

Jahresbericht 2001, 04. Dezember 2001

Projekt

Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge

Autor und Koautoren	Dr. Thomas Kohl und Sarah Signorelli
beauftragte Institution	Institut für Geophysik
Adresse	ETH Hönggerberg, 8093 Zürich
Telefon, E-mail,	01 633 33 32, kohl@geo.phys.ethz.ch
Internetadresse	http://www.gtr.geophys.ethz.ch/
BFE-Nummern	Projekt: 39710 Vertrag: 81047
Dauer des Projekts	vom 01.10.01 bis 31.09.02

ZUSAMMENFASSUNG

Für das Ziel einer Produktivitätserfassung und Optimierung des Gesamtsystems Erdwärmesonde (EWS) mit Wärmepumpe wurden im Zeitraum von Oktober 2000 bis November 2001 zwei Schwerpunkte gesetzt: Berechnung der Oberflächentemperaturverteilung sowie Sichtung existierender EWS-Daten.

Die Oberflächentemperatur stellt ein wichtiger Standortfaktor für die Produktivität dar. Sie ist von verschiedenen Parameter wie Höhe, Hanglage oder Vegetation abhängig. Deshalb wurde anhand bestehenden Daten die Oberflächentemperaturverteilung untersucht sowie die Höhenabhängigkeit dieser Daten bestimmt. Zudem konnte eine Beziehung zwischen Luft- und Oberflächentemperaturen abgeleitet werden. Weiter wurden bestehende mathematische Ansätze benutzt, um den Einfluss von Exposition, Vegetation oder Windverhältnisse zu bestimmen. Für Prognosezwecke erwies sich jedoch die ermittelte Höhenabhängigkeit der Oberflächentemperatur als bedeutenster Einflussfaktor. Die weitergehenden Modellansätze erzielten keine Verbesserung der Ergebnisse.

Weiter wurden Daten bestehender EWS-Anlagen gesammelt und einer ersten Sichtung unterzogen. Sie stellen später die Basis der Systemoptimierung dar. Allerdings sind sie nur beschränkt verwendbar, da sie meist aus Projekten mit anderen Zielsetzungen stammen und sie somit nicht alle benötigten Parameter beinhalten. Deshalb werden im Winterhalbjahr 2001/2002 eigene Messungen an den EWS-Anlagen Arnegg (SG) und Horgen (ZH) durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1	Projektziele	1
2	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse	1
2.1	Untersuchung der regionaler Oberflächentemperaturverteilung	1
2.1.1	Einleitung.....	1
2.1.2	Vorhandene Daten	1
2.1.3	Höhenabhängigkeit.....	2
2.1.4	Einfluss der Strahlung	3
2.1.5	Energiebilanzierung	4
2.1.6	Flächendeckende Lufttemperaturen.....	5
2.2	Betriebsdaten von EWS-Anlagen	6
2.2.1	Einleitung.....	6
2.2.2	Analyse bestehender Daten	6
2.2.3	Eigene Messungen	7
2.3	Begleitgruppensitzung	7
3	Nationale Zusammenarbeit	7
4	Internationale Zusammenarbeit	8
5	Bewertung 2001 und Ausblick 2002	8
6	Referenzen.....	9

1 Projektziele

Ziel des am Institut für Geophysik der ETH Zürich und an der NOK gemeinsam durchgeführten PSEL-Projektes Nr. 203 **Produktivitätsuntersuchung des System Erdwärmesonde mit Wärmepumpe** ist die Produktivitätserfassung und Optimierung des Gesamtsystems Erdwärmesonde (EWS) mit Wärmepumpe.

Mit diesem Projekt sollen mehrere bislang offene Aspekte untersucht werden. So soll eine Optimierung des EWS-Systems bezüglich unterschiedlicher Standortfaktoren (wie Topographie, Untergrundbeschaffenheit, Oberflächenbedingungen oder Besiedlung) und der Betriebsart durchgeführt werden. Weiter soll eine klare Energiebilanzierung der einzelnen Energieströme im Untergrund erstellt werden. Energiebilanzierungen dienen dazu optimale Konfigurationen von EWS-Systemen festzulegen. In einem letzten Schritt wird das zentrale Ziel, einer EWS-Betriebsoptimierung, durch Zusammenfügen der Einzelanalysen des Instituts für Geophysik und der NOK erreicht.

Die Teilaspekte „Optimierung der Sondelänge“ und der „Vergleich von Software“ zur Dimensionierung von EWS-Anlagen werden im BFE-Projekt Nr. 39710 **Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge** bearbeitet. Das BFE-Projekt Nr. 39710 ist integraler Bestandteil des PSEL-Projektes Nr. 203.

