

Langzeitmonitoring von geotechnischen Bauwerken Temperaturentwicklung in Tagebaukippen und Aschedepots

Long-Term Monitoring of Geotechnical Constructions Temperature Monitoring in Dumps and Ash Depots

Dr. Stephan Großwig, Prof. Dr. Eckart Hurtig, GESO GmbH, Jena
Dipl.-Ing. Günter Schollbach, Vattenfall Europe Mining AG

ZUSAMMENFASSUNG: Zur Erfassung von Prozessabläufen in Kippen bei ansteigendem Grundwasserspiegel und zur Überwachung der Temperaturentwicklung bei Reaktionsabläufen im Innern von Deponiekörpern und Aschedepots wurde das faseroptische Temperaturmessverfahren eingesetzt. Die Messungen erfolgten über einen Zeitraum von mehreren Jahren und werden z.T. noch weiter fortgesetzt. Die Ergebnisse im ehemaligen Tagebau Cospuden zeigen, dass sich exotherme Reaktionen in Kippen in Zusammenhang mit dem Wiederanstieg des Grundwasser nachweisen lassen. Mit dem Langzeitmonitoring in dem Aschedepot im Tagebau Nochten der Vattenfall Europe Mining AG, das als Landschaftsbauwerk "Spreyer Höhe" der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft dient, konnte der Verlauf der Temperaturentwicklung in dem Aschekörper erfolgreich über einen Zeitraum von bisher mehr als zwei Jahren erfasst werden.

ABSTRACT: Fibre optic temperature measurements have been performed to detect and monitor reactions in dumps caused by the ascending ground water and to monitor the temperature development in ash dumps. The measurements were done over a time period of some years and are partly continued. In a dump of the former open cast lignite mine Cospuden the temperature data proved exothermic reactions which are connected with the ascending ground water level. In the REA ash dump in the open cast mine Nochten of the Vattenfall Europe Mining AG which is as the countryside structure "Spreyer Höhe" part of the rehabilitation of the lignite mining district the temperature changes with time are determined over a time period of more than two years. The results show a depth dependent decrease of the initial temperature.

1 Einleitung

Im Geo- und Umweltbereich ist die Raum-Zeitverteilung der Temperatur ein wichtiger Parameter, um natürliche und anthropogen bzw. technogen beeinflusste Prozessabläufe zu erfassen, zu untersuchen und langfristig zu überwachen. Die Temperatur ist ein natürlicher, absolut umweltverträglicher Tracer. Geotechnische Bauwerke umfassen ein sehr breites Spektrum von Anlagen und Konstruktionen wie z.B. Untergrundspeicher, geothermische Anlagen, Wasserbauwerke (Dämme, Deiche, Talsperren, Schlitzwände), Tunnelbauwerke, Schachtanlagen und Bergwerke sowie Halden, Kippen und Deponien. Die Aufgabenstellungen sind sehr unterschiedlich. Typische Fragestellungen sind die Erfassung und Überwachung der Dichtigkeit geotechnischer Bauwerke (z.B. bei Wasserbauwerken, Abdichtungen von Deponien, Verrohrungen in Untergrundspeichern), die Erfassung und Langzeitüberwachung

von Reaktionsabläufen (z.B. im Innern von Deponien, Kippen und Halden) sowie die Gewährleistung, Steuerung und Überwachung der Betriebsführung und Betriebssicherheit (z.B. Brandfrüherkennung in Tunnelanlagen).

Dabei werden ganz neue Anforderungen an die Messtechnik gestellt. Eine zentrale Frage ist der Übergang von der Einzelpunktsensorik zu einer verteilten Sensorik, die eine zeitgleiche Messung der Temperatur entlang großer Strecken, in einer Fläche oder einem Raum mit hoher Orts- und Temperaturlösung ermöglicht. Dabei muss es möglich sein, die Sensorik permanent auch in später nicht mehr zugänglichen Bereichen (z.B. an der Basisabdichtung einer Deponie) zu installieren. Eine weitere Anforderung ist die Möglichkeit, Prozessabläufe in ganz unterschiedlichen Zeitskalen zu erfassen. Typische Zeitskalen sind schnell (Sekunden bis Stunden), mittelfristig (Stunden bis Tage) und langfristig (Monate bis Jahre) ablaufende Änderungen des Temperaturfeldes. Damit ergibt sich die Forderung nach der Langzeitstabilität (z.B. Jahrzehnte) der Sensorik und der Zuleitungen. Mit der Standardmesstechnik sind diese Anforderungen nicht oder nur mit einem sehr hohen Aufwand zu realisieren.

