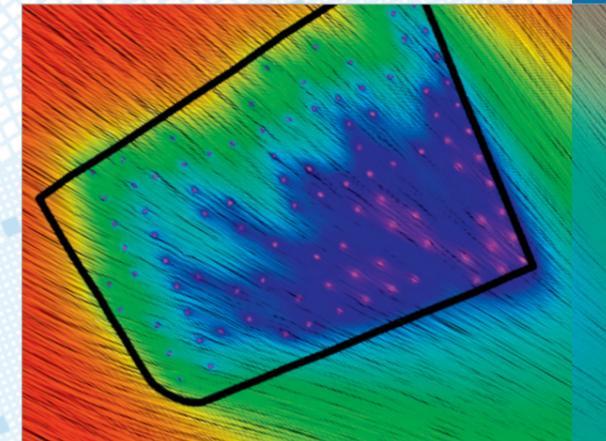
Oberflächennahe Geothermie

Erdwärme

Ob bei Brunnen, Kollektoren oder Sonden: **SPRING** bietet spezielle Tools zur Standort-Bewertung hinsichtlich grundsätzlicher Eignung, konkurrierender Nutzungsinteressen sowie im Bereich des Monitoring von Geothermie-Anlagen. Mit **SPRING** können moderne Erdwärmesysteme zur Heizung oder Kühlung geplant, dimensioniert und optimiert werden. Für Einfamilienhäuser oder industrielle Großanlagen.



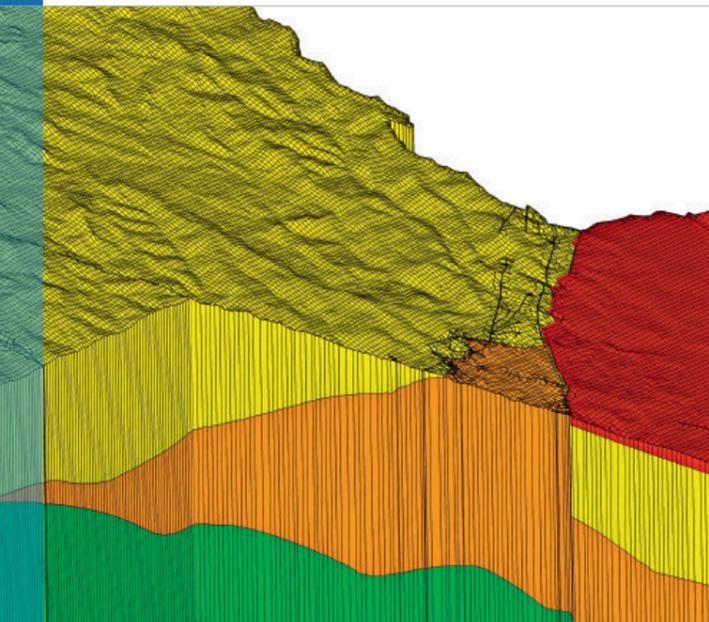
Darstellung der Simulationsergebnisse eines Injektions- und Entnahmezeitraumes im Zuge eines Pumpversuches.



Darstellung der Ausbreitung des Abkühlungsbereiches eines Erdsondenfeldes.

Im Elementnetz dargestellt: Erdsondenraster zur Kühlung und/oder Erwärmung von Gebäuden im Rahmen oberflächennaher Geothermie.

Erstellung von Elementnetzen



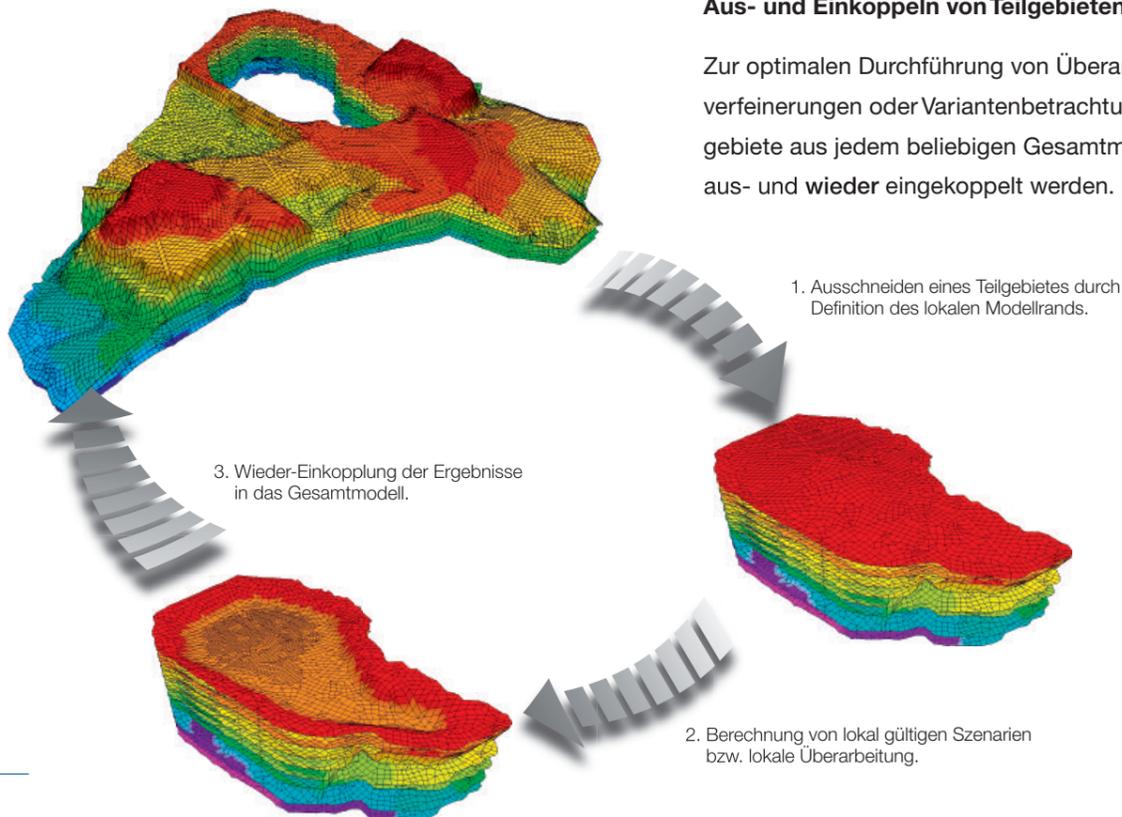
Ausstreichen geologischer Schichten

Das Ausstreichen geologischer Einheiten wird durch das automatische Zusammenfallen von Elementschichten in Vertikal- und 3D-Modellen berücksichtigt. Damit lassen sich zum Beispiel Gelände-Einschnitte und geologische Schichten präzise abbilden. Dabei sorgt die signifikante Reduzierung der Knoten- und Elementanzahl (z. B. bei lokalen vertikalen Netz-Verfeinerungen) für optimierte CPU-Zeiten – und das Zusammenfallen der Elementschichten sichert eine maximale numerische Stabilität bei der Modellrechnung.