In diesem Zwischenbericht wird ein Überblick über die Tätigkeit seit Projektbeginn des PSEL-Projektes im Oktober 2000 gegeben. Schwerpunkte waren folgende drei Themen:

- 1) Untersuchung von regionaler Oberflächentemperaturverteilung
- 2) Sammlung und Analyse von EWS-Betriebsdaten
- 3) Begleitgruppensitzung

2 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

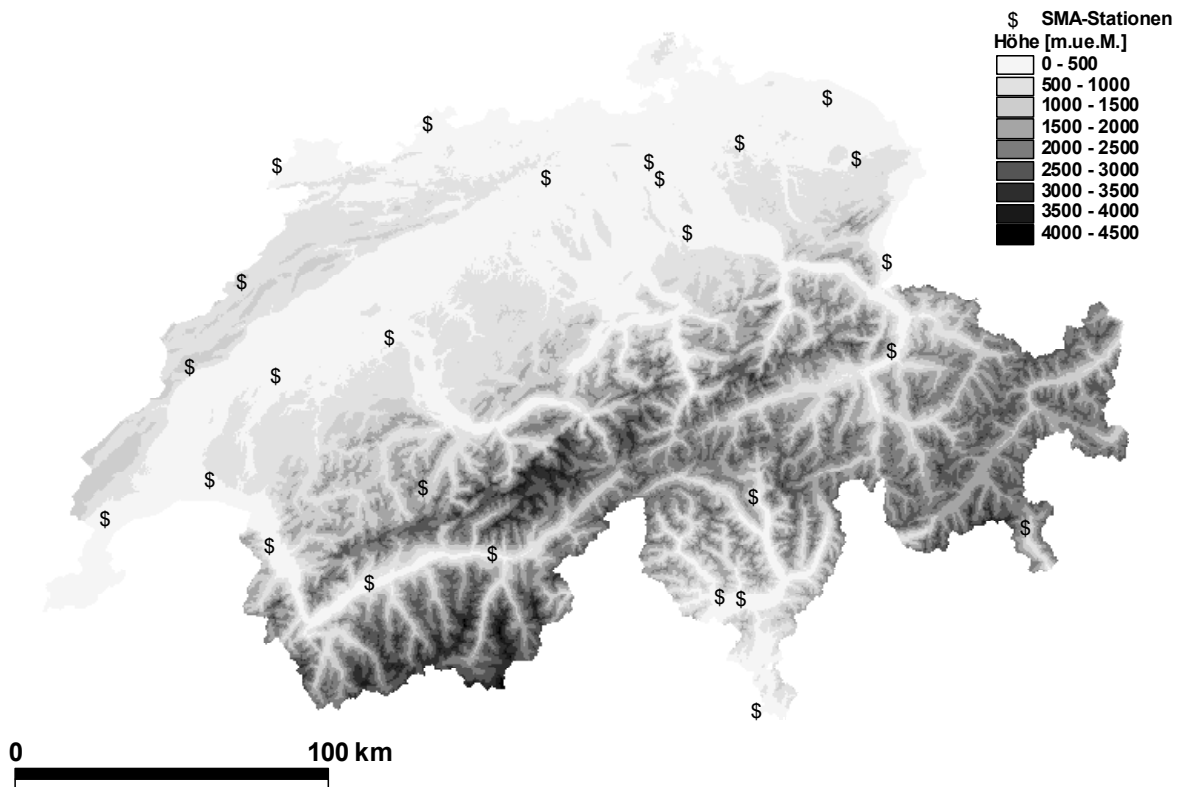
2.1 UNTERSUCHUNG DER REGIONALER OBERFLÄCHENTEMPERATURVERTEILUNG

2.1.1 Einleitung

Ein Ziel des Projektes ist die Produktivitätsbestimmung von EWS-Anlagen bei unterschiedlichen Standorteffekten. Hier ist in erster Linie die Temperatur an der Erdoberfläche zu nennen, die auf den Temperaturverlauf der ungestörten Gesteinsinformation einen nicht zu unterschätzenden Einfluss ausübt. So kann man mit guter Näherung entlang der Länge einer untiefen EWS-Anlage annehmen, dass eine Änderung der Oberflächentemperatur einer gleich grossen Änderung der Untergrundtemperatur entspricht. Die Oberflächentemperatur kann aufgrund des Einfluss der Vegetation, der Besiedlung, der Höhenlage und der Hangorientierung variieren. Bis anhin existiert für das Schweizer Mittelland keine Datensammlung. Deshalb sollen in einem ersten Schritt Oberflächentemperaturdaten gesammelt und analysiert werden. Die Bearbeitung dieses Themas bildete den Schwerpunkt der Arbeit im vergangenen Jahr.