Das faseroptische Temperaturmessverfahren bietet erstmals die Möglichkeit für eine verteilte Temperaturmessung und eröffnet damit ganz neue Möglichkeiten für die Erfassung und Überwachung der Raum-Zeitverteilung der Temperatur.

Ein wichtiges Problem für ein Langzeitmonitoring ist die Erfassung von Prozessabläufen in Kippen bei ansteigendem Grundwasserspiegel. Sanierung und Rekultivierung von Braunkohlengruben sind eng mit einem räumlichen und zeitlichen Verlauf des Wiederanstieges des Grundwassers verbunden. Dabei können chemische und/oder bakterielle Reaktionen eingeleitet oder verändert werden, die für die Bewertung der Entwicklung der Grundwassergüte von wesentlicher Bedeutung sein können. Derartige Reaktionen sind in der Regel exotherm und können somit über die räumlichen und zeitlichen Änderungen des Temperaturfeldes erfasst und überwacht werden. Die Temperatur wird auch durch Veränderung von Strömungsvorgängen und Fließpfaden beim Wiederanstieg des Grundwassers sowie durch den Zufluss von Liegendwasser messbar beeinflusst. Die Temperatur ist somit ein natürlicher, absolut umweltverträglicher Tracer.

Eine weitere Aufgabe für ein Langzeitmonitoring ist die Erfassung und Überwachung der Temperaturentwicklung und von Reaktionsabläufen im Innern von Deponiekörpern und Aschedepots.

Am Beispiel von faseroptischen Temperaturmessungen beim Grundwasserwiederanstieg in Kippen des ehemaligen Tagebaus Coschütz und in dem über dem künftigen Grundwasserspiegel liegenden Aschekörper des Landschaftsbauwerkes "Spreyer Höhe" im Tagebau Nochten der Vattenfall Europe Mining AG sollen die Erfahrungen bei einem Langzeitmonitoring bei Einsatz dieses Messverfahrens dargestellt werden.

2 Methode der faseroptischen Temperaturmessung

Das Verfahren der verteilten faseroptischen Temperaturmessung (DTS) basiert auf der OTDR-Methode (Optical Time Domain Reflectometry). Das Licht eines Impulslasers wird in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt. Bei der Ausbreitung des Laserlichtimpulses wird das Licht an den Molekülen des Lichtwellenleiters gestreut, wobei ein geringer Teil wieder zurückgestreut wird. Das Messprinzip ist in Bild 1 schematisch dargestellt. Die Intensität des rückgestreuten Lichtes ist direkt proportional zur Temperatur. Dabei handelt es sich um die integrale Temperatur für einen kurzen Längenabschnitt des Lichtwellenleiters, aus dem das rückgestreute Licht innerhalb eines bestimmten Zeitfensters stammt. Bei der faseroptischen Temperaturmessung wird also die Messung der Intensität des rückgestreuten Lichtes mit einer Laufzeitmessung des Lichtes in dem Lichtwellenleiter verknüpft. Damit erhält man eine eindeutige Ortszuordnung aller Temperaturwerte. Bei einem Zeitfenster von 10 ns beträgt der

Längenabschnitt, für den die Integraltemperatur bestimmt wird, 1 m. Auf Grund des Messprinzips werden alle Einflüsse, die auf Veränderungen der Lichtquelle oder anderer äußerer Einwirkungen auf den Lichtwellenleiter zurückzuführen sind, mit Ausnahme der Temperatur eliminiert. Das Messprinzip ist bei [1] und [2] näher beschrieben.