- Geologische Einheit
- Mittlerer Buntsandstein/Kreuznacher Schichten
 - Rotliegendes/Karbon (Stefan)
 - Karbon (Westfal)
 - Devon

Aus- und Einkoppeln von Teilgebieten

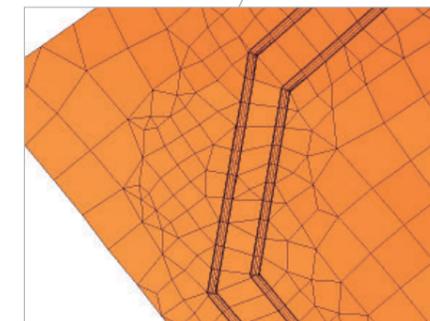
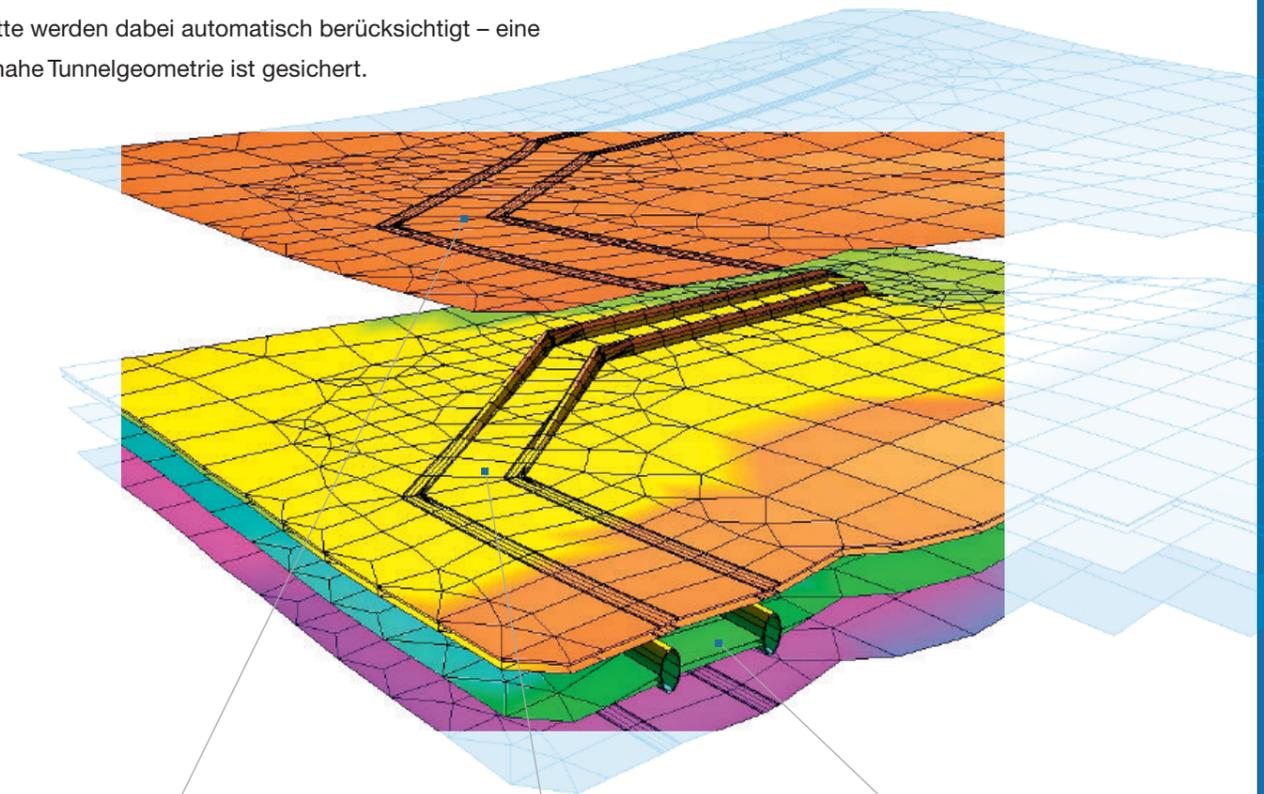
Zur optimalen Durchführung von Überarbeitungen, Netzverfeinerungen oder Variantenbetrachtungen können Teilgebiete aus jedem beliebigen Gesamtmodell ganz einfach aus- und wieder eingekoppelt werden.



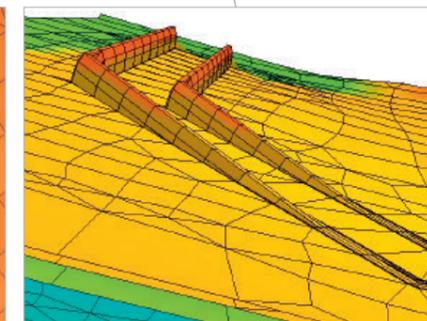
Erstellung von Elementnetzen

Integration von Tunnelbauwerken

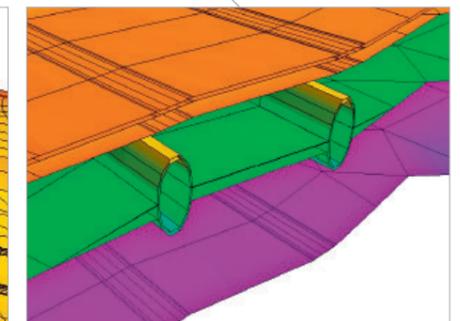
Diese praktische Assistenz-Funktion erlaubt die einfache und schnelle Integration von Tunnelbauwerken in dreidimensionale Modelle. Eventuelle Schichtwechsel oder Gelände-einschnitte werden dabei automatisch berücksichtigt – eine realitätsnahe Tunnelgeometrie ist gesichert.



Einfache Integration in das Modellnetz.