2.1.2 Vorhandene Daten

Die Schweiz verfügt über ein feines Netz von meteorologischen Stationen. An 28 dieser Messstationen werden in einer Tiefe von –5 cm Temperaturmessungen durchgeführt (Figur 1). Messungen direkt an der Erdoberfläche existieren praktisch nicht, da es hier sehr schwierig unter einheitliche, mit anderen Stationen vergleichbaren Bedingungen zu messen^[1]. Für die Analysen wurden deshalb Temperaturmessungen in –5 cm Tiefe verwendet. Diese werden nachfolgend stets Oberflächentemperaturen genannt. Als Vergleich werden zudem Lufttemperaturen, gemessen in einer Höhe von 2 m über Boden, aufgeführt



Figur 1: Räumliche Verteilung der verwendeten meteorologischen Stationen.

2.1.3 Höhenabhängigkeit

Die Oberflächentemperatur ist in erster Näherung linear von der Höhe abhängig. Figur 2 zeigt die an SMA-Stationen gemessenen, mittleren jährlichen Oberflächen- und Lufttemperaturen als Funktion der Höhe. Die Oberflächentemperatur ist stets höher als die Lufttemperatur und nimmt mit der Höhe weniger schnell ab.

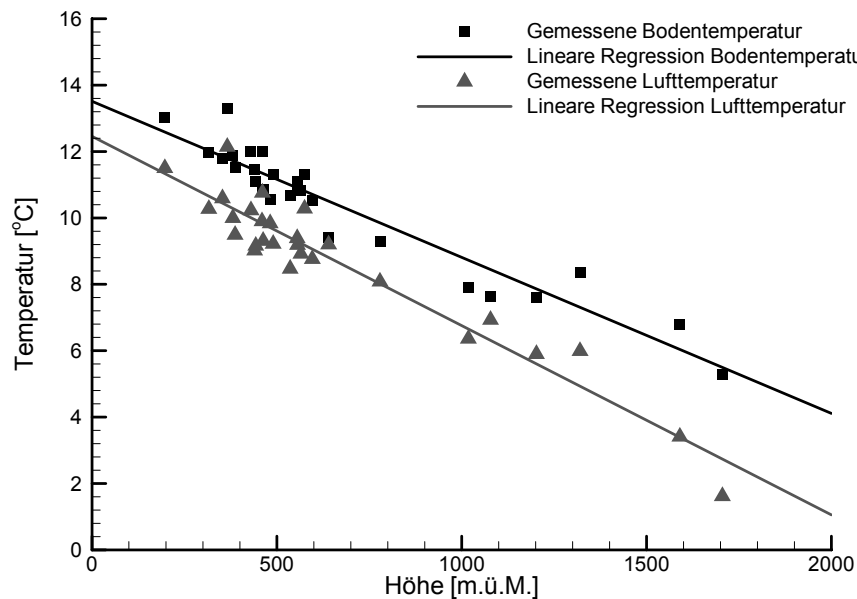
Durch lineare Regression ergab sich folgende Beziehung zwischen Oberflächentemperatur T_s [°C] und Höhe h [m]:

$$T_s = 13.51 - 0.0047 \cdot h \quad (1)$$

Die mittlere Abweichung von der Regressionslinie beträgt 0.45 °C und die maximale liegt bei 1.51 °C. Mit einem Bestimmtheitsgrad von 0.90 bildet die lineare Regression eine sehr gute Annäherung an die Messwerte. Die Streuung der Messdaten um den linearen Fit ist nicht erstaunlich, wenn man die unterschiedlichen Messorte und die möglichen Einflussparameter bedenkt.

Aus Figur 2 wurde zudem die Differenz zwischen mittlerer Oberflächen- und Lufttemperatur $\Delta T_{s/L}$ [°C] als Funktion der Höhe h [m] abgeleitet.

$$\Delta T_{s/L} = 0.001 \cdot h + 1.06 \quad (2)$$



Figur 2: Vergleich der mittleren jährlichen Oberflächen- und Lufttemperaturen gemessen an den SMA-Stationen.

