

DOKUMENTATION

zur Software



Version 1.5

Dr. D. Schäfer
Dr. A. Hoffknecht
R. Günzel

GCI GmbH

Handelsregister :
Amtsgericht Potsdam, HRB 4760
Geschäftsführer: Dr.-Ing. Peter Nillert

Adresse:
D - 15711 Königs Wusterhausen, Bahnhofstr. 19
Tel. (03375) 294785, -6; Fax (03375) 294718

Königs Wusterhausen, den 22.12.2005

Inhalt

1	ANWENDUNGSBEREICH UND GRUNDLAGEN	2
2	SYSTEMVORAUSSETZUNGEN UND INSTALLATION	3
3	PROGRAMMHANDHABUNG	4
3.1	Allgemeines	4
3.2	Aufbau und Skalierung der graphischen Arbeitsumgebung	4
3.3	Steuerung der Berechnungen	8
3.4	Berechnung von Stromlinien und Isochronenmarken	11
3.5	Visualisierung des Strömungsfeldes durch Vektorenscharen	13
3.6	Bedienung der Ausgabeschnittstellen	14
3.6.1	Ausgabeschnittstelle zu SURFER for WINDOWS®	14
3.6.2	Ausgabeschnittstelle zu ArcView™	16
3.6.3	Ausgabeschnittstelle im DXF-Format	17
3.7	Drucken	17
4	EINBINDUNG UND BETRIEB IM GCI-GMS	20
4.1	Ausgabe aus GCI-GMS mit SURFER für Windows	20
4.2	Ausgabe aus GCI-GMS GeoInfoS	22
5	SCHLUSSBEMERKUNGEN	24
6	QUELLEN	25

Copyrights

SURFER for WINDOWS® und **SURFER 8®** sind eingetragene Warenzeichen der Golden Software Inc.;

ArcView™ und **ArcGIS™** sind eingetragene Warenzeichen der ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC. (ESRI);

MS ACCESS, MS Visual Basic, MS WINDOWS 95, MS WINDOWS/NT sind eingetragene Warenzeichen der Microsoft Corporation;

dBase IV ist ein eingetragenes Warenzeichen der Ashton-Tate Corporation;

AutoCAD® ist ein eingetragenes Warenzeichen der Autodesk Inc.;

GCI-GMS und **GCI-STROMER** sind eingetragene Warenzeichen der GCI GmbH

1 Anwendungsbereich und Grundlagen

Das Programm GCI-STROMER dient der Berechnung und Visualisierung von Strom- bzw. Bahnlinien, Isochronen und Geschwindigkeitsvektoren zur Beschreibung der Dynamik zweidimensionaler Grundwasserströmungsfelder.

Auf der Grundlage von im Rechteckraster bereitzustellenden flächenhaften Verteilungen von Grundwasserständen und k_f -Werten werden unter Berücksichtigung der Porosität des Grundwasserleiters für ein adäquates Rechteckgitter die Verteilung der Abstandsgeschwindigkeiten in ihren x- und y-Komponenten berechnet. Ausgehend von diesem Gitter lassen sich unter Verwendung eines bilinearen Interpolationsverfahrens nach PRICKETT et al. (1981) für jeden beliebigen Punkt des Strömungsfeldes die Komponenten der Abstandsgeschwindigkeiten ermitteln. Die Berechnung der Bahnlinien erfolgt durch Lösung der Bahngleichungen unter Verwendung eines Runge-Kutta-Verfahrens 4.Ordnung KINZELBACH & RAUSCH (1995) basierend auf dem vorab berechneten Geschwindigkeitsfeld. Die Lage von Isochronenmarken für vorab definierbare Zeitpunkte wird durch Summation der Fließzeiten entlang der Bahnlinien und abschließender lineare Interpolation der genauen Lagepunkte ermittelt. Die darstellbaren Geschwindigkeitsvektoren sind lediglich die graphische Umsetzung der auf dem Basisgitter berechneten Abstandsgeschwindigkeiten.

Bei diesem Lösungsverfahren handelt es sich auch um eine dispersionsfreie Näherungslösung zur Beschreibung des Stofftransports in einem als stationär zu beschreibenden Grundwasserströmungsfeld, wobei die Transportphänomene Konvektion (advektiver Transport) und Retardation (reversible Speicherprozesse nach der HENRY-Isotherme) berücksichtigbar sind.

Ein entscheidendes Leistungsmerkmal, den GCI-STROMER bietet, ist die Anwendung dieser Verfahren außerhalb von Grundwassermodellen und unabhängig von der ursprünglichen Herkunft der Eingangsdaten, so dass beispielsweise auch für auf Stichtagsmessungen basierende Grundwasserströmungsfelder Bahnlinien und Isochronen berechnet werden können.

Die Bereitstellung der an ein Rechteckraster gebundenen Eingangsdaten erfolgt in der vorliegenden Programmversion ausschließlich über GRID-Dateien (nachfolgend GRD-Datei) des Programms SURFER for WINDOWS[®] in den bis zur Version 8 unterstützten Formaten.

Gemäß der "Programmphilosophie" von GCI-STROMER soll sich seine Handhabung auf der Grundlage einer zeitgemäßen grafischen Oberfläche auf die Lösung der eigentlichen grundwasserwirtschaftlichen Aufgabenstellung konzentrieren. Programmtechnisch aufwendig zu realisierende Funktionen des Pre- und Postprocessings sollen durch externe Programme wie SURFER, ArcViewTM o.ä. wahrgenommen werden, die über entsprechende Schnittstellen von GCI-STROMER bedient werden können.

Nicht zuletzt ist GCI-STROMER als Zusatzmodul für unser Grundwassermonitoringsystem GCI-GMS entwickelt worden. Bei letztem handelt es sich um eine Datenbankanwendung auf der Basis von MS ACCESS zur Erfassung, Archivierung, Auswertung und Präsentation wasserwirtschaftlicher, hydrologischer und geologischer Daten.

2 Systemvoraussetzungen und Installation

GCI-STROMER wurde in der Version 1.5 mit MS Visual Basic Version 6.0 entwickelt und unter den Betriebssystemen MS WINDOWS 95, 98, NT, 2000 und XP getestet.

Zur Installation werden ca. 1,5 MB freier Festplattenspeicher benötigt.

Als externe Programme werden entweder SURFER für WINDOWS ab der Version 5.0x oder GCI-GMS GeoInfoS benötigt. Diese Programme sind zwar nicht für den Betrieb von GCI-STROMER, wohl aber für die Aufbereitung der Eingangsdaten erforderlich.

GCI-STROMER wird auf CD geliefert. Starten Sie auf der CD das Programm **SETUP.EXE**. Sie können während der Installation den Namen und die Lage des Verzeichnisses zuweisen, in dem GCI-STROMER installiert werden soll. Für eine mit GCI-GMS gekoppelte Nutzung muss hier das Installationsverzeichnis von GCI-GMS verwendet werden.

3 Programmhandhabung

3.1 Allgemeines

GCI-STROMER erscheint nach dem Programmstart im Layout einer typischen WINDOWS-Applikation bestehend aus Menüzeile, Symbolleiste und einem Arbeitsblatt (Abb 3.1).

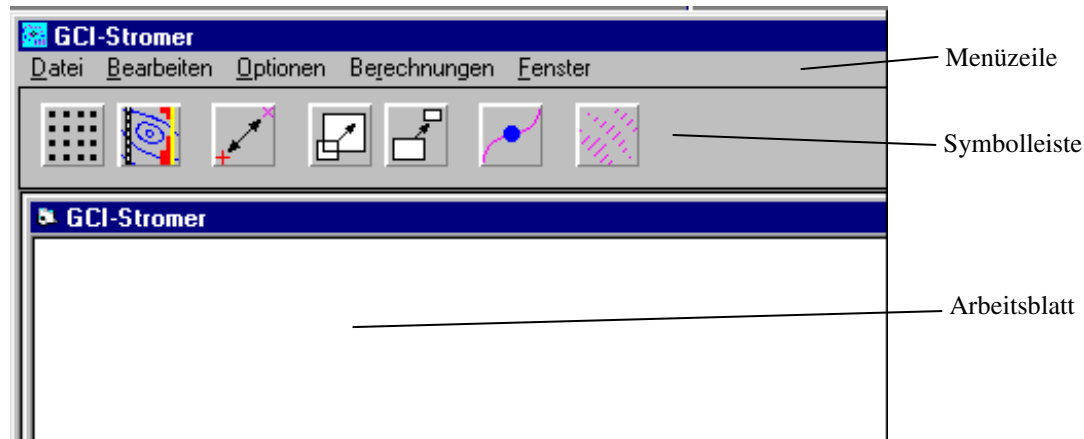



Abb. 3.1 Arbeitsbereiche GCI-STROMER

Über die Menüzeile sind sämtliche verfügbaren Befehle abrufbar. Diejenigen Befehle, die in der typischen Programmanwendung am häufigsten benötigt werden, können auch durch Schaltflächen in der Symbolleiste aktiviert werden. Auf dem Arbeitsblatt erfolgt die grafische Darstellung des Untersuchungsgebietes, die mausgesteuerte Festlegung der Startpunkte der Bahnlinien und die grafische Darstellung der Berechnungsergebnisse.