Wegen der stets auftretenden Fertigungstoleranzen der optischen Fasern muss zur Anbindung an die absolute Temperaturskala eine Kalibrierung erfolgen, die mit einer gut geeichten Kalibriervorrichtung vorgenommen wird.

Das Temperatursensorkabel ist ein elektrisch völlig passiver Temperatursensor. Elektronische Bauelemente sind entlang des Kabels nicht vorhanden. In dem faseroptischen Temperatursensorkabel können mehrere optische Fasern enthalten sein, so dass bei Bedarf auch integrierte Lichtwellenleiterkabel für

Temperaturmessungen und Datenkommunikation eingesetzt werden können.

Für den Einsatz der faseroptischen Temperaturmesstechnik zur Überwachung von Bohrungen bietet das Verfahren vor allem folgende Vorteile:

- Stationärer Einbau des Messkabels in einer Bohrung, so dass Temperaturmessungen auch nach der Verfüllung der Bohrung möglich sind (Langzeitmonitoring).
- Einfache Installation des Messkabels
- Zeitgleiche Messung der Temperatur über die gesamte Messstrecke des Messkabels mit einer Ortsauflösung von 0,5 m und einer Temperaturentauflösung von $\leq 0,1$ K.
- Keine elektrischen Bauteile oder Baugruppen entlang des Temperatursensorkabels
- Keine Beeinflussung des Temperaturfeldes durch den Messvorgang
- On-line Messungen und Einbindung in eine zentrale Messwerte

3 Messergebnisse

3.1 Temperaturentwicklung in einer Kippe des ehemaligen Tagebaus Cospuden

In der Bohrung Cospuden 1 wurden Langzeitmessungen durchgeführt, um mögliche exotherme Reaktionen im Kippenkörper im Zusammenhang mit dem Wiederanstieg des Grundwassers zu erfassen [3]. Der Grundwasserpegel Cospuden 1 befindet sich auf der Kippe des ehemaligen Tagebaues Cospuden südlich von Leipzig. Die Kippe wurde im unteren Teil als Förderbrückenkippe und im oberen Teil als Absetzerkippe geschüttet. Die Bohrung steht in einer Rinne zwischen zwei Rippen der Förderbrückenkippe. Die Grenze zwischen Förderbrückenkippe und Absetzerkippe liegt im Bereich der Bohrung zwischen 17 m und 18 m unter Flur.