2.1.4 Einfluss der Strahlung

Mehrere Studien^{[2],[3]} zeigen, dass die Temperaturabweichung eines Messwerts vom linearen Trend ΔT proportional zur Abweichung des lokalen Strahlungswerts vom durchschnittlichen jährlichen Wertes einer Region ΔR ist. Es gilt:

$$\Delta T = k \cdot \Delta R \quad (2)$$

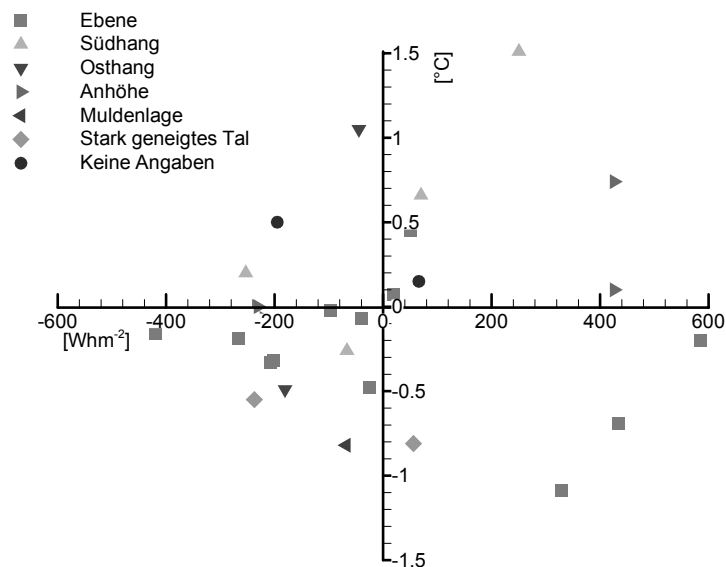
wobei k eine Konstante ist.

Die Strahlung ist ihrerseits von der Hangneigung und –orientierung abhängig und wird an den meisten SMA-Stationen routinemässig aufgezeichnet (Globalstrahlung in Whm^{-2}).

In Figur 3 ist die Differenz vom linearen Trend ΔT (gemäss Gleichung 1) als Funktion der unterscheidendlichen Menge an Globalstrahlung ΔR dargestellt. Theoretisch müssten alle Orte mit gleicher Exposition das gleiche Verhalten aufweisen. So sollte z.B. auf Südhänge mehr Strahlung einfallen, woraus eine höhere Oberflächentemperatur resultiert als anhand des linearen Trends erwartet. In Figur 3 ist jedoch keine Abhängigkeit von der Exposition eines Ortes zu erkennen. Südhänge sind zwar tendenzielle eher wärmer, erfahren jedoch nicht durchwegs mehr Sonneneinstrahlung als die anderen Messstationen. Leider liegen nur wenig exponierte Messorte vor (z.B. nur vier Südhänge). Weitere Messwerte sollten deshalb in die Betrachtung einbezogen werden. Doch müssen dies Messungen aus langen Zeitreihen sein, damit kurzzeitige meteorologische Bedingungen nicht ein falsche Bild erzeugen. Zu bemerken gilt es jedoch, dass eine mittlere Abweichung vom linearen Trend von 0.45 °C (Kapitel 2.1.3) äusserst gering ist. Die Oberflächentemperaturwerte sind somit durch den linearen, höhenabhängigen Ansatz bereits sehr gut angenähert.

Figur 3 lässt den Schluss zu, dass die Begebenheiten in der Schweiz viel komplexer sind, als dass sie mit dem einfachen linearen Ansatz nach Gleichung 2 beschrieben werden könnten. In der Schweiz können meteorologische Bedingungen lokal stark variieren. Es gibt in der Schweiz Gebiete mit unterschiedlich vielen Bewölkungstagen. So muss nicht zwangsläufig ein Südhang we-

sentlich mehr Strahlung erhalten und deshalb eine höhere Oberflächentemperatur aufweisen als ein anderer Ort.



Figur 3: Die Differenz vom linearen Trend ΔT ist als Funktion der unterscheidendlichen Menge an Globalstrahlung ΔR dargestellt. Es ist keine Abhängigkeit von der Exposition zu erkennen (siehe Text).