3.2 Aufbau und Skalierung der graphischen Arbeitsumgebung

Zur interaktiven Erstellung, Bearbeitung und Auswertung der Bahnlinien und Isochronenmarken wird ein räumlicher Bezug zum Untersuchungsgebiet benötigt.

Hierzu muss zunächst eine GRD-Datei geladen werden, welche die flächenhafte Verteilung der Grundwasserstände enthält. Der entsprechende Befehl ist im Menü unter

Datei - Öffnen - Potential Grid oder mit der Schaltfläche  zu erreichen.

Unterstützt werden GRD-Dateien in den Formaten

- GS Binary (Standardbinärformat bis Surfer-Version 6)
- Surfer 7 (Standardbinärformat für Surfer-Versionen 7 und 8)
- GS ASCII (Standardformat ASCII).

Dabei erkennt GCI-STROMER selbständig das anstehende Format und wertet es aus.

Hinweis: Die Genauigkeit der Bahnlinienberechnungen hängt in hohem Maße von der Feinheit des verwendeten Grids ab. Bei der Gestaltung des Grids in SURFER sollte eine Unterteilung der längeren Seite des Berechnungsgebietes in wenigstens 150 Inkremente und eine möglichst gleichmäßige Inkrementabmessung sowohl in x- als auch in y-Richtung angestrebt werden. Andererseits kann eine zu feine Diskretisierung oberhalb von 170 Inkrementen je Seite verhindern, dass GCI-STROMER das entsprechende Grid lädt. In diesem Fall erfolgt eine entsprechende Warnmeldung.

Singularitäten des Strömungsfeldes wie lokale Absenkungstrichter können bei der Bahnlinienberechnung nur in dem Maße "gefunden" werden, wie sie im Potenzial-Grid "abgebildet" sind. Hierzu muss die Singularität durch ein Ausgangsdatum (Messwert oder Berechnungsergebnis) ausgewiesen und das hieraus berechnete SURFER-Grid ausreichend fein gestaltet sein.

Als zweite Aktion muss ein Hintergrundbild als Grundlage der räumlichen Orientierung geladen werden. In der Version 1.5 können Sie Grafiken im Windows-Metafile-Format (WMF) und im Windows Enhanced-Metafile-Format (EMF) öffnen.

Die Erstellung der Grafiken in SURFER hat sich bewährt. Unterlässt man dort mögliche gegenteilig wirksame Manipulationen, so wird die Begrenzung des Grids dort durch die entsprechenden Bildachsen dargestellt. Vorteilhaft ist auch die Generierung und Darstellung von Grundwassergleichenplänen, da diese als Bestandteil des in GCI-STROMER genutzten Hintergrundbildes später einen Plausibilitätstest zum Verlauf der berechneten Bahnlinien ermöglichen. Ebenfalls in SURFER darstellbar ist eine beliebig umfangreiche Topographie auf der Basis vorhandener digitaler Daten in einem für SURFER lesbaren Format. Nach der Gestaltung des gewünschten Hintergrundbildes in SURFER kann dieses dort unter den Menübefehlen **File - Export** als WMF-Datei exportiert werden.

Sie können auch in GCI-GMS im Programmteil GeoInfoS einen Isohypsenplan erstellen und die betreffende GRD-Datei als Potenzialgitter in GCI-STROMER laden. Den Kartenhintergrund mit dem Isohypsenplan können Sie als EMF-Datei ausgeben und in GCI-STROMER öffnen. In GCI-GMS GeoInfoS steht der Programmteil **Randabdeckung und Koordinatenrahmen erstellen** zur Verfügung, mit dem Sie den Kartenausschnitt vor dem Export begrenzen können. Wenn Sie dabei kein Koordinatengitter erstellen, wählen Sie die Eckpunkte der Randabdeckung so, dass in der zu speichernden Darstellung Koordinatenmarken und dazugehörige Beschriftungen vorhanden sind, mit denen Sie später die Georeferenzierung durchführen können.

Sie öffnen Hintergrundbilder in GCI-STROMER mit dem Menübefehl

Datei - Öffnen - Hintergrund oder der Schaltfläche 

Hinweis: Bei der Gestaltung des Hintergrundbildes in SURFER ist dieses so zu skalieren, dass es dort in vollem Umfang sichtbar ist (max. ca. 50 x 50 cm). Andernfalls ist die dann von SURFER exportierte WMF-Datei in GCI-STROMER nicht lesbar. Es erfolgt dann programmseitig eine entsprechende Warnung.

Die Reihenfolge des Ladens der Grid- und der Hintergrunddatei kann vertauscht werden. Wenn beide geladen sind, muss eine Georeferenzierung des Hintergrundbildes erfolgen, da das WMF-Format nicht die Übergabe von Weltkoordinaten gestattet. Zu diesem Zweck wird

der

Menübefehl **Bearbeiten - Georeferenzieren** oder das Symbol  verwendet.

Als Reaktion werden zwei Marken in der Nähe der linken unteren (+) und der rechten oberen (x) Ecke des Arbeitsblattes dargestellt (Abb. 3.2). Über das gleichzeitig erscheinende Formular **“Georeferenzierung”** können für die Positionen der Marken die entsprechenden Weltkoordinaten zugewiesen werden. Anfänglich stehen im Formular die entsprechenden Minima- und Maximawerte des geladenen Potenzialgrids. Die einfachste Methode der Georeferenzierung besteht darin, die beiden Marken mit gedrückter linker Maustaste auf den linken unteren bzw. den rechten oberen Schnittpunkt der SURFER-Achsen zu schieben. Sind bei der Erstellung des WMF-Files in Surfer keine Manipulationen an den Achsen vorgenommen worden, entsprechen diese Bildpunkte den im Formular anfänglich enthaltenen Koordinaten.

Wenn Sie Potenzialgitter und Isohypsenplan in GCI-GMS GeoInfoS erstellt haben, besteht kein Zusammenhang zwischen dem Potenzialgitter und dem Kartenrand, da Sie diesen bei der Ausgabe manuell festgelegt haben. Schieben Sie die beiden Marken auf unterschiedliche beschriftete Gitterpunkte im Koordinatengitter oder wählen Sie zwei diagonal gegenüberliegende Eckpunkte der Kartenrandabdeckung, wenn diese mit Marken und Beschriftungen versehen sind. Überschreiben Sie danach im Formular **“Georeferenzierung”** die alten Koordinaten mit den neuen Koordinaten.

Bei Verschiebung der Marken tritt das Formular **“Georeferenzierung”** in den Hintergrund und wird unsichtbar. Durch Betätigung der **rechten Maustaste** oder Verwendung des Menübefehls **Bearbeiten - Koordinatenblatt** wird es wieder zum aktiven Formular und editierbar.

Hier können die Koordinatenwerte für den Fall verändert werden, dass die Marken auf dem Arbeitsblatt auf andere Lokalisationen verschoben wurden als auf die Achsenschnittpunkte. Denkbar sind hier beliebige nach ihren Hoch- und Rechtswerten bekannte Punkte des Hintergrundbildes wie beispielsweise Grundwassermessstellen o.ä. Mit Betätigung des **OK**-Schalters im Formular wird die Georeferenzierung aktiviert, bei der Wahl von **Cancel** verworfen.