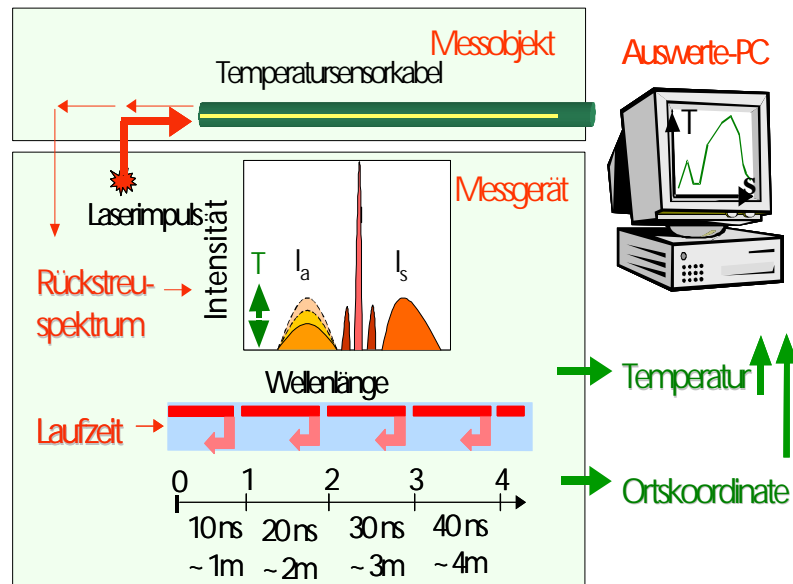


Bild 1: Schematische Darstellung des faseroptischen Messprinzips

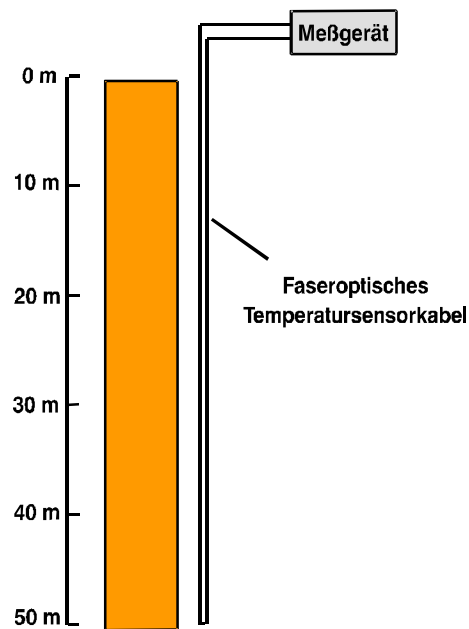


Bild 2: Grundwasserpegel Cospuden 1: Schematische Darstellung der Installation des faseroptischen Temperatursensorkabels

Zusammen mit dem Pegelrohr wurde ein faseroptisches Temperatursensorkabel in dem Ringraum eingebaut (s. Bild 2), so dass die Temperaturentwicklung in der Hinterfüllung des Pegelrohres gemessen werden kann.

Die faseroptische Temperaturmessungen wurden im monatlichen Abstand von Februar 1995 bis Juli 1996 an folgenden Tagen durchgeführt: 23.02., 28.03., 28.04., 29.05., 25.07., 22.08., 22.09., 26.10., 28.11., 13.12.1995, sowie 25.01., 14.03., 11.04., 08.05., 17.06. und 24.07.1996.

Der Wasserspiegel in der Bohrung lag zur Zeit der Messungen bei ca. 13,5 m.

Bild 3 gibt einen Überblick über alle durchgeführten Messungen. Deutlich ist in den obersten Metern der saisonale Einfluss der Oberflächentemperatur zu erkennen. Alle Messkurven zeigen zwischen 10 m und 13 m Tiefe ein deutliches Temperaturmaximum mit Werten bis über 17 °C.