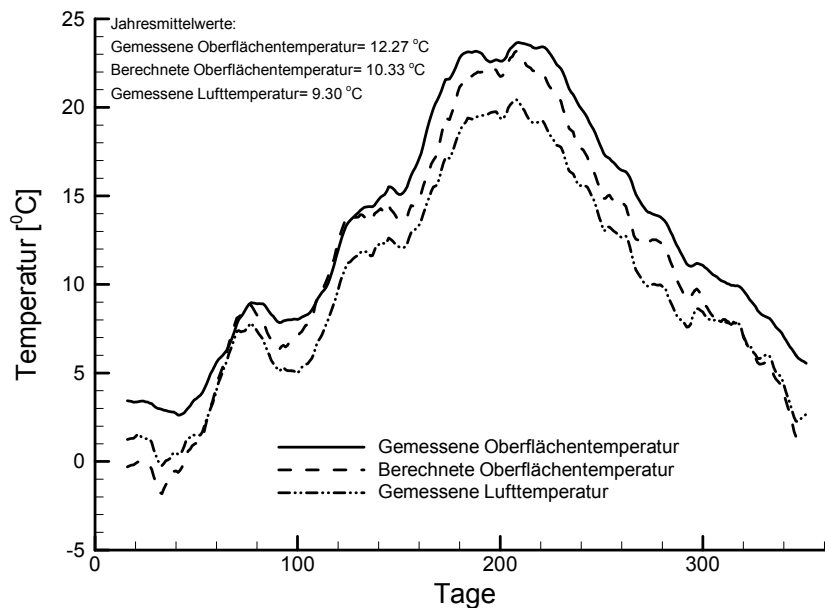
2.1.5 Energiebilanzierung

Neben der Höhe und der Sonneneinstrahlung ist die Oberflächentemperatur von weiteren wichtigen Faktoren, wie Bodenfeuchte, Vegetationsbedeckung und -höhe abhängig. Die Methode nach Pikul^[4] berücksichtigt alle diese Faktoren. Sie basiert auf der Energiebilanz an der Oberfläche, wobei die Lufttemperatur der relevante Eingabeparameter ist. Neben der Lufttemperatur sind der aerodynamische und der Bestandes-Widerstand wichtige Größen. Die Widerstandsformulierungen sind zwar durch relativ einfache Formeln beschrieben, deren Bestimmung gestaltet sich jedoch äusserst schwierig, da sie stark vom Vegetationsstand beeinflusst sind und somit einen deutlichen Jahresgang aufweisen.

Getestet wird die Methode anhand von Daten aus einem sehr umfangreichen Messprogramm in Rietholzbach^[5]. Hier liegen alle modellrelevanten Parameter vor.

Figur 4 zeigt die gemessenen Luft- und Oberflächentemperaturen im Vergleich mit den berechneten Oberflächentemperaturen. Wintermonate werden wesentlich schlechter simuliert als Sommermonate. Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Winter eine Schneebedeckung vorhanden ist, die den Boden thermisch von der Luft trennt. Die Lufttemperatur ist dann nicht mehr mit dem Ansatz nach Pikul^[4] auf die Oberflächentemperatur übertragbar.

Zukünftigen EWS-Anlagen werden zudem mehrheitlich in besiedeltem Gebiet liegen werden. Der aerodynamische und der Bestandes-Widerstand sind Parameter von Pflanzen und für Siedlungsgebiet gibt es für sie nur eine grobe Abschätzung. Korrekte Inputparameter für einen beliebigen Ort zu finden, ist deshalb äusserst schwierig und der Ansatz nach Pikul^[4] ist somit nicht für beliebige Orte anwendbar.



Figur 4: Vergleich der gemessenen Luft- und Oberflächentemperaturen und der modellierten Oberflächentemperaturen für das Messgebiet Rietholzbach.

2.1.6 Flächendeckende Lufttemperaturen

In der Schweiz existieren keine flächendeckende Modellierung der Oberflächentemperatur, für die Lufttemperatur wurde dies hingegen bereits mehrfach durchgeführt. Im folgenden werden zwei Modelle diskutiert:

- 1) In der Praxis wird zur Bestimmung von Lufttemperatur meist das kommerziell erhältliche Programm *Meteonorm*^[6] verwendet. Dieses Programm wurde als umfassendes, klimatologisches Grundlagenwerk zur Sonnenenergienutzung entwickelt. Es werden regionale, höhenabhängigen Temperaturgradienten verwendet und eine empirische Expositions Korrektur durchgeführt.
- 2) Am Institut für Atmosphären- und Klimaforschung der ETH Zürich hat Z'graggen^[7] für ein 250 m Grid mittels Kriging Lufttemperaturen für die ganze Schweiz berechnet. Dazu wurden regionale, höhenabhängigen Temperaturgradienten verwendet und der Einfluss von Exposition und Kaltluftseen berücksichtigt.