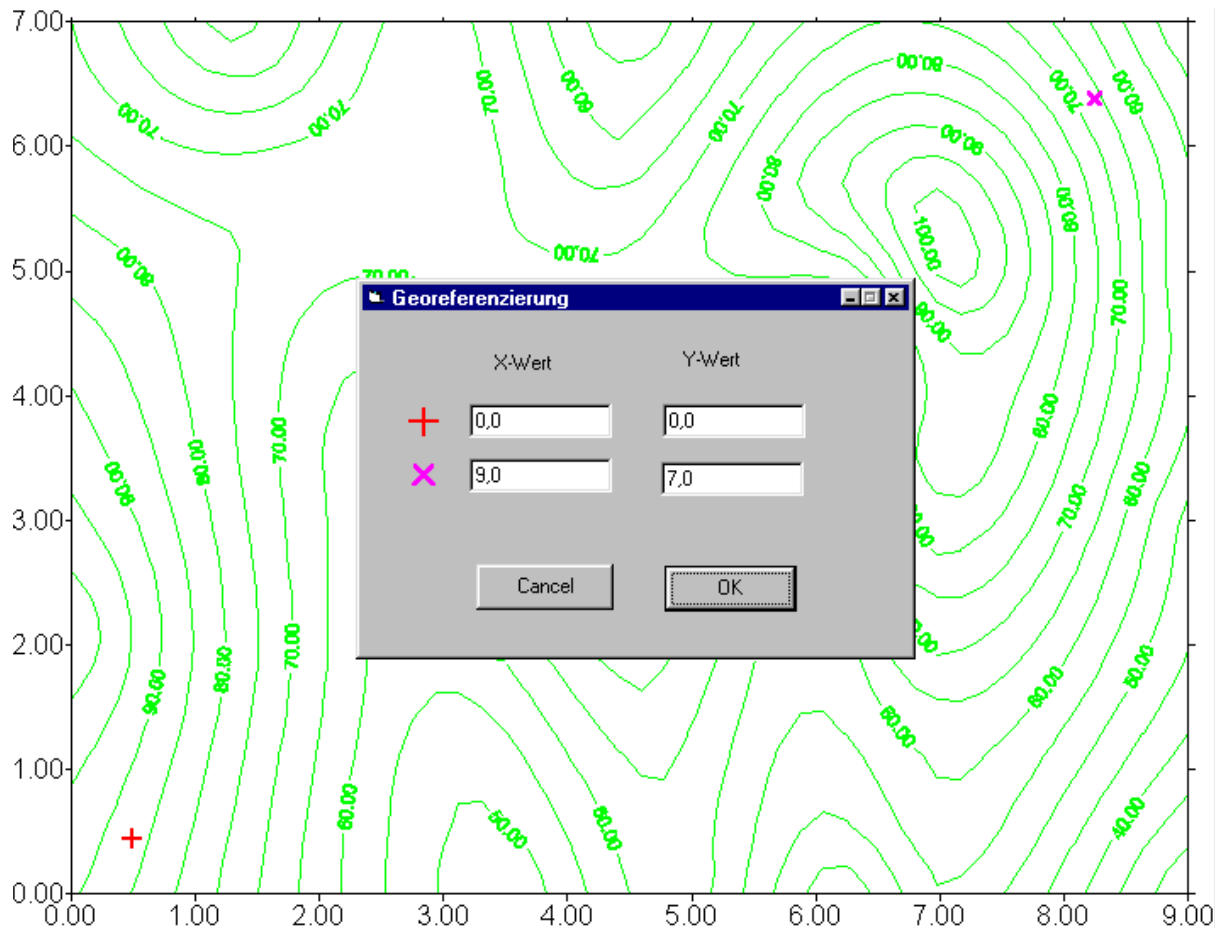


Abb. 3.2 Georeferenzierung für das SURFER-Beispielprojekt DEMOGRID

Hinweis: Die exakte Positionierung der Referenzmarken beeinflusst die Genauigkeit der Stromlinienausgabe stark. Aus diesem Grund hat sich die Verschiebung der Marken im Zoommodus bewährt. Dieser wird aktiviert durch den Menübefehl **Bearbeiten - Zooming**

oder durch linken Mausklick auf das Symbol 

Zum “Zoomen” selbst wird der in der Vergrößerung sichtbar gewünschte Bereich als Rechteck mit gedrückter **linker Maustaste** aufgezogen. Der Zoommodus wird verlassen über

den Menübefehl **Bearbeiten - Ganze Zeichnung** oder folgendes Symbol .

Nach erfolgter Georeferenzierung besteht die Möglichkeit, zusätzliche grafische Informationen im SURFER-BOUNDARY-Format (BLN-Format) basierend auf dem verwendeten Weltkoordinatensystem dem Bildinhalt hinzuzuladen. Vornehmlich kommen hier in zuvor durchgeführten Programmanwendungen berechnete und entsprechend gespeicherte Bahnlinien in Betracht.

Erweist es sich als notwendig, nach abgeschlossener Georeferenzierung diese neu zu

gestalten, so empfiehlt sich vorab die Verwendung des Menübefehls **Datei - Neues Projekt**. Hierdurch werden alle internen Programmvariablen auf ihren Initialwert zurückgesetzt und GCI-STROMER in einen Zustand analog dem unmittelbar nach Programmstart.

3.3 Steuerung der Berechnungen

Die Durchführung der Berechnungen bedarf der Überprüfung und ggf. Änderung einiger Einstellungen unter dem gleichnamigen Menüpunkt.

Unter dem Menüpunkt **Einstellungen - Parameter** können in dem dann aktivierten Formular die notwendigen geohydraulischen Parameter des auszuwertenden Strömungsfeldes definiert werden (Abb. 3.3).

Der Durchlässigkeitskoeffizient k_f kann in der einfachsten Form als gebietsweit gültiger, so genannter konzentrierter, Parameter vorgegeben werden. Ein Wert von $5,0 \cdot 10^{-4}$ m/s ist voreingestellt. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, eine flächenhafte Verteilung der k_f -Werte zu laden. Nach dem Anklicken des entsprechenden Kontrollkästchens erscheint eine Dateiauswahlbox, mit deren Hilfe die SURFER-Grid-Datei zu laden ist, in der die gewünschte k_f -Wert-Verteilung gespeichert ist. Es werden alle Dateiformate unterstützt, die auch für das Potenzialgrid verwendet werden können (s. Kap. 3.2). Das Basisgitter muss die gleiche Stützstellenstruktur haben, wie das zuvor geladene Potenzialgrid. Anderenfalls erfolgt eine Fehlermeldung. Durch eine möglicherweise spätere Aktivierung des Eingabefeldes für den gebietsweiten k_f -Wert geht die geladene k_f -Wert-Verteilung programmintern verloren (sichtbar am Kontrollkästchen) und zur Berechnung wird der Inhalt des Eingabefeldes herangezogen.

Zur Berechnung der Abstandsgeschwindigkeit aus der Darcy-Geschwindigkeit wird die effektive oder durchströmte Porosität benötigt. Dieser Parameter ist nicht identisch mit der entwässerbaren Porosität, der z.B. bei Pumpversuchen in ungespannten Grundwasserleitern ermittelt wird. Zur Abschätzung der Kenngröße wurden verschiedene, eine Abhängigkeit zum k_f -Wert herstellende, empirische Formeln entwickelt (MAROTZ, HELMBOLD, HENNIG). Die HENNIG-Formel wurde ursprünglich für den Parameter entwässerbare Porosität entwickelt. Die mit ihrer Hilfe ermittelten Ergebnisse liegen in dem nach unseren Erfahrungen plausiblen Bereich zwischen den Resultaten nach MAROTZ und HELMBOLD. Aus diesem Grund wurde in GCI-STROMER als Standardeinstellung die Berechnung der effektiven Porosität aus dem k_f -Wert nach HENNIG implementiert. Ist diese Option gewählt, wirkt sie unabhängig davon, ob mit verteilten oder konzentrierten Durchlässigkeiten gearbeitet wird. Alternativ besteht die Möglichkeit, die durchströmte Porosität nach eigenem Ermessen als gebietsweit wirksamen konstanten Parameter vorzugeben.

Abb. 3.3 Eingabeformular Grundwasserleiterparameter mit Standardeinstellungen

Die auf der Darcy-Geschwindigkeit und der durchströmten Porosität beruhende Abstandsgeschwindigkeit beschreibt die mittlere Bewegung eines “Wassertropfens” oder eines konservativen Wasserinhaltsstoffs (keine wirksamen Austausch- und Abbauprozesse). Mit der Bereitstellung des Parameters Retardationskoeffizient ermöglicht GCI-STROMER die Beschreibung der konvektiven bzw. advektiven Ausbreitung von Wasserinhaltsstoffen, die einer reversiblen Speicherung am Porenskelett gemäß der HENRY-Isotherme unterliegen. Der Retardationskoeffizient beschreibt dabei das Verhältnis der Transportgeschwindigkeit des reinen Wassers zu der zu erwartenden des betrachteten Stoffes und wird somit praktisch größer oder gleich dem Wert 1 einzusetzen sein.

Bei Wahl des Menüpunktes **Einstellungen - Bahnlinien** erscheint das in Abb. 3.4 vorgestellte Formular. Ein wichtiges Steuerglied ist die Einstellung der Berechnungsrichtung. Gemäß der Voreinstellung **Quelle->Senke** erfolgt die Berechnung der Bahnlinien gleichsinnig mit der Richtung des Grundwasserabflusses. Unter dieser Option kann man beispielsweise den Fließweg möglicherweise kontaminierter Bereiche prognostizieren. Wählt man die alternative Option **Senke->Quelle**, so wird bei der Berechnung der Bahnlinien der Richtungssinn der Grundwasserströmung umgekehrt. Typische Anwendungsgebiete für diese Option sind die

Berechnungen von Isochronen um Grundwasserfassungen.

Die in GCI-STROMER zur Bahnlinienberechnung verwendeten Verfahren sind mathematisch sehr robust. Aus diesem Grund wird es sich bei den allermeisten Anwendungen erübrigen, Änderungen an der Schrittzahlsteuerung auf dem Formular Bahnlinienoptionen vorzunehmen. Einstellen lässt sich zunächst die minimale Schrittzahl, mit der die Bahnlinienberechnung innerhalb einer Grid-Zelle durchgeführt werden muss. Eventuell ergibt sich hier bei relativ groben Netzen die Notwendigkeit, eine feinere Auflösung als den Vorgabewert "vier" anzuwählen. In der Spalte "Weite" wird dann der sich aus den aktuellen Einstellungen und Gitterweiten ableitende maximale Weg angegeben, um den sich eine Bahnlinie in einem Berechnungsschritt verlängert.