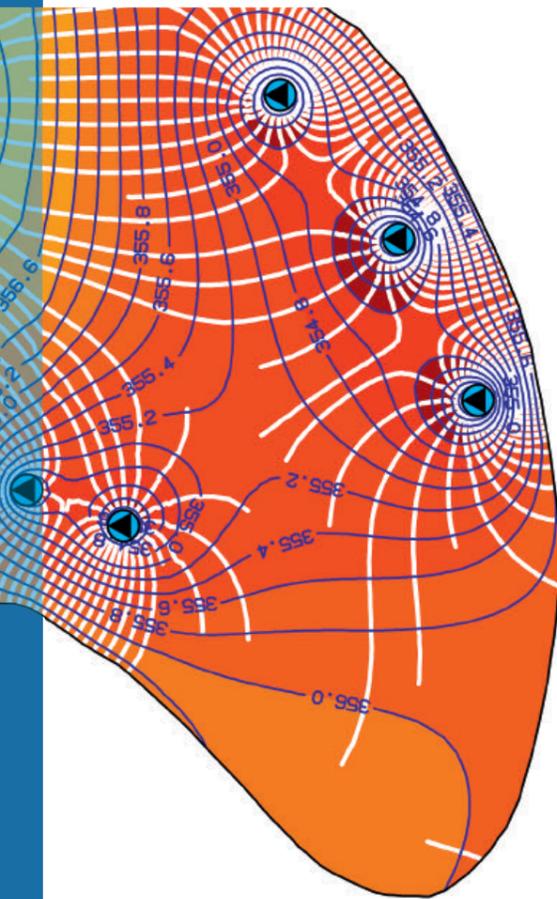


Abtauchen von Tunnelröhren in tiefere Schichten.



Realitätsnahe Abbildung der Tunnelgeometrie.

Ermittlung von Einzugsgebieten



Berechnung von Stromlinien

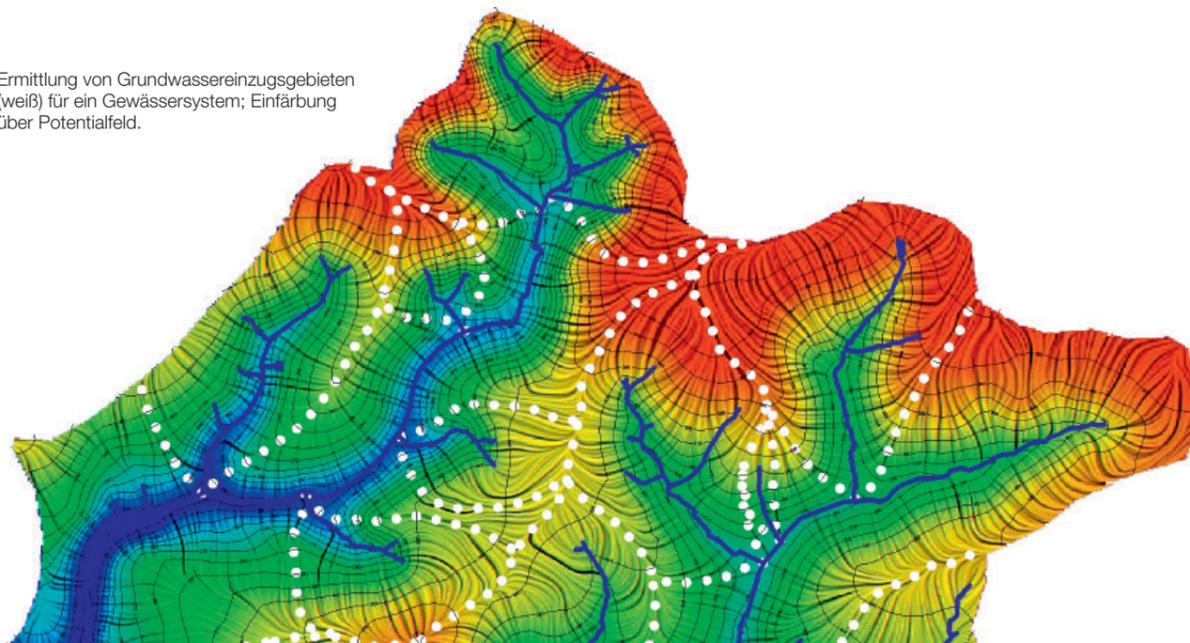
Durch die automatische Berechnung von Stromlinien können mit **SPRING** stationäre und instationäre Strömungsfelder bzw. Volumenströme visualisiert werden. Die Darstellung der Massenflüsse lässt sich benutzerdefiniert skalieren. Optional können Fließzeiten neben den Stromlinien dargestellt werden.

Darstellung von Schlieren

Mit Hilfe von Schlierendarstellungen können Einzugsgebiete von Gewässern oder Brunnen in allen Modellen schnell und zuverlässig ermittelt werden. Die Fließwege werden über die Strömungsgeschwindigkeiten im berechneten Potentialfeld bestimmt und mittels Schliereffekten anschaulich und ansprechend dargestellt. Durch zusätzliche Einfärbung der Schlieren können eine weitere Datenart oder ein Berechnungsergebnis dargestellt werden (z. B. Potentiale, Geländehöhen oder Temperaturen).

Massenflüsse am Beispiel Wassergewinnung über Uferfiltrat.

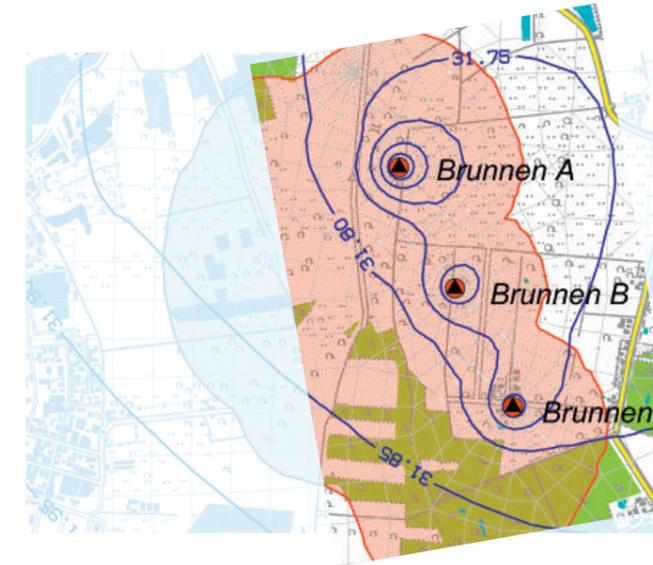
Ermittlung von Grundwassereinzugsgebieten (weiß) für ein Gewässersystem; Einfärbung über Potentialfeld.



