

## 5 Zusammenfassung

### 5.1 Gestellte Anforderungen

Der in FORTRAN erstellte Rechenkern des Programms sollte in die Simulationsumgebung INSEL implementiert werden. Zum derzeitigen Entwicklungsstand des Programms ist die Einbindung in INSEL aus zeitlichen Gründen noch nicht realisiert. Veränderliche Eingabegrößen wie Massenstrom und Vorlauftemperatur können bei entsprechend formatierten Textdateien jedoch bereits jetzt problemlos in das Programmmodul **main.for** eingelesen und ausgewertet werden. Somit ist das Programm im aktuellen Entwicklungsstand funktionsfähig und kann genutzt werden.

Der Programmkern ohne Grundwassermodule wurde, wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben, anhand von Messdaten geprüft und die Richtigkeit der Berechnungsergebnisse unter Berücksichtigung der angegebenen Abweichungen bestätigt. Die Flexibilität des erstellten Programms wird in den Abschnitten 5.3.2-3 dieses Kapitels dargestellt.

Die Programmteile, die für die Modellierung der Grundwasserströmung neu hinzugekommen sind, können zum aktuellen Stand des Projekts nur anhand von Animationen auf Plausibilität geprüft werden, wie bei den auf der CD-ROM beigefügten Flashanimationen geschehen.

### 5.2 Erreichter Entwicklungsstand des Programms

Grundlage der Berechnung sind die Matrizen für die Stoffdaten, der Koordinaten und der Temperatur. Die Stoffdaten, explizit die Werte für die Wärmekapazität und die Wärmeleitfähigkeit des Bodens, sollten in späteren Programmversionen schichtweise oder besser knotenweise variiert werden können. Bei der Entwicklung des Programms wurde dieser Anforderung bei der programmtechnischen Verwaltung dieser Werte Rechnung getragen.

Auf Grundlage eines geologischen Aufschlusses könnten knotenweise unterschiedliche Werte für Wärmeleitfähigkeit und -kapazität zugewiesen werden. Der Einfluss wasserführender Schichten kann durch die neu hinzu getretenen Programmroutinen für das Sondenfeld als ganzes und für jede Simulationsebene einzeln berechnet werden. Die Anordnung der Erdsonden innerhalb eines quadratischen beziehungsweise rechteckförmigen Grundrisses ist frei wählbar, durch das An- beziehungsweise Ausschalten des Massenstroms durch die Sonden können viele unterschiedliche Geometrien modelliert werden.

## 5.3 Leistungsfähigkeit und -grenzen des Programms

Jede Form von Modellbildung beinhaltet immer Vereinfachungen. Erst die Reduktion auf die für die Modellbildung wesentlichen Größen machen ein Modell als Abbild der Wirklichkeit handhabbar.

„In jenem Reich erlangte die Kunst der Kartografie eine solche Vollkommenheit, dass die Karte einer einzigen Provinz den Raum einer Stadt einnahm und die Karte des Reichs den einer Provinz. Mit der Zeit befriedigten diese maßlosen Karten nicht länger, und die Kollegs der Kartografen erstellten eine Karte des Reichs, die die Größe des Reichs besaß und sich mit ihm in jedem Punkte deckte [2].“

Jorge Luis Borges

Würde man, wie die Kartografen in der Parabel versuchen, bei einer Modellbildung alle Details zu berücksichtigen, erzeugt man nicht ein Modell der Wirklichkeit sondern eher eine zweite Realität. Mit einem Modell versucht man die Realität zu prognostizieren, also Vorhersagen zu treffen. Die Simulation stellt den Versuch dar, z.B den Energieertrag einer einzelnen Sonde oder den eines ganzen Feldes vorab abzuschätzen. Damit ergibt sich für die Planung ein wichtiges Werkzeug, mit dessen Hilfe die richtige Dimensionierung von Anlagen erreicht werden kann.

Ein Simulationsprogramm sollte hinsichtlich seiner Anpassungsfähigkeit an die in der Realität vorgefundenen Rahmenbedingungen möglichst flexibel sein, ohne den Aufwand für Programmierung und Berechnung allzu hoch werden zu lassen. Bei dem entwickelten Programm wurde z.B. eine rechtwinklige Geometrie gewählt, wodurch sich Sondenfelder, die eine rechteckige Regelmäßigkeit aufweisen, gut annähern lassen. Sollte jedoch die Anordnung der Erdwärmesonden aus einem bestimmten Grund kreisförmig oder gänzlich unregelmäßig erfolgen, stößt das gegebene Programm hinsichtlich der Abbildungsgenauigkeit an seine Grenzen. Eine weitere Grenze stellt die Auflösung der Erdreichknoten in Zonen und Sektoren dar. Während im Programm die Zonenanzahl frei wählbar ist, wurde die Anzahl der Sektoren auf acht festgelegt. Mehr Berechnungsknoten im Erdreich und damit eine genauere Simulation der Vorgänge um die eigentliche Sonde kann somit nur über die Erhöhung der Zonenanzahl geschehen.

### **5.3.1 Variation der Bodenkennwerte/Temperatur**

Werden die Stoffdaten für Wärmeleitfähigkeit und -kapazität knotenweise eingelesen, kann die Genauigkeit der Berechnung erhöht werden. Bei Kenntnis der geologischen Verhältnisse könnte so das Erdreich genauer modelliert werden. Der jahreszeitliche Einfluss der Temperaturschwankungen im oberflächennahen Bodenbereich wurde bei der vorliegenden Programmversion bis dato nicht verwirklicht. Ein entsprechender Programmteil, der diesen Effekt nachbildet, kann jedoch in das bestehende Programm einfach und ohne großen Aufwand integriert werden. Aus zeitlichen Gründen wurde bei der Entwicklung der Programmroutine zunächst von einer unveränderlichen Bodentemperatur ausgegangen.

### **5.3.2 Mitberücksichtigung von wasserführenden Schichten**

Die Berücksichtigung von wasserführenden Schichten konnte in die Programmroutine implementiert werden. Als Grundlage der Berechnung dienen wenige Einstellgrößen wie die Strömungsrichtung, die Strömungsgeschwindigkeit und der Wassergehalt der grundwasserführenden Schicht. Die Beeinflussung der Temperaturverteilung im Sondenfeld auf der strömungsabgewandten Seite konnte anhand der Simulationsergebnisse gezeigt werden.

## **5.4 Ausblick**

Für die nahe Zukunft sollte das Programm in die Simulationsumgebung INSEL eingebunden werden, um die Palette der vorhandenen Werkzeuge zur Simulation erneuerbarer Energiesysteme zu komplettieren. Die beschriebenen Verbesserungen des Programms, unter anderem die Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen der oberflächennahen Bodentemperatur, sollten in die bestehende Programmstruktur eingearbeitet werden. Für die weitere Entwicklung des Programms wird es notwendig die unter Punkt 5.3.2 genannten Parameter für ein vorhandenes Sondenfeld oder die eines maßstäbigen Modells zu gewinnen, um das Berechnungsprogramm mit Messwerten abgleichen zu können.