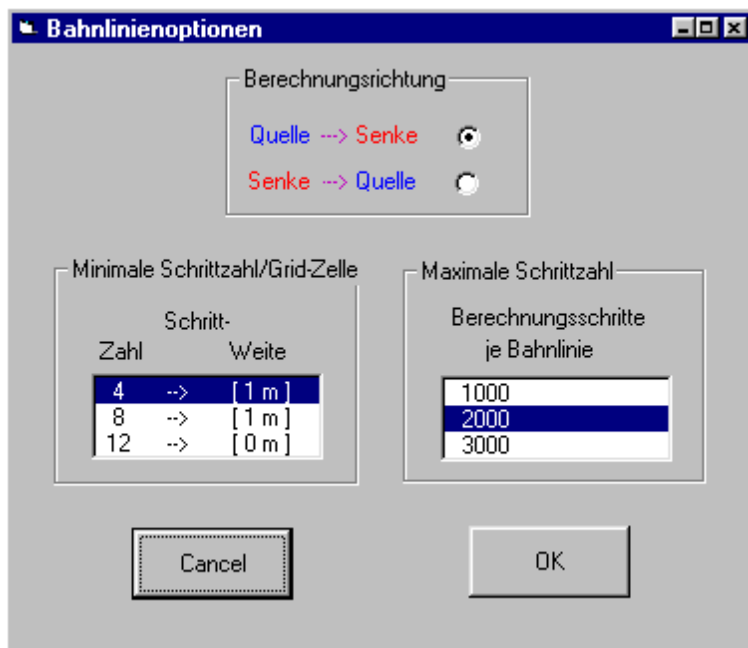


Abb. 3.4 Optionsformular für Bahnlinien

Unter der Rubrik "Maximale Schrittzahl" kann ausgewählt werden, nach wie viel Berechnungsschritten eine Bahnlinienberechnung spätestens abgebrochen werden soll.

Das Formular **Optionen Isochronenberechnungen** (Abb. 3.5) erscheint nach Auswahl des Menüpunktes **Einstellungen - Isochronen**.

Es können für maximal 7 Zeitpunkte Isochronenmarken gesetzt werden. Isochronen sind Linien gleicher Laufzeiten des Grundwassers. Die Isochronenmarken kennzeichnen in GCI-STROMER die Schnittpunkte der Isochronen mit den Bahnlinien. Ausgangspunkt für die Fließzeitberechnungen sind jeweils die Startpunkte der Bahnlinien.

Form und Farbe der Isochronenmarken sind fest vorgegeben und stimmen auf dem Formular und in der Darstellung der Ergebnisse überein. Diesen Marken können über die Eingabeliste die entsprechenden Fließzeiten zugewiesen werden. Vorher sollte die zu verwendende Maßeinheit der Zeit (Tage oder Jahre) ausgewählt werden. Diese gilt dann für die gesamte Liste. Wird ein Wechsel der Maßeinheit vorgenommen, nachdem in der Liste bereits Einträge vorgenommen wurden, wird eine Meldung ausgegeben, mit der Sie entscheiden können, ob

die eingetragenen Werte auf die neue Maßeinheit umgerechnet werden oder erhalten bleiben. Die Zeiten müssen in die Liste nicht notwendigerweise in geordneter Reihenfolge eingetragen werden, da programmintern vor Berechnungsbeginn ein Sortieren der Ausgabezeiten vorgenommen wird. Es besteht die Möglichkeit, generell alle Eintragungen der Liste auf die programmseitig nicht ausgewertete Zeit 0 zurückzusetzen.

Weiterhin können Sie festlegen, ob die Bahnlinienberechnung nach Erreichen der letzten vorgegebenen Ausgabezeit ohne weitere Isochronenmarkierungen fortgesetzt werden soll, oder ob an dieser Stelle ein Abbruch der Berechnung der Bahnlinie stattfindet.

Marker	Laufzeit	Maßeinheit der Zeit
■	10,0	Tage <input type="radio"/> Jahre <input checked="" type="radio"/>
×	20,0	
●	30,0	
+	40,0	
▲	50,0	
*	70,0	
◆	100	

Bahnlinienabbruch am letzten Marker ?

ja nein

Abb. 3.5 Eingabeformular für Isochronenmarken

3.4 Berechnung von Stromlinien und Isochronenmarken

Die Berechnungen von Stromlinien und Isochronenmarken können unter dem Menüpunkt

Berechnungen - Bahnlinien oder durch Anklicken des Symbols  gestartet werden.

Die Wiederholung einer der beiden genannten Aktionen führt zum Verlassen des Berechnungsmodus. Ist dieser Modus eingeschaltet, stehen die Zoomfunktionen nicht zur Verfügung, jedoch bleiben die innerhalb einer Programmsitzung generierten Bahnlinien und Isochronenmarken bei den Ein- und Ausschaltvorgängen des Berechnungsmodus erhalten, so dass der Bildausschnitt auch während der Berechnung ständig geändert werden kann.

Der Startpunkt für die Berechnung einer Bahnlinie wird zumeist durch Klicken der **linken Maustaste** an der aktuellen Position des Mausursors definiert. Dessen Rechts- und Hochwerte werden bei eingeschaltetem Berechnungsmodus in Weltkoordinaten in der Symbolleiste angezeigt und bei jeder Mausbewegung aktualisiert.

Nach Einschalten des Berechnungsmodus für die Bahnlinien/Isochronen nimmt der Mauscursor die Form eines Fadenkreuzes an. Nach erfolgter Startpunktfestlegung verändert sich die Form des Cursors dahingehend, dass an die Enden des Fadenkreuzes nach außen zeigende Pfeile angefügt werden. Ist die Berechnung der aktuellen Bahnlinie abgeschlossen, wird diese dargestellt und die Cursorform auf das Fadenkreuz zurückgesetzt.

Alternativ zur Festlegung des Startpunktes über den Mauscursor kann seine Vorgabe auch durch alphanumerische Eingabe der Weltkoordinaten erfolgen. Das entsprechende Eingabefenster wird durch Drücken der **F2-Taste** sichtbar.

Die Berechnung einer einzelnen Bahnlinie wird programmintern entweder beim Erreichen eines lokalen Minimums bzw. Maximums der Grundwasserstände im Strömungsfeld oder bei der Ankunft am Rand des Strömungsfeldes abgebrochen. Dieser Rand wird definiert durch die formalen Grenzen des SURFER-Grids oder dessen durch "Blanking" in SURFER erzeugter Berandung.

Die Bahnlinien werden je nach ausgewählter Berechnungsrichtung entweder mit einem Farbverlauf von Blau nach Rot oder umgekehrt dargestellt. Das blaue Ende der Bahnlinie markiert dabei immer den jeweils höchsten Grundwasserstand entlang der Bahnlinie und das rote Ende den tiefsten. Die Isochronenmarken werden entsprechend den Vorgaben auf dem zugehörigen Eingabeformular gezeichnet.

Rechts neben den Koordinaten der Mausposition wird in der Symbolleiste die Anzahl der bisher generierten Bahnlinien angegeben. In einer Sitzung ist es möglich, bis zu 100 Bahnlinien generieren. Wird diese Zahl überschritten, erfolgt eine entsprechende Warnmeldung.

Bereits generierte Bahnlinien können gelöscht werden. Dies kann durch Anwahl des Menüpunktes **Bearbeiten - Löschen - Letzte Bahnlinie** oder durch drücken der **rechten Maustaste** schrittweise rückwärts von der zuletzt gezeichneten Bahnlinie bis zur ersten erfolgen. Die sofortige Löschung aller Bahnlinien ist über den Menüpunkt **Bearbeiten - Löschen - Alles** möglich. Die Anzeige der bisher generierten Bahnlinien in der Symbolleiste wird der durchgeführten Löschkaktionen entsprechend aktualisiert.

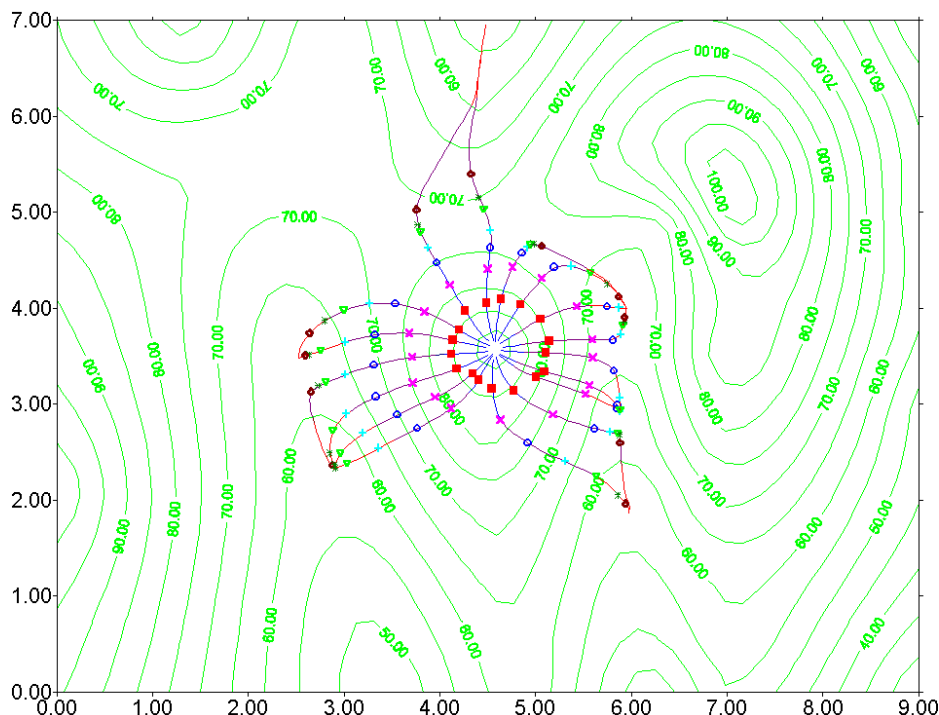


Abb. 3.6 Bahnlinien und Isochronenmarken für das SURFER-Beispielprojekt DEMOGRID

3.5 Visualisierung des Strömungsfeldes durch Vektorenscharen

Zusätzlich oder alternativ zur Darstellung der Bahnlinien lassen sich die Strömungsverhältnisse im zu untersuchenden hydraulischen Feld anhand von Geschwindigkeitsvektoren visualisieren. Der Zugang zu dieser Funktion ist über den

Menüpunkt **Berechnungen - Vektorenschar** oder über das Symbol  möglich.