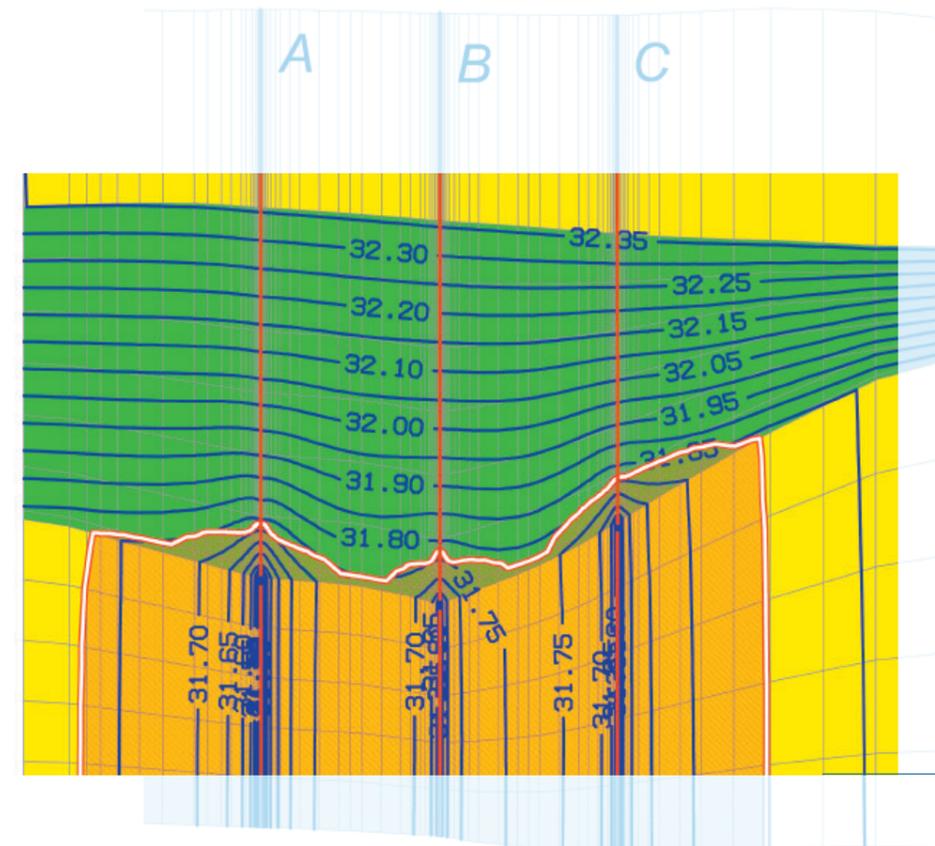
Ermittlung von Einzugsgebieten

Transportberechnung bei invertierter Strömung

Die Transportberechnung mit invertierter Strömung ermöglicht eine genaue Ermittlung von Grundwassereinzugsgebieten unter Berücksichtigung von Advektions- und Dispersions-/Diffusionsprozessen. Diese Technik ermöglicht die Berechnung der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines Wasserpartikels in einen Brunnen oder ein Gewässer. Über den Dispersionsterm können lokale Heterogenitäten abgebildet werden, die über die herkömmlichen Methoden der Geschwindigkeitsverfolgung nicht bzw. nur beschränkt ermittelt werden können.



Horizontalschnitt
50-Tage-Fläche



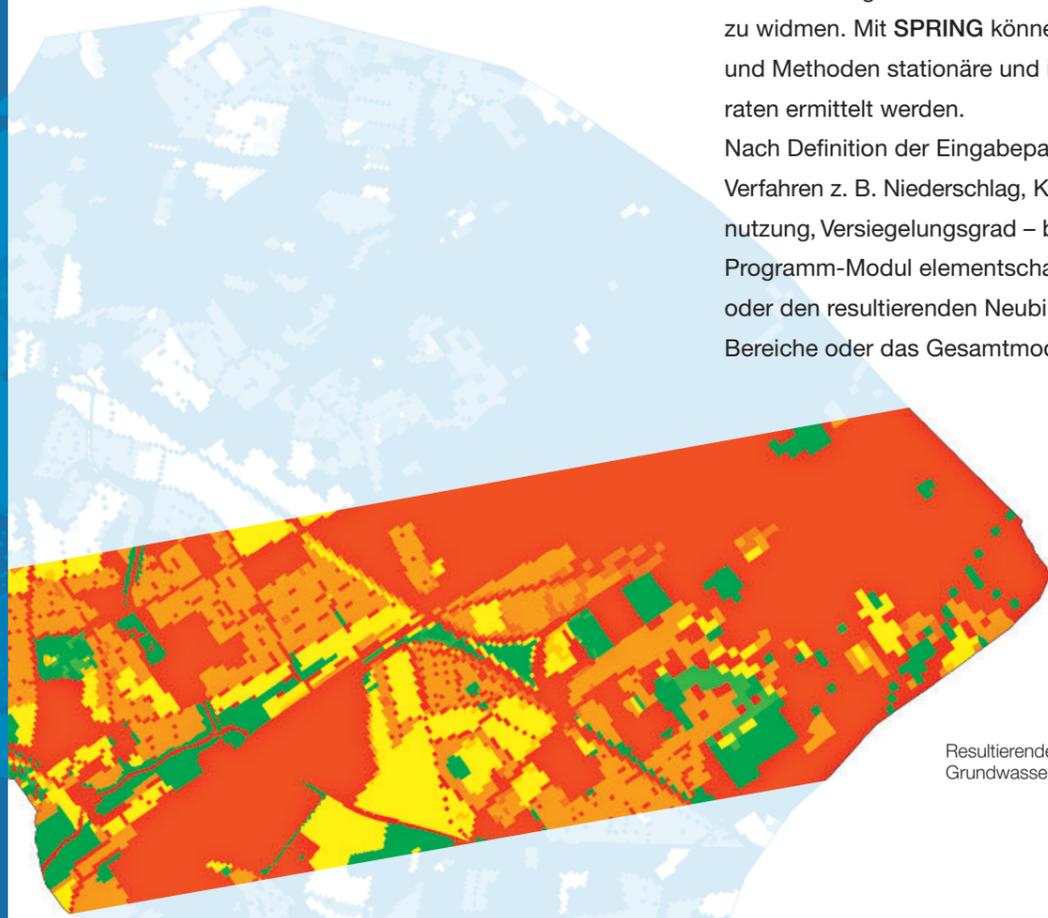
Vertikalschnitt (überhöht)
50-Tage-Fläche
Grundwasserleiter
Grundwasserstauer

Berechnung von Grundwasserneubildungsraten

Grundwasserneubildungsraten

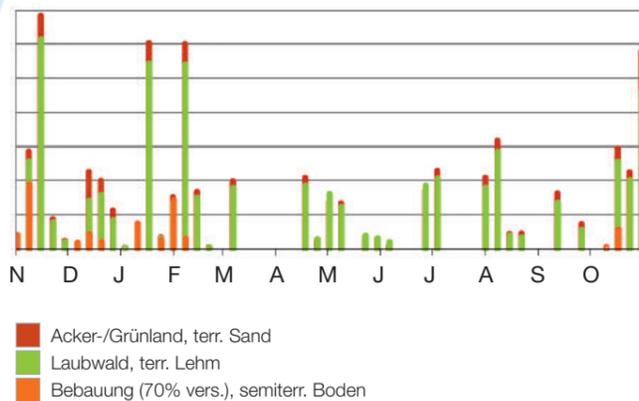
Die Grundwasserneubildungsrate stellt meist einen signifikanten Parameter bei der Modellkalibrierung dar. Daher ist der Ermittlung dieser Größe besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Mit **SPRING** können über verschiedene Ansätze und Methoden stationäre und instationäre Neubildungsraten ermittelt werden.