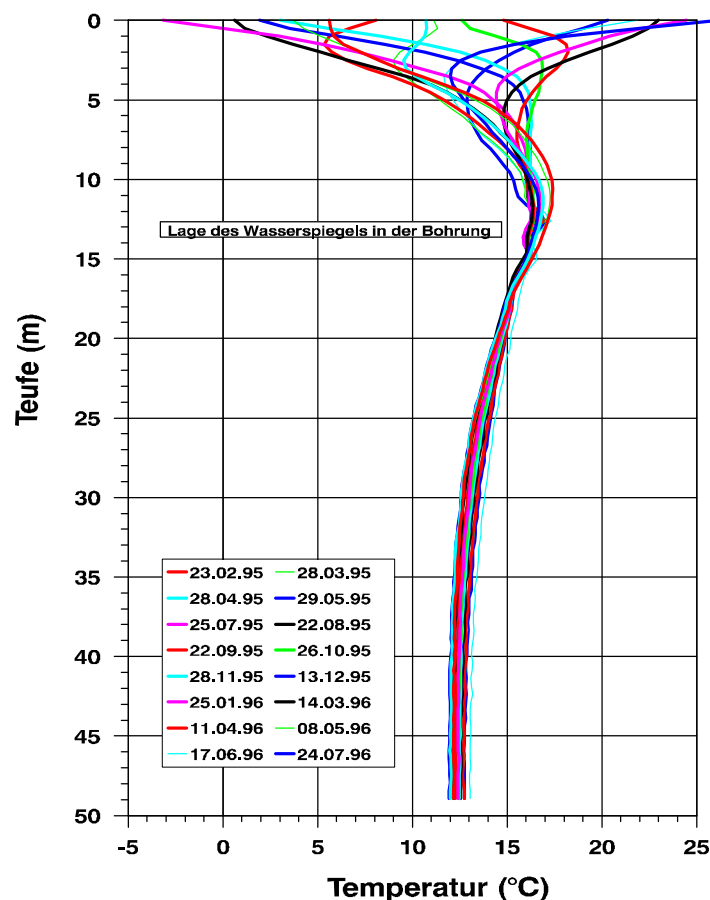


Bild 3: Grundwasserpegel Cospuden 1, Temperatur-Teufen-Verteilung

Bild 4 zeigt die Temperaturgangkurven für die Teufen 6 m, 8 m, 10 m, 15 m, 20 m, 30 m und 40 m für den Zeitraum Februar 1995 bis Juli 1996. In 6 m und 8 m Teufe ist der jahreszeitliche Temperaturgang sehr deutlich. In 8 m Tiefe tritt eine Phasenverschiebung von ca. 6 Monaten auf. Dem jahreszeitlich bedingten Temperaturgang überlagert sich eine systematische Abnahme der Temperatur, die in 8 m Tiefe ca. 1 K und in 10 m Tiefe fast 2 K beträgt. In einer Tiefe von 15 m tritt keine signifikante Änderung der Temperatur auf, während in Teufen ab 20 m die Temperatur während des Messzeitraums systematisch um ca. 1 K ansteigt.

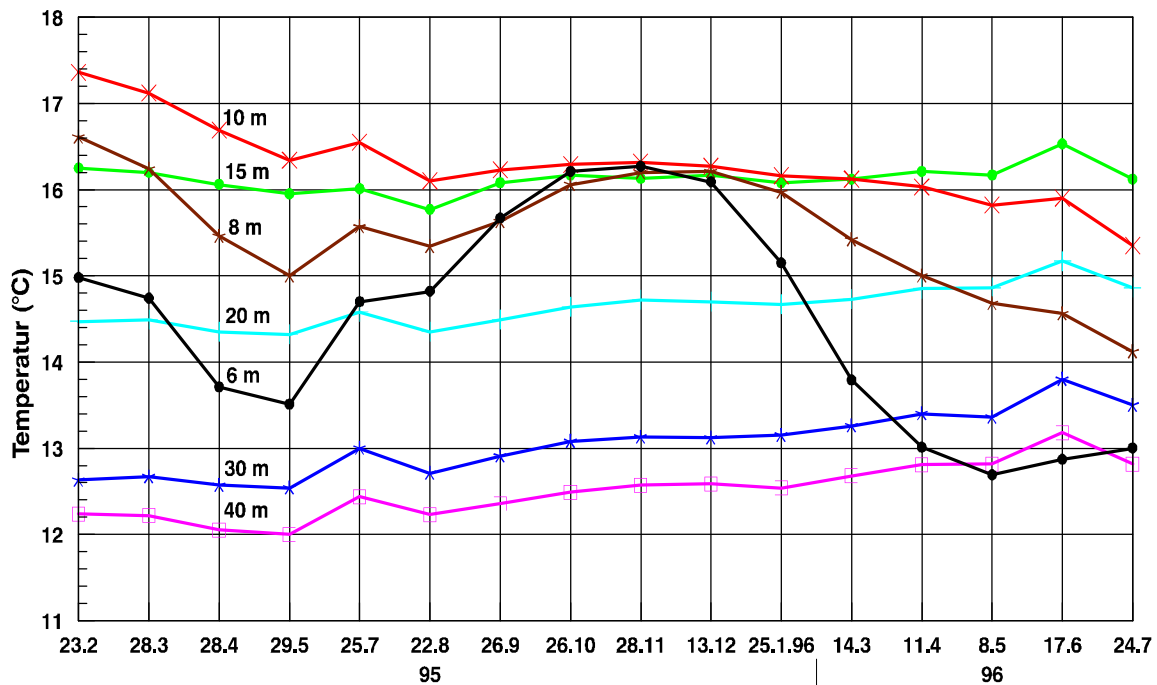
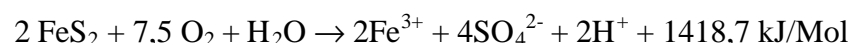


Bild 4: Zeitliche Entwicklung der Temperatur in unterschiedlichen Tiefen von Februar 1995 bis Juli 1996