Die Darstellung eines Geschwindigkeitsvektors erfolgt als Linie ausgehend von einem Gitterpunkt in Fließrichtung des Grundwassers. Je nach Dichte des SURFER-Grids wird programmintern nach Kriterien zur Wahrung der Übersichtlichkeit festgelegt, ob die Geschwindigkeitsvektoren an jedem oder nur an jedem zweiten Gitterpunkt dargestellt werden.

Die Gitterpunkte werden durch schwarze Punkte, die Vektoren als violette Linie mit einer Länge entsprechend dem Betrag der Abstandsgeschwindigkeit am Gitterpunkt gezeichnet. Aufgrund der Tatsache, dass in einem Strömungsfeld auch betragsmäßig extrem unterschiedliche Geschwindigkeiten auftreten können, erfolgt die Darstellung der Vektoren unter Verwendung einer Dämpfungsfunktion. Hieraus ist abzuleiten, dass es nicht zulässig und möglich ist, die realen Abstandsgeschwindigkeiten durch Abmessen der Vektorenlänge

absolut oder relativ gegeneinander zu quantifizieren. Gleichwohl besteht die Möglichkeit, anhand von Richtung und Betrag einen qualitativen Überblick zu den Strömungsverhältnissen zu gewinnen.

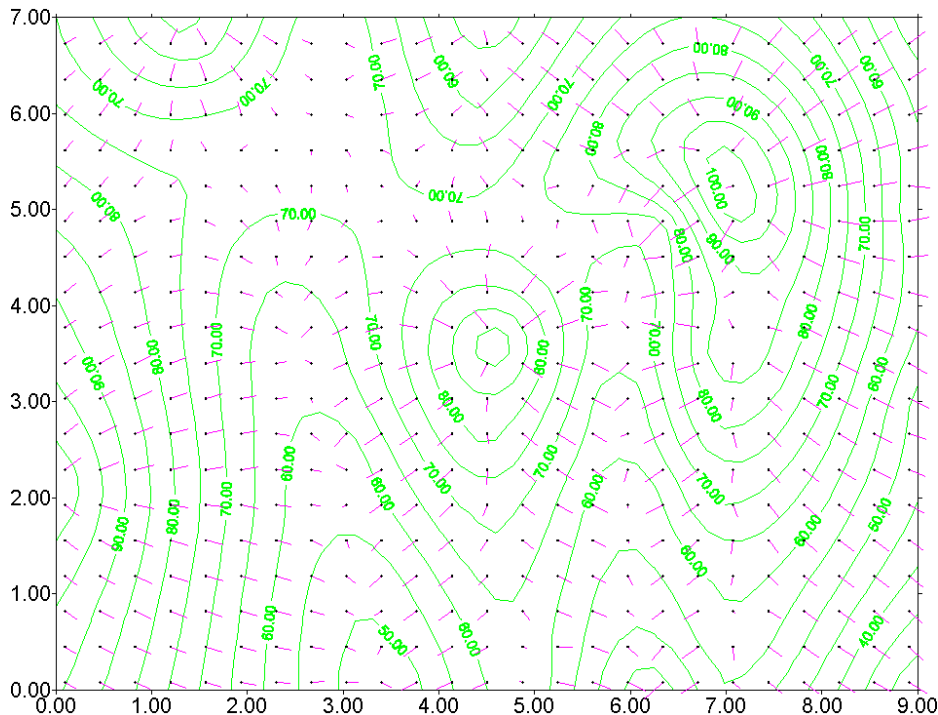


Abb. 3.7 Vektorenscharen für das SURFER-Beispielprojekt DEMOGRID

3.6 Bedienung der Ausgabeschnittstellen

3.6.1 Ausgabeschnittstelle zu SURFER for WINDOWS®

Die Verfügbarkeit von SURFER for WINDOWS® ist auch in der Version 1.5 von GCI-STROMER Voraussetzung für dessen praktische Handhabung. Daher ist es nahe liegend, die effizienten Möglichkeiten, die SURFER für die Gestaltung des Postprocessings bietet, auch für die Erstellung berichtsreifer Dokumentationen der GCI-STROMER-Ergebnisse zu nutzen.

Die Übergabe der Bahnlinienverläufe erfolgt über den Menüpunkt **Datei - Speichern - Bahnlinien - Surfer-Bln** im SURFER-BLN-Format als ASCII-Datei, deren relativ einfacher Aufbau in GOLDENSOFTWARE (2002) detailliert beschrieben ist. Innerhalb von SURFER wird der Inhalt dieser Datei unter dem dortigen Map - Menüpunkt **Map - Load Base Map** zur Anzeige gebracht. Eine Übergabe der für GCI-STROMER typischen Farbverläufe entlang der Bahnlinien ist nicht möglich. Deren farbliche Gestaltung kann mit den internen Werkzeugen von SURFER erfolgen.

Die Informationen zu den Isochronenmarken werden nach Wahl des Menüpunktes **Datei - Speichern - Bahnlinien - Surfer-Dat** als SURFER-DATA-Files im DAT-FORMAT

übergeben. In der ASCII-Datei wird dabei von GCI-STROMER eine vierspaltige Tabelle gespeichert, wobei die Spalten durch Kommata getrennt werden.

Für jede berechnete Isochronenmarke werden in einer Zeile mit aufsteigender Spaltenzahl der Rechtswert, der Hochwert, die zugehörige Fließzeit in der in GCI-STROMER gewählten Zeiteinheit sowie ein Symbolcode gespeichert.

Zur Anzeige gebracht werden die Isochronenmarken in SURFER unter dem dortigen Menüpunkt **Map – Post Map New Post Map**. Die Abb. 3.8 zeigt das nach dem Laden der von GCI-STROMER erzeugten DAT-Datei erscheinende Eingabeformular.

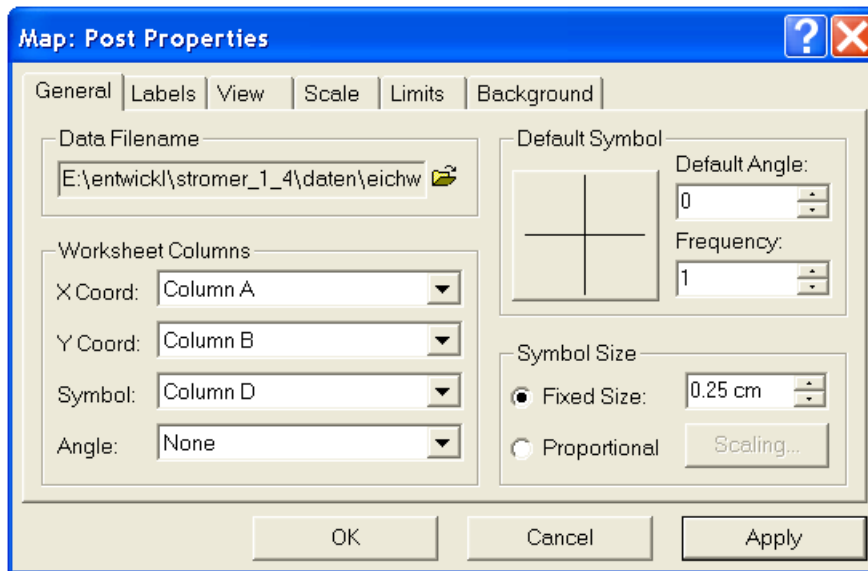


Abb. 3.8 Eingabeformular zur Steuerung der PostMap-Aktion in SURFER for WINDOWS® (Version 8)

Über dessen Bereich **Worksheet Columns** geschieht die Zuordnung der Tabellenspalten in dieser Datei zu dem SURFER-Projekt. In der Abb. 3.8 ist eine typische Zuordnung dargestellt.

Obligatorisch sind die Columns A und B (Spalten 1 und 2 in der DAT-Datei) X-Coord und Y-Coord zuzuordnen.

Bei Zuordnung der 4. Spalte (Column D) zum Feld **Symbol** stimmen die in SURFER dargestellten Symbole der Isochronenmarken mit den in GCI-STROMER verwendeten überein. Voraussetzung hierfür ist, dass in SURFER das Symbol-Set "Default Symbols" voreingestellt ist oder per Mausklick auf das Symbol geladen wird.

Wird optional nach Öffnen des Unterformulars **Labels** dem dortigen Feld **Label** die 3. Spalte der Tabelle (Column C) zugeordnet, erfolgt bei der späteren Darstellung eine Beschriftung der einzelnen Marken mit der jeweils zugehörigen Fließzeit.

Erweiterte Gestaltungsmöglichkeiten insbesondere bezüglich der Farben bietet in SURFER die Verwendung der Aktion **Classed Post Map** statt des hier beschriebenen **Post Map**.