Nach Definition der Eingabeparameter – je nach gewähltem Verfahren z. B. Niederschlag, Klimazone, Bodentyp, Flächennutzung, Versiegelungsgrad – berechnet das entsprechende Programm-Modul elementscharf die räumliche Verteilung oder den resultierenden Neubildungsgang für ausgesuchte Bereiche oder das Gesamtmodell.



Resultierende Verteilung mittlerer Grundwasserneubildungsraten.

Resultierender Neubildungsgang für exemplarische Bereiche.



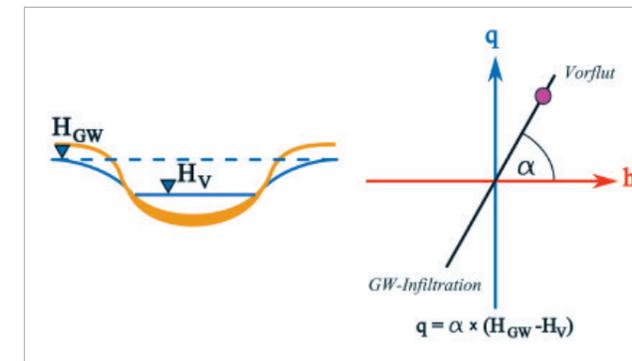
- Acker-/Grünland, terr. Sand
- Laubwald, terr. Lehm
- Bebauung (70% vers.), semiterr. Boden

Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

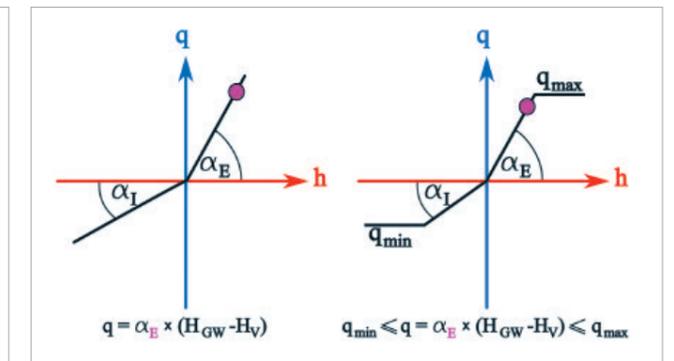
Einfache Gewässerinteraktion über Leakage-Ansatz

Die Abbildung der Interaktion zwischen Gewässer und Grundwasser erfolgt in **SPRING** über die Definition von Wasserspiegellagen und Leakage-Koeffizienten. Optional kann die Anbindung durch weitere Parameter, wie z. B.

dem Verhältnis zwischen In- und Exfiltrationsvermögen, der Limitierung minimaler und maximaler Austauschmengen sowie dem Strömungsabriss bei Verlust der Vorflut detailliert beschrieben werden.



Parametrisierung der Gewässerinteraktion über Wasserspiegellage und Leakage-Koeffizient.

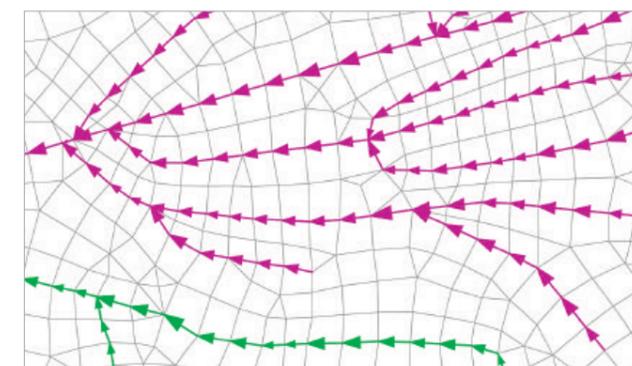


Berücksichtigung der Leakage-Wirkung unter Berücksichtigung von Ex- und Infiltration (links) und Limitierung der Austauschmengen (rechts).

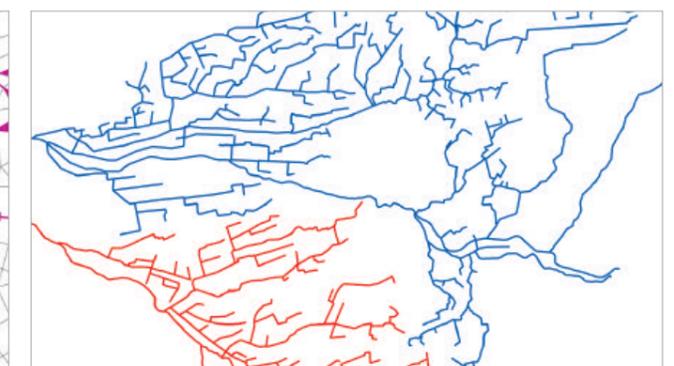
Kopplung zwischen Grundwasser und Oberflächengewässern

Mit **SPRING** kann durch eine integrierte Gewässernetzung eine Dargebots-bezogene Bilanzierung der Austauschmengen zwischen Grundwasser und Gewässer abgebildet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass auf dauerhaft oder saisonal trockenfallenden Gewässerabschnitten nicht mehr Wasser versickern kann, als oberstromig per Vorflut oder externer Zugabemengen aufgenommen wurde.

Darüber hinaus ist durch praxisnahe Parametrisierung der Gerinnehydraulik eine automatische Ableitung der Gewässerspiegelhöhen möglich. Diese Technik kann für stationäre und instationäre 2D- und 3D-Modelle eingesetzt werden. Die Gewässernetzung wird durch leistungsstarke Assistenz-Funktionen zur Generierung und Plausibilitätsprüfung vereinfacht.