Mit diesen beiden Methoden kann an einem beliebigen Ort die Lufttemperatur bestimmt und in Oberflächentemperaturen (Gleichung 2) umgerechnet werden. Dieser Möglichkeit soll nachfolgend getestet werden. Da sowohl die Lufttemperaturmodelle als auch die bestimmte Beziehung zwischen Luft- und Oberflächentemperatur (Figur 2) auf den SMA-Daten beruhen, ist eine Überprüfung dieses Ansatzes mit unabhängigen Daten nötig. Dazu wurden von zwei Schweizerischen Forschungsinstituten (Siehe Kapitel 3) Messdaten von drei Standorten (Basel - Lange Erlen, Gempen und Rietholzbach) zur Verfügung gestellt.

Tabelle 1 zeigt die Resultate der Umrechnungen. Als Vergleich ist zudem die Berechnung basierend auf dem linearen, höhenabhängigen Ansatz (Gleichung 1) aufgeführt. Alle Methoden unterschätzen die Oberflächentemperatur leicht. Der einfache lineare, höhenabhängige Ansatz liefert für alle Messort sehr gute Resultate. Auch die Methode, Lufttemperaturen auf Oberflächentemperaturen zu korrigieren, nähert die Messwerte gut an. Lediglich die Methode basierend auf den Lufttemperaturdaten von Z'graggen^[6] liefert für die Station Basel - Lange Erlen eine relativ grosse Abweichung.

Anhand der abgeleiteten Beziehung zwischen Luft- und Oberflächentemperatur und einer Lufttemperaturkarte kann also auf einfache Art die Oberflächentemperatur an einem beliebigen Ort bestimmt werden. Um jedoch mehr über die Güte dieser Methode aussagen zu können, sind Tests an weiteren Standorten nötig. Für diese Tests sind jedoch Daten aus Langzeituntersuchungen nötig, damit kurzzeitige meteorologische Effekte (z.B. überdurchschnittlich warme Sommer) ausgeglichen werden.

Tabelle 1: Vergleich der verschiedenen Methoden. Aufgelistet ist die Abweichung der berechneten von der gemessene Oberflächentemperatur und die mittlere Abweichung jeder Einzelnen in °C.

Ort	Linear - höhenabhängig	Meteonorm ^[7]	Z'graggen ^[6]
Basel - Lange Erlen	-0.91	-0.70	-1.94
Rietholzbach	-0.21	-0.58	-0.29
Gempen	-0.08	-0.38	-0.03
Mittelwert	-0.40	-0.56	-0.73

2.2 BETRIEBSDATEN VON EWS-ANLAGEN

2.2.1 Einleitung

Zur Produktivitätserfassung und Optimierung sind Betriebsdaten von bestehenden EWS-Anlagen nötig. Solche Daten bilden die Grundlage für die spätere Optimierung mittels numerischen Simulationen. Es wurden deshalb Daten bestehender EWS-Systeme zusammengetragen und einer ersten Sichtung unterzogen.

Um das Verhalten der Erdwärmesondenseite analysieren und simulieren zu können, sind folgende Daten nötig:

- Geometrie der Sonde
- Ein- und Austrittstemperatur der Sole
- Durchfluss in der Sonde oder Entzugleistung
- Eigenschaften Sole
- Laufzeit: Ein-/Abschalten
- Geologie
- Ungestörtes Temperaturprofil

2.2.2 Analyse bestehender Daten

Es existieren einige EWS-Anlagen, deren Betriebsdaten aufgezeichnet wurden. Sie stammen jedoch meist aus Projekten mit anderen Zielsetzung. Oft ist dabei das Verhalten des Untergrundes während des Betriebes nicht von Interesse und es wurden nicht alle für die Erdwärmesondenseite relevanten Daten erhoben. Aber auch Daten, die zur Analyse der Erdwärmesondenseite aufgenommen wurden, sind oft nicht vollständig. So fehlen häufig Temperaturprofile, die die Temperaturverteilung im ungestörten Untergrund dokumentieren. Aber genau solche Temperaturmessungen sind wichtig, um die Auswirkungen einer Erdwärmesonde auf die thermischen Verhältnisse im Untergrund zu untersuchen. Die Sichtung der Daten hat zudem gezeigt, dass die einzelnen Datensätze von unterschiedlicher Qualität sind und ein gutes Messkonzept sehr wichtig ist.

Bis anhin existiert nur ein kompletter Datensatz. Dieser stammt von der Anlage Elgg^[9]. Der Nachteil dieser Anlage besteht jedoch darin, dass es sich hier um eine Koaxialsonde handelt. Ein sol-

cher Sondentyp wird heutzutage für Anlage der untiefen Geothermie, wie wir sie hier untersuchen, nicht mehr verwendet.