Die Eindringtiefe der jahreszeitlichen Temperaturschwankungen kann aus der gemessenen saisonalen Temperaturschwankung an der Erdoberfläche und thermischen Stoffparametern berechnet werden. Unter Nutzung dieser theoretischen Temperatur-Tiefenkurven können die Messkurven korrigiert werden, so dass der Einfluss des jahreszeitlichen Temperaturganges eliminiert wird. Man erhält eine Differenzkurve zwischen der Messkurve und der Modellkurve. Treten keinerlei exotherme oder endotherme Prozesse auf, so muss die Differenzkurve Null sein. Abweichungen zeigen, dass die „Normalverteilung“ der Temperatur gestört ist. Aus Bild 5 geht hervor, dass bei den Messungen ein deutliches Maximum der „Resttemperatur“ im Teufenbereich zwischen 10 m und 13 m auftritt. Es kann die Wärmeproduktion errechnet werden, die für die Erklärung der „Resttemperaturverteilung“ erforderlich ist (s. Bild 6) [4]. Im Teufenbereich zwischen 10 m und 13 m ergibt sich eine Wärmeproduktion von über $0,2 \text{ W/m}^3$. Stoffliche Untersuchungen [4] zeigen, dass in diesem Teufenbereich ein sehr hoher org. C-Gehalt mit über 14 Gew. % auftritt. Auch der Sulfidgehalt steigt in diesem Teufenbereich an. Der Hauptanteil der Wärmeproduktion geht auf die Pyritzersetzung zurück.

Für die Pyritumwandlung wurde folgende Beziehung verwandt [4]:



Das Wärmeproduktionsmaximum kann somit vor allem durch die Zersetzung von Sulfiden erklärt werden. Die Erklärung der negativen Wärmeproduktion stößt auf Schwierigkeiten. Denkbar sind schnelle endotherme Fällungsreaktionen (z.B. Sulfat zu Gips) Ebenso wäre ein advektiver Wärmetransport an schräg einfallenden Sickerwasserbahnen denkbar.