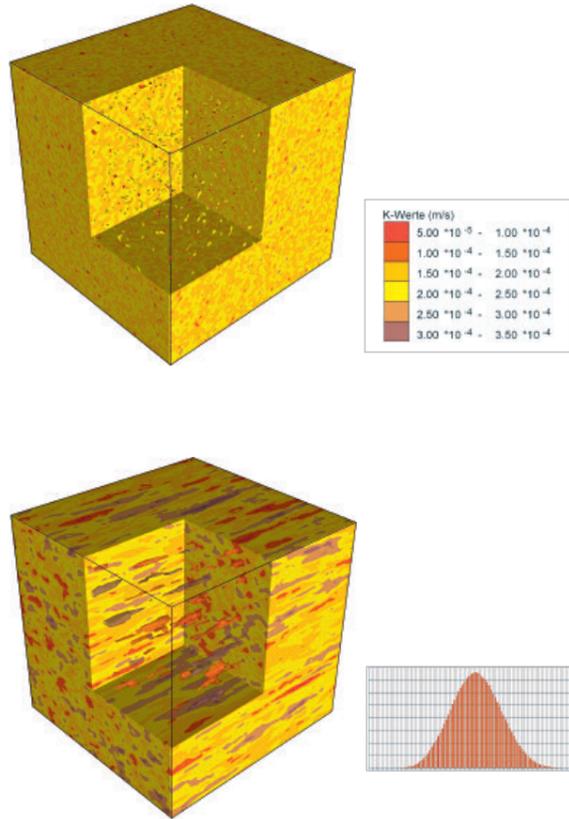


Automatische Fließrichtungsprüfung.



Automatisches Zusammenführen von Gewässerästen.

Möglichkeiten der Attributzuweisung



Stochastische Attributzuweisung

Mit **SPRING** können Daten, wie z.B. Durchlässigkeitsbeiwerte, sowohl unkorreliert als auch raumkorreliert stochastisch generiert werden.

1. Stochastisch generierte Daten ohne räumliche Korrelation

Dabei wird allen oder einzelnen Knoten bzw. Elementen in einer Schicht ein Attribut mit einer bestimmten stochastischen Verteilung zugewiesen.

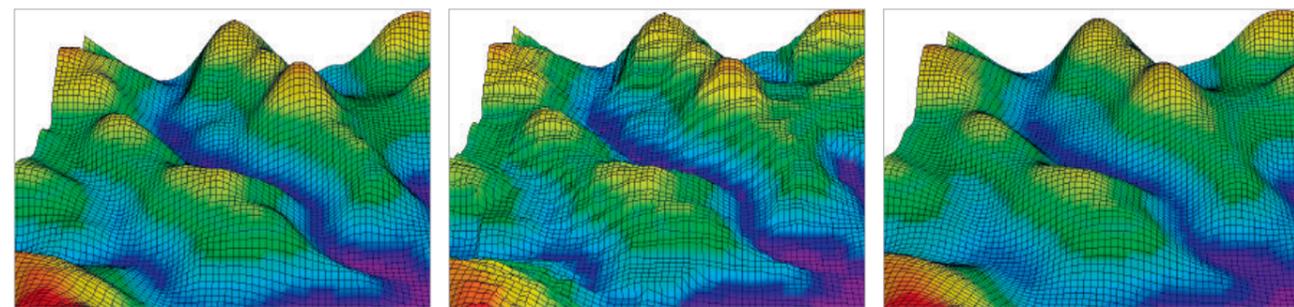
2. Stochastisch generierte Daten mit räumlicher Korrelation

Die Daten werden mit Hilfe des „turning bands“-Verfahrens (exponentieller Ansatz) korreliert generiert. Während der Interpolation wird die Ähnlichkeit der Daten in Abhängigkeit von deren Lage zueinander berücksichtigt. Die Korrelationslängen können in alle drei Raumdimensionen variieren.

Interpolation von Attributen

Nach der Netzerstellung erfolgt die Eingabe der geologischen, hydraulischen und hydrologischen Daten, die in der Regel bestenfalls punktuelle oder bereichsweise bekannt sind. Flexibel parametrisierbare geostatistische, globale

und lokale Interpolationsfunktionen ermöglichen eine Attributzuweisung dieser Daten auf die Knoten und Elemente des Modellnetzes auch außerhalb der bekannten und definierten Bereiche.



Gauß'sche Interpolation

Abstandswichtung (IDW)

Kriging

Interpolationspunkte

Numerik/Hardware

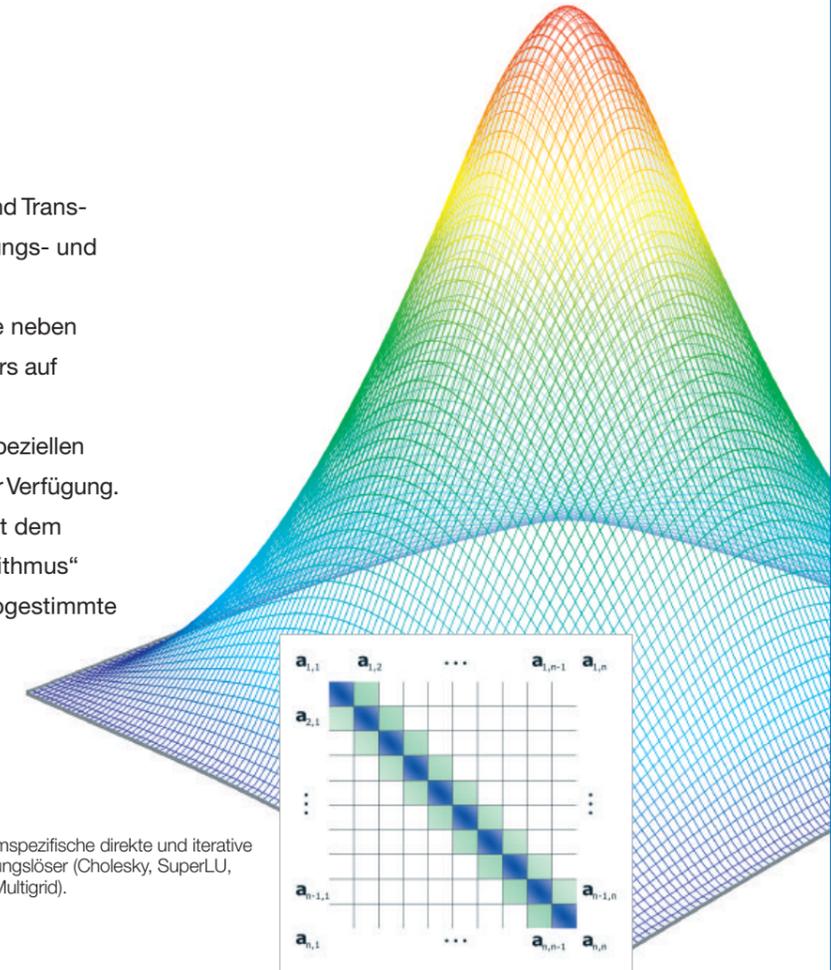
Gleichungslöser

Die numerische Modellierung von Strömungs- und Transportprozessen kann empfindlich auf Diskretisierungs- und Randbedingungseinflüsse reagieren.