2.2.3 Eigene Messungen

Da keine idealen Daten von Erdwärmesondenanlagen existieren, werden im Winterhalbjahr 2001/2002 eigene Messungen durchgeführt. Zwei Anlagen werden ausgemessen:

Die eine Anlage steht in Arnegg (SG). Es handelt sich dabei um eine einzelne, 265 m tiefe Erdwärmesonde, die bereits gut dokumentiert ist^[8]. Diese Anlage steht kurz vor Inbetriebnahme. Hier kann ein genau auf unsere Bedürfnisse abgestimmtes Messprogramm durchgeführt werden. Die Betriebsdaten dieser Anlage bildet die Grundlage aller geplanten Modellierungen.

Neben der Analyse des Betriebsverhaltens einer Einzelerdwärmesonde sollen auch Erdwärmesondenkonfigurationen untersucht werden. Zu diesem Zweck wird eine Anlage mit sechs Sonden in Horgen (ZH) ausgemessen. Da es sich um eine „kommerzielle“ Anlage handelt, sind keine individuellen Anpassungen möglich. So wird mit einem konstanten Messintervall gearbeitet. Dies kann zu Folge haben, dass das Anfahren der Anlage beim Einschalten der Wärmepumpe nicht erfasst wird und dafür Daten aufgezeichnet werden, auch wenn die Anlage gar nicht läuft. Eine exakte Analyse wird hier nicht möglich sein. Als Grundlage für die Simulation von unterschiedlichen Erdwärmesondenkonfigurationen sind die Daten jedoch äusserst wichtig.

2.3 BEGLEITGRUPPENSITZUNG

Das BFE-Teilprojekt **Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge** läuft seit dem 1. Oktober 2001 und wird durch eine Begleitgruppe unterstützt. An der ersten Begleitgruppensitzung vom 19. September 2001 wurden die geplanten Arbeiten mit den Mitglieder dieser Gruppe besprochen und offene Fragen diskutiert.

3 Nationale Zusammenarbeit

Um eine praxisorientierte und fundierte theoretische Durchführung zu gewährleisten, wird diese Projekt am Institut für Geophysik der ETH Zürich und an der NOK gemeinsam durchgeführt. Am Institut für Geophysik werden die theoretischen Arbeiten über das Verhalten von thermischen Transportprozessen im Untergrund durchgeführt und an der NOK die Betriebsoptimierung der Erdwärmesonden.

Für die Untersuchung der regionalen Oberflächentemperaturverteilung wird eng mit dem Institut für Atmosphäre- und Klimaforschung der ETH Zürich zusammengearbeitet. Neben fachlicher Beratung und dem Bereitstellen von Messdaten wurde auch Software^[5] zur Berechnung von Energiebilanzen zur Verfügung gestellt. Weiter wurden vom Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung der Universität Basel wichtige Messdaten geliefert.

Das BFE-Teilprojekt **Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge** wird in enger Zusammenarbeit mit der Privatindustrie durchgeführt. So wird bei der Analyse und Validierung des EWS-Programms mit Herr Arthur Huber (Huber Energietechnik) zusammengearbeitet. Herr Ernst Rohner (Engeo AG) stellt seine Hilfe bei der Umsetzung des Messprogramms und bei der Registrierung von EWS-Betriebsdaten zur Verfügung. Für die genaue Modellierung der Wärmepumpenseite ist die Benutzung des Programms *WPcalc*^[11] geplant. Hier ist eine Zusammenarbeit mit Herr Stefan Albrecht (Albrecht Informatik) vorgesehen.

Zusammen mit dem Elektrizitätswerk des Kantons Zürich (EKZ) wird in Horgen (ZH) eine EWS-Anlage mit sechs Sonden ausgemessen. Diese Daten werden für die Untersuchung des Verhaltens von EWS-Konfigurationen benötigt.

4 Internationale Zusammenarbeit

In diesem Jahr fand keine internationale Zusammenarbeit statt. Im nächsten Jahr sind jedoch internationale Kontakte vorgesehen.

5 Bewertung 2001 und Ausblick 2002

Der Schwerpunkt der Arbeit im vergangenen Jahr lag in der Untersuchung der Oberflächentemperaturverteilung. Die Oberflächentemperatur ist durch viele Effekte wie Höhe, Hanglage oder Vegetation beeinflusst. Nach eingehenden Nachforschungen konnte eine umfangreiche Datensammlung von Oberflächentemperaturen zusammengetragen werden (SMA, Institut für Atmosphäre- und Klimaforschung der ETH Zürich, Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung der Universität Basel). Es gelang eine einfache und in der Praxis leicht anwendbare Methode zur Bestimmung der Oberflächentemperatur herzuleiten. Komplexere Ansätze (Berücksichtigung von Strahlungseinflüssen, Bodenfeuchte, Vegetationsbedeckung und -höhe) erzielten keine Verbesserung. Unsere Resultate werden nächstes Jahr in einer internationalen Fachzeitschrift publiziert.