3.6.2 Ausgabeschnittstelle zu ArcView™

Die Softwarelösungen ArcView und ArcGIS™ aus dem Hause ESRI besitzen eine relativ große Verbreitung bei der Visualisierung und Analyse raumbezogener Daten. Da dies auch für den Bereich der Überwachung und Prognose auf dem Grundwassersektor zutrifft, ermöglicht GCI-STROMER den Datentransfer seiner Ergebnisse zu ArcView auf der Grundlage dessen Standarddateiformats als ESRI-Shapefile (*.shp). Zu einer solchen Datei gehören notwendigerweise noch jeweils eine Indexdatei (*.shx) und dBaseIV-Datei (*.dbf) mit gleich lautendem Prefix. Während in den ersten beiden Dateien die geometrischen Ausbildungen und Abhängigkeiten der einzelnen graphischen Elemente definiert werden, können in der dBase-Datei für diese Elemente beliebige Attribute gespeichert werden. Diese drei Dateien zusammen beschreiben in ArcView den Inhalt eines so genannten "Themas" (thematisch zusammengehörige Schicht eines Visualisierungsmodells) vollständig.

Die ESRI-Shapefiles können inzwischen von der Mehrzahl der auf dem Markt befindlichen GIS-Systeme zumindest importiert werden.

Als Ergebnisse von GCI-Stromer können Bahnlinien, Isochronenmarken und Geschwindigkeitsvektoren als jeweils eigenständige Themen im o.g. Sinne exportiert werden.

Der Export der Bahnlinien erfolgt nach Auswahl des Menüpunktes **Datei - Speichern - Bahnlinien - ArcView-Shapefile**. Nachfolgend werden die Bahnlinien als Thema vom Typ "Polyline" gespeichert, wobei jede Bahnlinie ein in ArcView einzeln selektierbares Objekt darstellt. Als Attribute werden für jede Bahnlinie die Nummer der Bahnlinie entsprechend der Reihenfolge ihrer Erstellung in GCI-STROMER und die für die gesamte Bahnlinienlänge benötigte Laufzeit in Tagen übergeben.

Die Isochronenmarken werden als Punktthema über den Menüpunkt **Datei - Speichern - Isochronen - ArcView-Shapefile** exportiert. Für jede Isochronenmarke sind dann in ArcView als Attribute die zugehörige Bahnliniennummer sowie die sie repräsentierende Fließzeit in Tagen abrufbar. Die Formen und Farben der Isochronenmarken aus GCI-STROMER bleiben beim Export nicht erhalten. Die umfangreichen und daher hier nicht ausführbaren Gestaltungsmöglichkeiten in ArcView gestatten jedoch eine entsprechende Anpassung mit relativ geringem Aufwand.

Die Geschwindigkeitsvektoren werden ebenfalls als Thema vom Typ "Polyline" exportiert. Der Zugang hierzu geschieht über den Menüpunkt **Datei - Speichern - Vektoren - ArcView-Shapefile**. Dabei bilden die Vektoren aus Gründen der Speicherplatzminimierung im Gegensatz zu den Bahnlinien ein gemeinsames ArcView Objekt vom Typ Arc und sind nicht einzeln selektierbar. In der Attributetabelle existiert nur ein Eintrag, der die Gesamtzahl aller dargestellten Vektoren beinhaltet.

3.6.3 Ausgabeschnittstelle im DXF-Format

Das DXF-Format, kreiert für das CAD-System AutoCAD[®], hat sich in der Vergangenheit zu einem Standard für den Datentransfer zu und aus CAD-Systemen entwickelt. Der gemeinsame Export von Bahnlinien und ggf. Isochronenmarken in eine DXF-Datei erfolgt über den Menüpunkt **Datei - Speichern - Zeichnung - DXF**. Dabei werden die Ergebnisse in der ASCII-Version des DXF-Formats gespeichert, wobei die Formen der Isochronenmarken aus GCI-STROMER erhalten bleiben. Die Zuordnung von Farben zu den einzelnen graphischen Objekten ist vom importierenden Programm abhängig und kann in diesem zumeist beeinflusst werden.

3.7 Drucken

Prinzipiell können zum Drucken alle Grafik-Drucker und Plotter verwendet werden, für die das von Ihnen verwendete WINDOWS-System entsprechende Treiber bereitstellt. Die Auswahl des gewünschten Druckers aus der auf Ihrem System verfügbaren Palette erfolgt über den Menüpunkt **Datei - Druckereinrichtung**. Die Abb. 3.9 zeigt das entsprechende auch von anderen Anwendungen bekannte Eingabeformular.

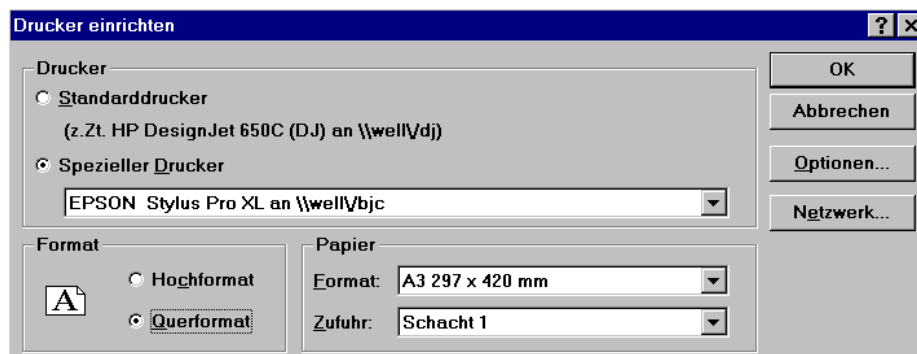


Abb. 3.9 Eingabeformular Druckereinstellung

Neben der Auswahl des zu verwendenden Druckers und seiner speziellen Optionen können die Seitenausrichtung, das Papierformat und ggf. die Papierzufuhr über dieses Formular gesteuert werden.

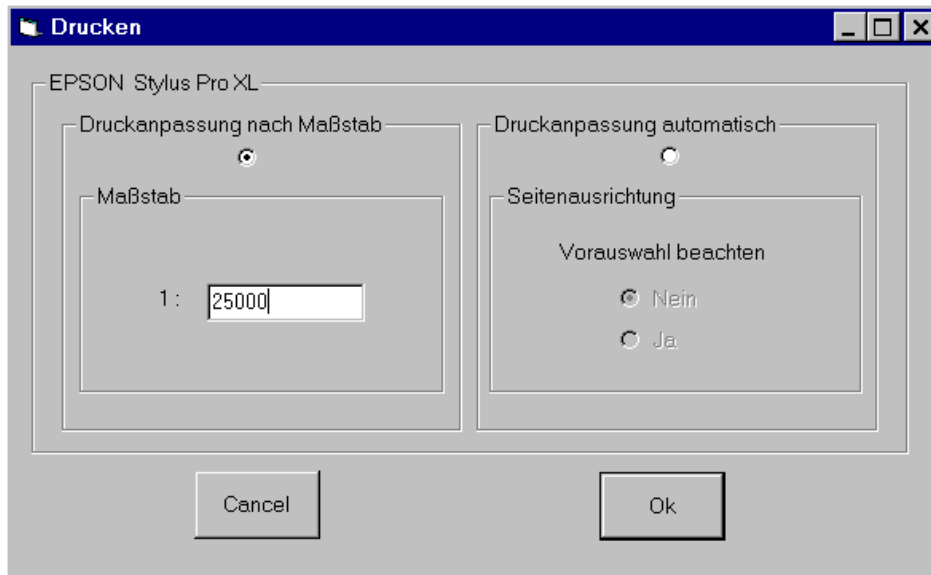


Abb. 3.10 Eingabeformular für Drucksteuerung

Der eigentliche Druckvorgang wird über das unter **Datei - Drucken** erreichbare Formular gesteuert (Abb. 3.10). Zunächst besteht die Möglichkeit einer maßstäblichen Ausgabe der erzeugten Graphik. Hierzu ist die Option **Druckanpassung nach Maßstab** anzuwählen. GCI-STROMER schlägt einen Maßstab unter Berücksichtigung des Seitenformats vor. Dieser Maßstab wird im Eingabefeld **Maßstab 1:** angezeigt. Sie können hier einen eigenen Maßstab eingeben. Wird der Maßstab im Eingabefeld gelöscht ohne Eingabe eines neuen Maßstabs, erfolgt der Ausdruck dann in dem vorgeschlagenen Maßstab unter Verwendung der aktuellen Druckereinstellung ohne weitere programminterne Prüfungen der Sinnfälligkeit dieser Angaben.

Alternativ zu dieser Verfahrensweise besteht die Möglichkeit des Ausdrucks ohne vordefinierten Maßstab. Wählt man die Option **Druckanpassung automatisch**, so wird der Ausdruck unter voller Ausnutzung des voreingestellten Papierformats vorgenommen, wobei die ursprüngliche Breite-Höhe-Relation der Graphik natürlich erhalten bleibt. Wählt man die Unteroption **Seitenausrichtung - Vorauswahl beachten - Ja** an, so erfolgt die Ausgabe in dem Seitenformat, das bei der Druckereinrichtung gewählt wurde. Bei Wahl der alternativen Unteroption **Nein** wird programmintern geprüft, bei welcher Seitenausrichtung eine optimale Ausnutzung des Papiers im voraus gewählten Format erzielt werden kann und diese dann entsprechend verwendet.