SPRING arbeitet daher mit Gleichungslösern, die neben Leistungsfähigkeit und Geschwindigkeit besonders auf numerische Stabilität setzen.

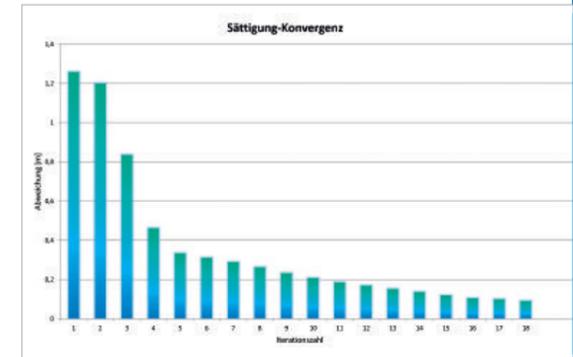
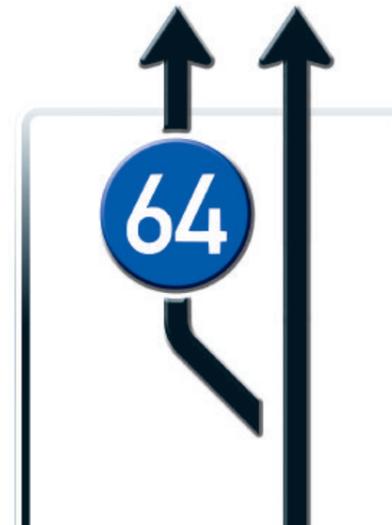
Zur iterativen Berechnung stehen CG-Löser mit speziellen Vorkonditionierungen und ein Mehrgitter-Löser zur Verfügung. Die direkte Gleichungslösung kann wahlweise mit dem „Cholesky-Verfahren“ oder dem „SuperLU-Algorithmus“ erfolgen. Eine speziell auf die Gleichungslöser abgestimmte Bandbreitenoptimierung sorgt für effiziente Speichernutzung und schnelle Rechenzeiten.

Problemspezifische direkte und iterative Gleichungslöser (Cholesky, SuperLU, PCG, Multigrid).



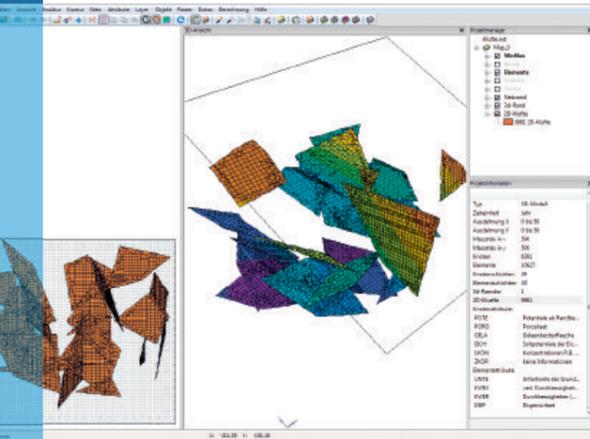
64-Bit Unterstützung

Die aktuelle **SPRING** Software-Version mit 64-Bit ist für die Betriebssysteme Microsoft Windows (Vista x64, Windows 7 x64) und Linux (z. B. SUSE x64, OpenSUSE x64) erhältlich. Dies garantiert die effiziente Nutzung von professionellen Grundwassermodellen mit einer praktisch unbegrenzten Knotenanzahl.

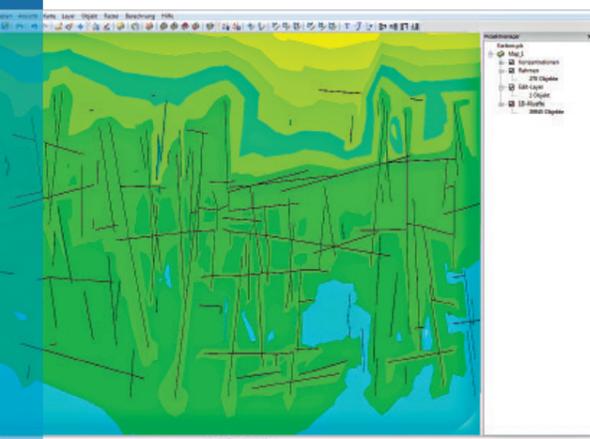


Konvergenzverhalten der Sättigungsiteration.

Weitere spezielle Anwendungsmöglichkeiten



Kluftvisualisierung in SPRING.

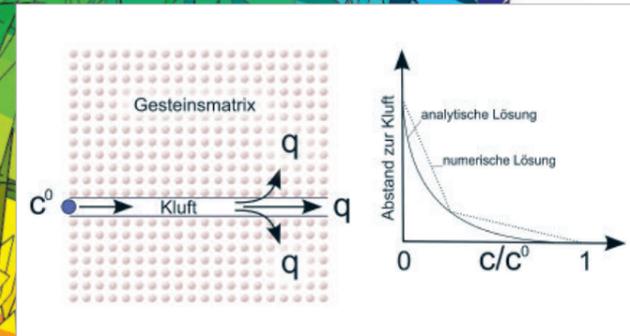


Stofftransport im geklüfteten Aquifer.

Stochastische und diskrete Generierung von Klüften und Störungen

Klüfte und Störungen sind durch ihre hohen Fließgeschwindigkeiten dominante Wege für den Stoff- und Wärmetransport im Festgestein. Mitgeführte Stoffe verteilen sich ausgehend von den Klüften und Störungen in die umgebende Gesteinsmatrix. **SPRING** bietet eine spezielle Funktion, mit der Klüfte stochastisch oder diskret generiert werden können.

Dabei werden alle charakteristischen Strömungs- und Transportprozesse vollständig in das Berechnungsmodell integriert und beliebig viele lithologische Schichten mit unterschiedlichen Kluftorientierungen sind kombinierbar.