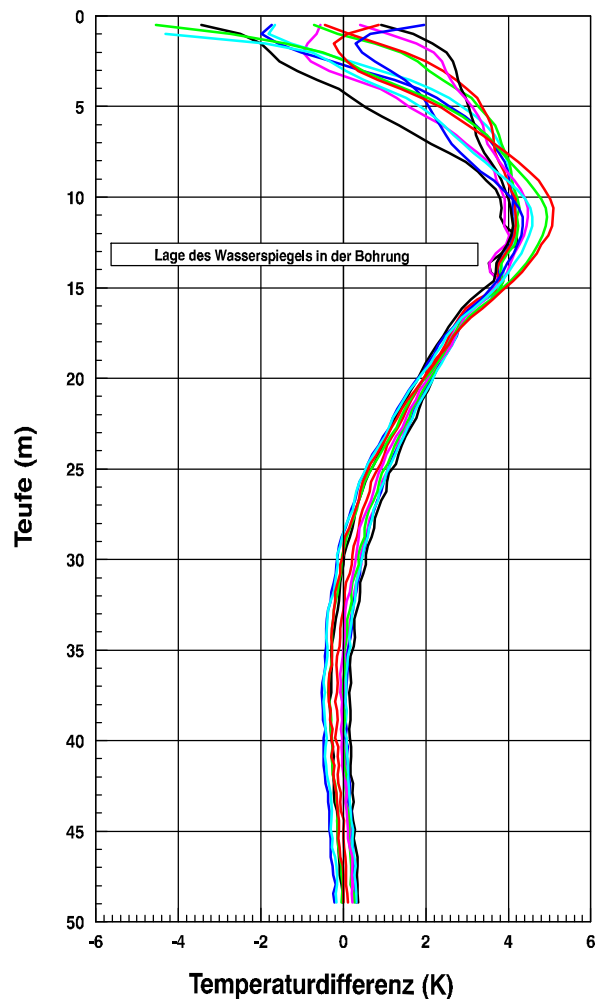


Bild 5: Differenz in K zwischen gemessenen und berechneten Temperaturkurven

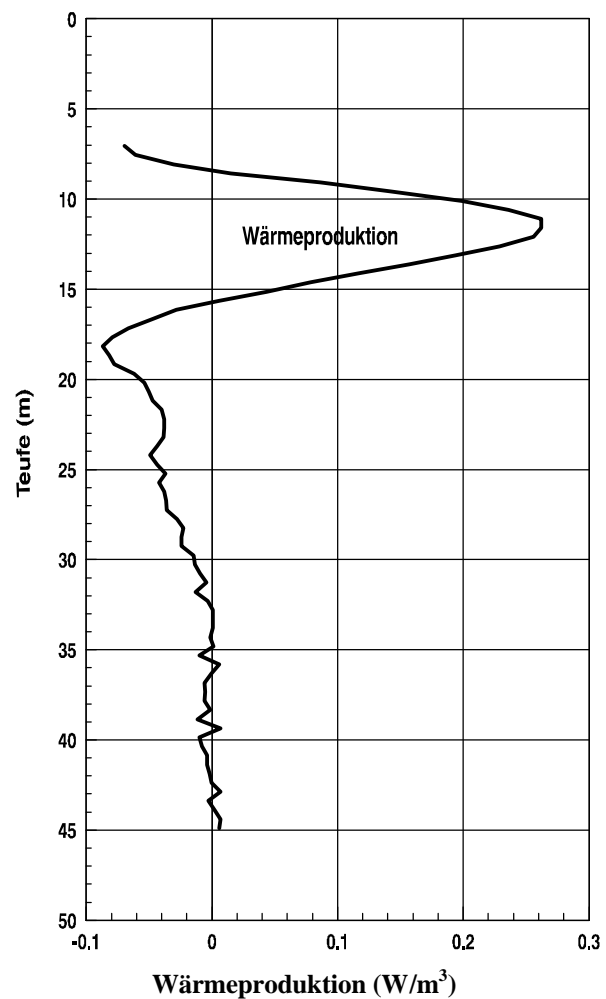


Bild 6: Berechnete Wärmeproduktion in W/m^3

3.2 Das Landschaftsbauwerk "Spreyer Höhe" im Tagebau Nochten

Zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte für Schwefeldioxyd nach der Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) wurden die Großkraftwerke im Lausitzer Braunkohlenrevier mit Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA) nach dem Nassabsorptionsverfahren unter Einsatz von Kalkstein ausgerüstet. Damit fallen neben den Filter- und Kesselaschen auch Prozesswasser aus der Rauchgasreinigung (REA-Wasser) und der Rauchgasgips (REA-Gips) als Produkt an. Der durch umfangreiche technologische Prozesse aufbereitete REA-Gips wird weitestgehend der gipsverarbeitenden Industrie zugeführt.

Nicht sofort verwertbarer Gips und die Aschen werden in Depots eingelagert. Dabei wird das Prozesswasser aus der Rauchgasreinigung (REA-Wasser) bereits im Kraftwerk als notwendiges Befeuchtungswasser der Filterasche zugegeben und in diese eingebunden (REA-Asche). Im Landschaftsbauwerk "Spreyer Höhe" (Depot Nochten) werden die Aschen und der nicht sofort verwertete REA-Gips der Kraftwerke Boxberg und Schwarze Pumpe eingelagert. Bild 7 zeigt den prinzipiellen Aufbau des Depots.