Wenn Sie Bahnlinien, Isochronenmarken oder Strömungsvektoren erstellt haben, druckt GCI-STROMER eine Legende als zweite Seite im Anschluss an die Grafik (Abb. 3.11).

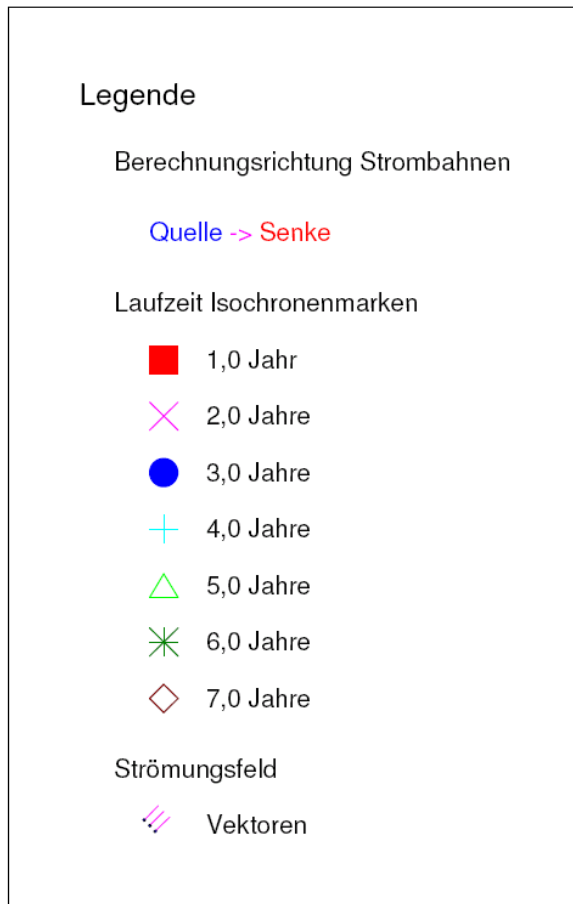


Abb. 3.11 Legende für Bahnlinien, Isochronenmarken und Strömungsfeld

Im Rahmen der Programmerstellung und -testung war natürlich nur für eine beschränkte Zahl von Ausgabegeräten eine Erprobung der Kommunikation zwischen ihren Treibern und GCI-STROMER möglich. In vereinzelt Fällen zeigte es sich bei Ansprache vor allem älterer Treiber, dass von diesen keine Informationen zu aktueller Papiergröße und Papierformat an VisualBasic zurückgegeben werden. In diesen Fällen erscheint die Option **Druckanpassung automatisch** deaktiviert und der Programmanwender wird durch eine Mitteilung aufgefordert, auf die maßstäbliche Ausgabe auszuweichen.

4 Einbindung und Betrieb im GCI-GMS

Wenn Sie Anwender sowohl von GCI-STROMER als auch vom GCI-GMS Grundwasser Monitoring System sind, können Sie Daten aus Ihren GCI-GMS Projektdatenbanken mit SURFER für WINDOWS visualisieren, als Grundlage für die Arbeit mit GCI-STROMER automatisch ausgeben und Stromer von der GCI-GMS-Oberfläche starten. In diesem Fall erhält GCI-STROMER die Anweisung, mit den von Ihnen ausgegebenen Daten zu arbeiten. Das Öffnen einer Grid-Datei entfällt.

Um GCI-STROMER in die Arbeitsumgebung von GCI-GMS einzubinden, installieren Sie das Programm im Installationsverzeichnis von GCI-GMS.

4.1 Ausgabe aus GCI-GMS mit SURFER für Windows

Nach der Installation von GCI-STROMER können Sie das Programm aus GCI-GMS heraus mit Daten versorgen und starten. Sie finden die nötigen Einstellungsformulare in der Anwendung **Isohypsenplan**. In der Optionsgruppe **Optionen Isohypsenplan** ist nun die Schaltfläche **Bahnlinsen berechnen** sichtbar (Abb. 4.1).

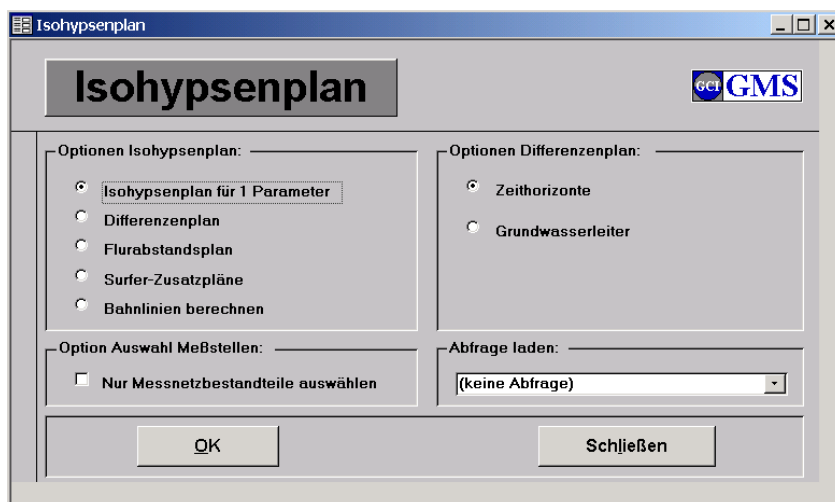


Abb. 4.1 Einstieg in die Einstellungen für die Stromlinienbearbeitung aus GCI-GMS heraus. Wählen Sie die Option **Bahnlinsen berechnen**.

Wenn Sie mit GCI-STROMER arbeiten möchten, benötigen Sie eine Grid-Datei und gegebenenfalls einen Kartenhintergrund. Die Vorgehensweise zur Erstellung dieser Grundlagen ist identisch mit der Vorgehensweise für die Erstellung eines Hydroisohypsenplans.

1. Wählen Sie im Einstellungsformular **Isohypsenplan** die Option **Bahnlinsen berechnen**.
2. Wählen Sie die Schaltfläche **OK**. Die Schaltfläche öffnet das Formular **Bahnlinsenberechnung** (Abb. 4.2). Hier bestimmen Sie die Datengrundlage des

Hydroisohypsenplanes, den Sie für die weitere Bearbeitung in GCI-STROMER erstellen.

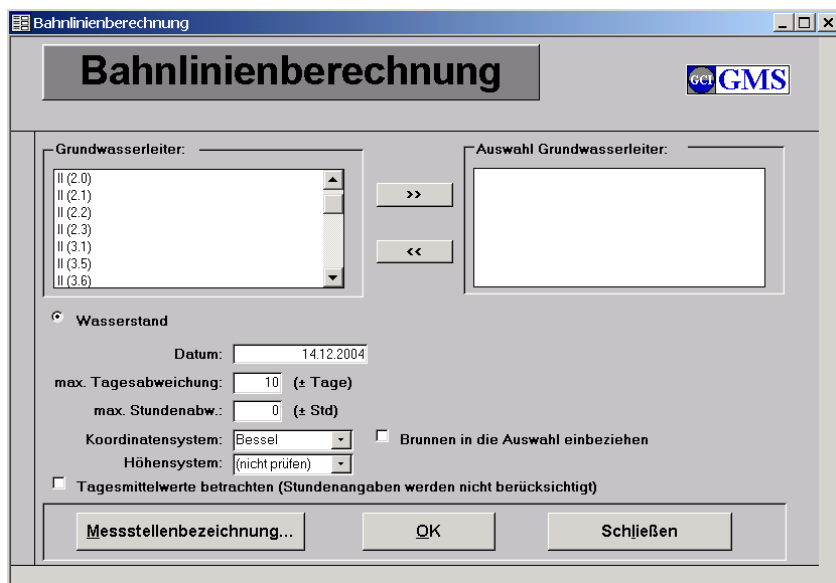


Abb. 4.2 Auswahl der Datengrundlage für die Stromlinienbearbeitung

- Wählen Sie die Grundwasserstockwerke, das Stichtagsdatum und eine Tagesabweichung. Wählen Sie danach die Schaltfläche **OK**. GCI-GMS sucht jetzt die Messstellen, die Ihren Einstellungen entsprechen.

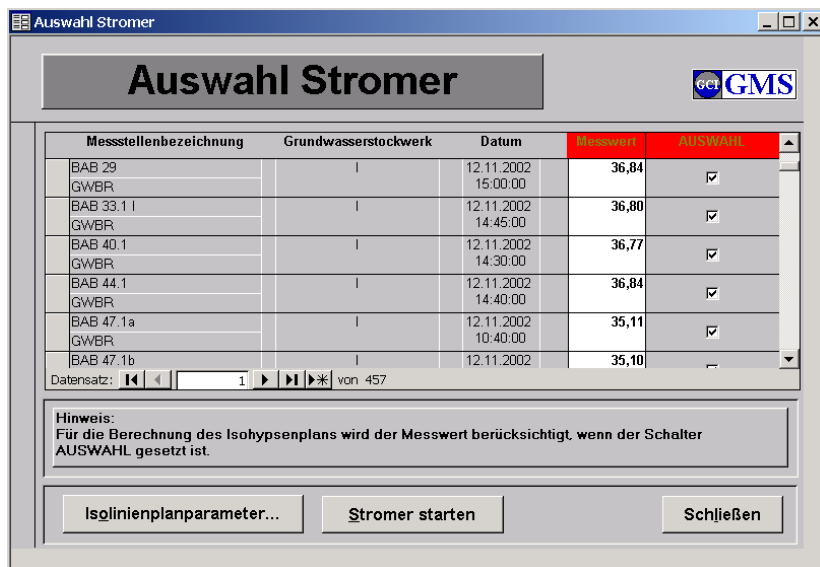


Abb. 4.3 Auswahl der Messstellen (optional) für die Stromlinienbearbeitung

- Wenn Sie einzelne Messstellen aus der Auswahl ausschließen möchten, kann dies im Formular **Auswahl-Stromer** geschehen (Abb. 4.3). Wählen Sie eine Messstelle in der Liste aus und schalten Sie sie mit dem Schalter **Auswahl** aus.