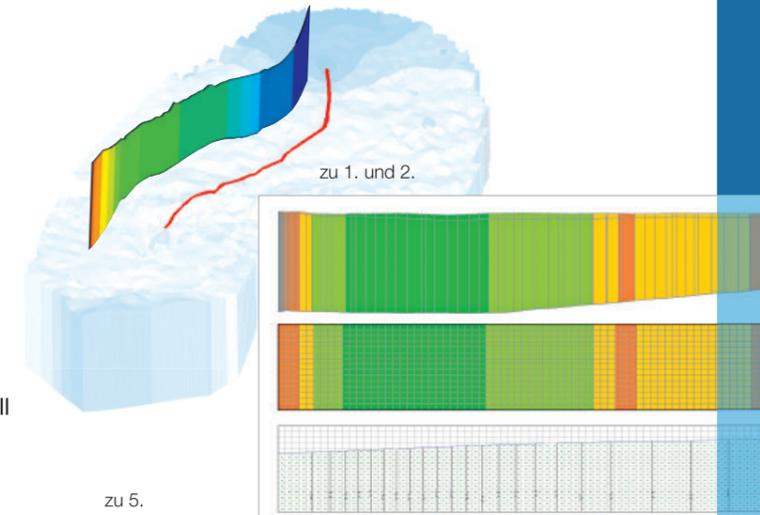
Weitere spezielle Anwendungsmöglichkeiten

Reaktiver Stofftransport

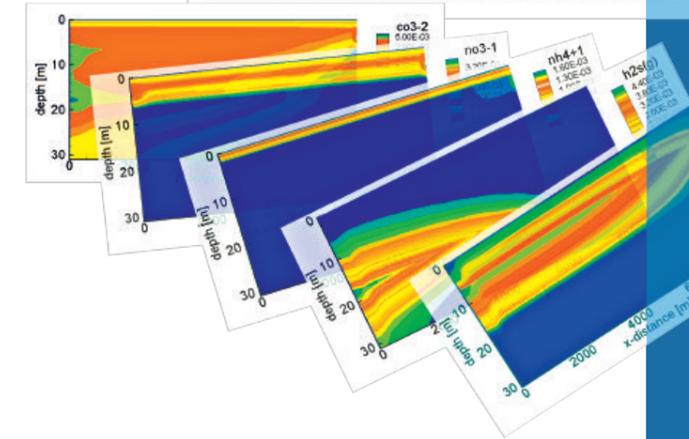
Durch die integrierte Schnittstelle zum Software-Programm MIN3P ermöglicht **SPRING** die Modellierung des reaktiven Stofftransports in der gesättigten und ungesättigten Zone.

Beispiel

1. Entnahme eines Vertikalschnitts aus 3D-Strömungsmodell
2. Überführung des Vertikalschnitts in MIN3P (Mayer 2010)
3. Geochemisches Reaktionsmodell
4. Berechnung des reaktiven Stofftransports für nicht-konservative Wasserinhaltsstoffe innerhalb des Aquifers
5. Modellierungsergebnisse



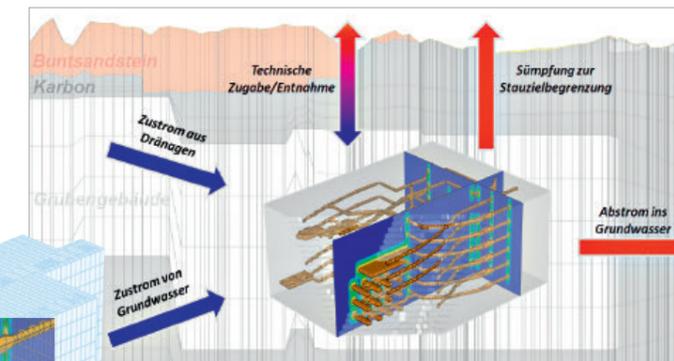
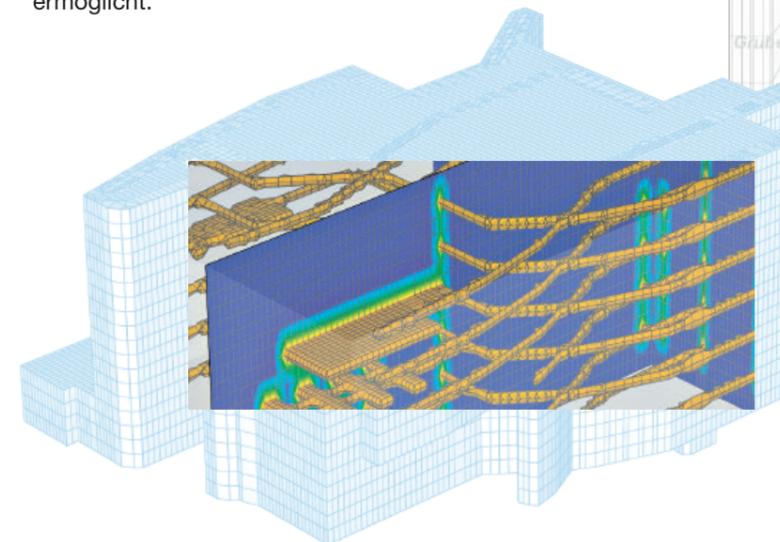
zu 5.



Grubenflutung

Die Simulation von Flutungsprozessen – z. B. im Bergbau – stellt besondere Anforderungen an das numerische Modell, um die Interaktion zwischen Flutungsraum und umgebendem Grundwasserleiter physikalisch hinreichend genau abbilden zu können.

Für diese spezielle Anforderung verfügt **SPRING** über ein leistungsstarkes, integriertes Boxmodell, das diese Interaktion mit einfacher Parametrisierung des Flutungsraums ermöglicht.



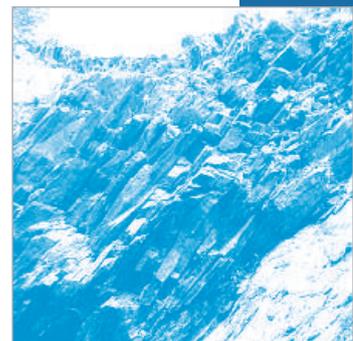
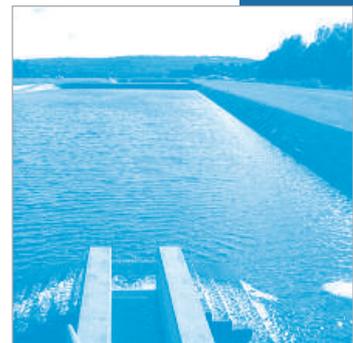
Flutungssimulation von Bergwerken und Seen mithilfe des integrierten Boxmodells.

Wir sind für Sie da!

Sie haben Fragen zu SPRING oder zu speziellen Anwendungsbereichen der Software?

Oder benötigen eine individuelle Beratung?

Unser Team ist gern für Sie da.



delta h
Ingenieurgesellschaft

delta h
Ingenieurgesellschaft mbH

Parkweg 67
58453 Witten

Telefon 02302 · 91 406 - 0
Telefax 02302 · 91 406 - 20

E-Mail info@delta-h.de
Internet www.spring.delta-h.de