Die im Projektantrag ursprünglich vorgesehene Durchführung von eigenen Oberflächentemperaturmessungen wird aufgrund der vorhandenen Datenfülle nicht durchgeführt. Es erwies sich ausserdem als problematisch Daten aus kurzen Messreihen mit solchen aus langen zu vergleichen.

Unsere Untersuchungen bezüglich Oberflächentemperaturverteilung fanden grosse Interesse in Schweizer Fachkreisen (Schweizerische Meteorologische Anstalt, Institut für Atmosphäre- und Klimaforschung der ETH Zürich, Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich, Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung der Universität Basel). Die Resultate wurden zudem im Rahmen des Fifth International Workshop on Heat Flow and the Structure of the Lithosphere (2001) in Kostelec (Tschechien) präsentiert. Es ist geplant, durch verstärkten Kontakt mit auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten unsere Erkenntnisse weiter zu diskutieren. Durch Umschichtung im Rahmen des PSEL-Budgets können diese Kontakte finanziert werden.

Da keine geeigneten Betriebsdaten bestehen, werden im Winterhalbjahr 2001/2002 eigenen Messungen an zwei Anlagen durchgeführt. Diese Daten bilden die Basis für die spätere Betriebsoptimierung von EWS-Anlagen durch numerische Simulation.

Durch die Begleitgruppe des BFE-Projekts **Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge** ist diese Arbeit auf nationaler Ebene breit abgestützt. Ausserdem bietet diese Gremium die Möglichkeit zur Zusammenarbeit unter den auf diesem Gebiet tätigen Personen.

Für das zweite Projektjahr sind vor allem Arbeiten im Bereich der theoretischen Entwicklung von EDV basierten Systemen und bei der Optimierung von EWS Systemen durch Computersimulation geplant. So soll ein Tool entwickelt werden, das die Erstellung von Modellgitter zur Simulation von EWS-Anlagen erleichtert. Zudem soll eine Systemoptimierung bezüglich der Sondenlänge, der Bohrkosten und des Druckverlustes und eine Validierung des Programms EWS durchgeführt werden. Als Letztes soll die Bilanzierung der einzelnen Energieströme im Untergrund erstellt werden.

6 Referenzen

- [1] C. Defila, J. Brändli, 1989, Bodentemperaturen und Verdunstung, 1951 – 1985. Klimatologie der Schweiz Heft 28 P. Beiheft zu den Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt (Jahrgang 1986).
- [2] D.D. Blackwell, J.L. Steele, C.A. Brott, 1980: The terrain effect on terrestrial heat flow. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 85, No. B9, p. 4757 – 4772.
- [3] J. Safanda, 1999: Ground surface temperature as a function of slope angle and slope orientation and its effect on the subsurface temperature field. *Tectonophysics* 306, p. 367 – 375.
- [4] Pikul, J.L. JR., 1991: Estimating soil surface temperature from meteorological data. *Soil Science*, Vol. 151, No. 3, p. 187 – 195.
- [5] J. Gurtz, A. Baltensweiler, H. Lang, L. Menzel, J. Schulla, 1997: Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins. Projektabschlussbericht im Rahmen des NFP31: "Klimaänderungen und Naturkatastrophen", vdf, Hochschulverlag AG ETH Zürich, 159 S.
- [6] Meteotest AG/BFE, 1997: METEONORM – Global meteorological database for solar energy and applied climatology. Software and data on CD-ROM, version 3.0, Edition 1997.
- [7] L. Z'graggen, 2001: Strahlungsbilanz der Schweiz. Dissertation ETH Zürich. In press.
- [8] E. Rohner, 2000: Lebensdauer von Erdwärmesonden in Bezug auf Druckverhältnisse und Hinterfüllung. Bundesamt für Energie(BFE), Bern.
- [9] W. J. Eugster: Erdwärmesonden – Funktionsweise und Wechselwirkung mit dem geologischen Untergrund. Dissertation ETH Nr. 9524, 1991.
- [10] M. Stalder, A. Huber, S. Albrecht, 2001: Erweiterung des Programms WPcalc mit dem Berechnungsmodul für Erdwärmesonden EWS. Schlussbericht. Bundesamt für Energie (BFE), Bern.