5. Wählen Sie die Schaltfläche **Isolinienparameter**, wenn Sie Einstellungen für die Graphik vornehmen möchten. GCI-GMS öffnet das Formular **Isolinienparameter**.
6. Wählen Sie die Kartenausmaße, die Elemente der topographischen Karte, sowie weitere Grid- oder Blank-Dateien, um den Hydroisohypsenplan nach Ihren Erfordernissen zu gestalten. Schließen Sie das Formular mit der Schaltfläche **OK**.
7. Wählen Sie in GCI-GMS die Schaltfläche **Stromer starten**. GCI-GMS schreibt alle benötigten Daten in Dateien, startet das Programm "SURFER für WINDOWS" und GCI-STROMER. In SURFER für WINDOWS wird ein Hydroisohypsenplan erstellt und als Graphikdatei ausgegeben. Darüber hinaus wird ein Grid erstellt, das die Grundlage der Bahnlinienberechnung in GCI-STROMER darstellt.

Die Erstellung der Kartengrundlage kann einige Minuten in Anspruch nehmen. Es kann geschehen, dass GCI-STROMER in den Vordergrund gerät, ohne dass Sie eine Graphik im STROMER-Programmfenster sehen. Warten Sie bitte bis SURFER für WINDOWS automatisch beendet worden ist. GCI-STROMER lädt danach automatisch alle notwendigen Dateien.


Wenn Sie noch keinen Hydroisohypsenplan auf Ihrem PC erstellt haben, kann es notwendig sein, Grundeinstellungen im Programm SURFER für WINDOWS vorzunehmen. Erstellen Sie einen Hydroisohypsenplan und ändern Sie die Grundeinstellungen von SURFER, wenn das Programm mit den Voreinstellungen nicht fehlerfrei arbeitet.

4.2 Ausgabe aus GCI-GMS GeoInfoS

Wenn Sie ein Potenzialgitter aus GCI-GMS GeoInfoS an GCI-Stromer ausgeben möchten, erstellen Sie einen Isohypsenplan in GeoInfoS. Die GRD-Datei des letzten Isohypsenplans, **gci_ipl.grd**, liegt im Installationsverzeichnis von GCI-GMS und kann in GCI-STROMER geladen werden.

Der Kartenhintergrund kann in GeoInfoS als EMF-Datei exportiert werden. Es ist nicht notwendig, dass der Kartenhintergrund den aktuellen Isohypsenplan ausweist. Es kann jedoch für die Darstellung und die Kontrolle der Arbeit in GCI-STROMER von Vorteil sein.

Um den Kartenhintergrund mit einer Kartenrandabdeckung zu versehen, starten Sie in GeoInfoS den Programmteil **Randabdeckung und Koordinatenrahmen erstellen**.

1. Wählen Sie in GeoInfoS die Schaltfläche  und ziehen Sie mit der Maus den Bereich auf der Karte auf, der mit einem Kartenrand versehen werden soll. Das Dialogfeld **Randabdeckung und Koordinatenrahmen erstellen/wiederherstellen** wird geöffnet (Abb. 4.4).
2. Geben Sie Eckpunkte ein, wenn Sie den Koordinatenrahmen verändern möchten.
3. Wählen Sie Tickmarken an mindestens einer Abszisse- und einer Ordinate aus. Um in

GCI-STROMER die Georeferenzierung möglichst komfortabel durchführen zu können, sollten alle Achsen mit Tickmarken versehen werden. Wählen Sie die Gitterteilung so, dass sie gegebenenfalls mit den Eckpunkten übereinstimmt.

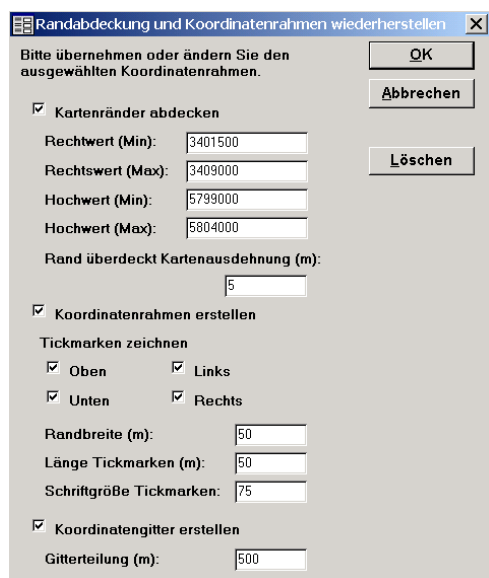


Abb. 4.4 Das Dialogfeld **Randabdeckung und Koordinatenrahmen erstellen/wiederherstellen**

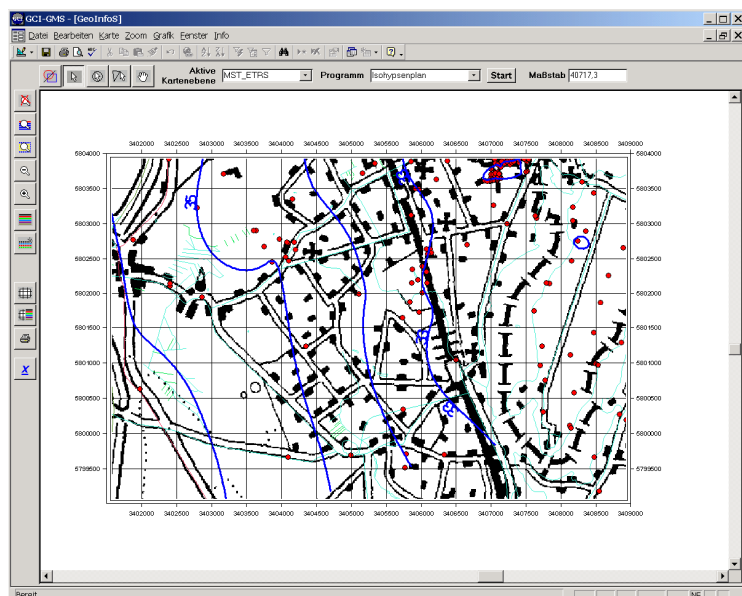


Abb. 4.5 Das Fenster **GeoInfoS** in GCI-GMS mit Karte und Kartenrandabdeckung

Wählen Sie den Menübefehl **Datei – Speichern unter** und wählen Sie aus dem Dialogfeld **Speichern unter** die Option **Kartenausschnitt als EMF-Datei**.

5 Schlussbemerkungen

Seit Einführung der Version 1.1 des GCI-STROMER hat eine Reihe von Anwendern dieses Produkt erworben und erfolgreich bei der Bearbeitung ihrer Projekte eingesetzt. Ihnen danken wir auch für die stets interessanten Anregungen und Rückmeldungen, ohne die eine sich an den aktuellen Möglichkeiten und Bedürfnissen ausrichtende Programmpflege nicht möglich wäre. Besonderen Wert legen wir daher auch weiterhin auf Vorschläge zur Weiterentwicklung aber auch auf Anzeigen nie auszuschließender Fehler und Unzulänglichkeiten und werden uns daher bemühen schnellstmöglich darauf zu reagieren.

Unter dem Menüpunkt **Info** finden Sie die Wege, über die Sie uns gerne Ihre Anregungen und Kritiken zukommen lassen können.



Abb. 5.1 Info-Box zu GCI-STROMER

6 Quellen

ENVIROMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, INC
ArcView - Shapefile Technical Description
(White Paper Series - ESRI, Redlands, 1995)

G. BORN
Referenzhandbuch Dateiformate
(Addison-Wesley, Bonn-München-Paris, 1992)

HOFFKNECHT, A. & R. GÜNZEL
Anwenderhandbuch zur Software GCI-GMS
(GCI GmbH, Königs Wusterhausen, 2004)

KINZELBACH W. & R. RAUSCH
Grundwassermodellierung
(Gebrüder Borntraeger, Berlin-Stuttgart, 1995)

PRICKETT, T.A., NAYMIK, T.G. & C.G. LONNQUIST
A "random walk" solute transport model for selected groundwater quality evaluations
(Illinois State Water Survey Bull. 65, Champaign, 1981)

D.POLLOCK
Semianalytical computation of path lines for finite difference models
(Groundwater 26(6), Dublin, 1988)

GOLDEN SOFTWARE INC.
SURFER® 8 - Users's Guide
(Golden Software Inc., Colorado, 2002)

MICROSOFT CORPORATION
Microsoft® VisualBasic® Version 6.0 Programmierhandbuch
(Microsoft Corporation, Ireland, 2000)