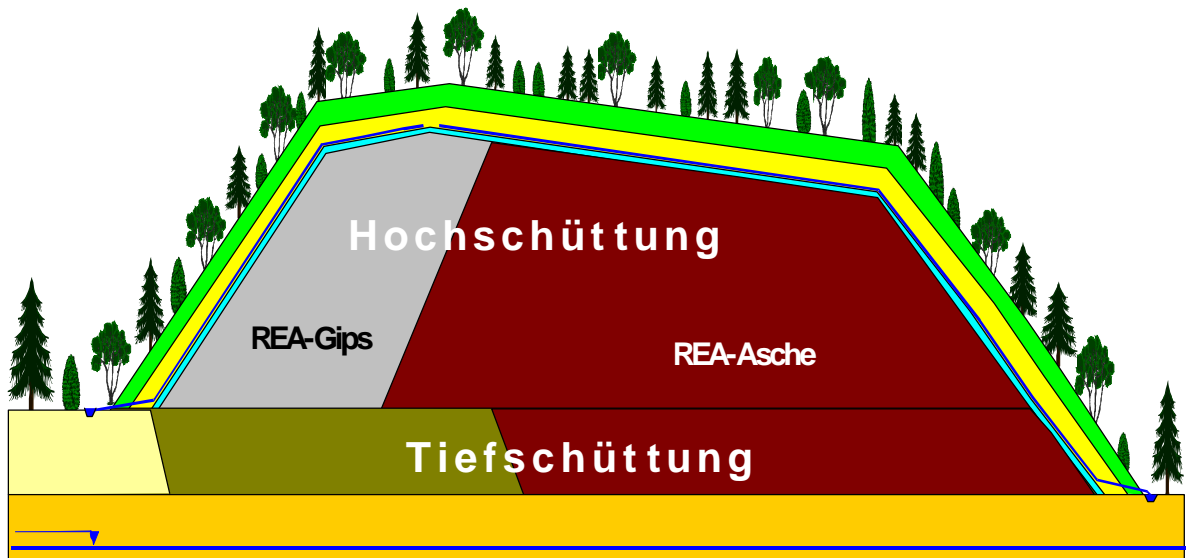


Bild 7 : Schematische Darstellung des Aufbaus des Depots Nochten.

Der Einbau von Asche und Gips in das Depot erfolgt mit einem Absetzer in Hoch- und Tiefschüttung. Die Tiefschüttung besteht aus einer ca. 5 m mächtigen Schicht aus lose geschütteter Filterasche. Darüber wird das Gemisch von Filterasche und REA-Wasser (REA-Asche) eingebaut. Die Mächtigkeit der Hochschüttung beträgt maximal 22 m. Der REA-Gips wird ebenfalls in die Hochschüttung neben der Asche eingebaut. Damit ist bei Bedarf die Rückgewinnung des Gipses möglich. Insgesamt hat das Depot bei einer Fläche von ca. 370 ha eine Einlagerungskapazität von ca. 67 000 kt. Seit der Inbetriebnahme des Depots im Jahr 1995 wurden bis Ende Juli 2003 ca. 7 200 kt Asche und ca. 1 700 kt REA-Gips eingebaut.

Über die Hochschüttung wird eine Oberflächenabdichtung, bestehend aus einer mineralischen Dichtungsschicht aus Ton, einer Entwässerungsschicht und einer Rekultivierungsschicht hergestellt. Nach der forstwirtschaftlichen Rekultivierung der Oberfläche ist das Depot ein landschaftsgestaltendes Element bei der Herstellung einer anspruchsvollen Bergbaufolgelandschaft. Bedingt durch die Wasserzugabe im Kraftwerk und die chemischen Eigenschaften der Aschen treten exotherme Reaktionen auf. Damit haben die Aschen beim Einbau in das Depot noch eine erhebliche Temperatur.

Es wurde daher entschieden, mit einem Langzeitmonitoring die Temperaturentwicklung im Aschekörper zu erfassen. Hierzu bot sich der Einbau des faseroptischen Temperatursensorsystems in zwei Bohrungen an. Dabei musste allerdings gewährleistet sein, dass die Messungen auch durchgeführt werden können, wenn die Bohrungen verfüllt und von der Oberflächenabdichtung überdeckt sind.

Bild 8 zeigt schematisch den Einbau des faseroptischen Temperatursensorsystems. Ziel war es, die Temperaturentwicklung in den beiden Bohrungen KBGD 2 und KBGD 3 zu messen. Die Anordnung wurde daher so gewählt, dass mit einem einzigen Messkabel beide Bohrungen gleichzeitig vermessen werden konnten. Hierzu wurde das Kabel vor Aufbringen der Oberflächenabdichtung ca. 0,5 m tief in der Asche-Hochschüttung verlegt, so dass das Kabel nach Aufbringen der Oberflächenabdichtung in einer Tiefe von ca. 3,6 m unter GOK liegt.

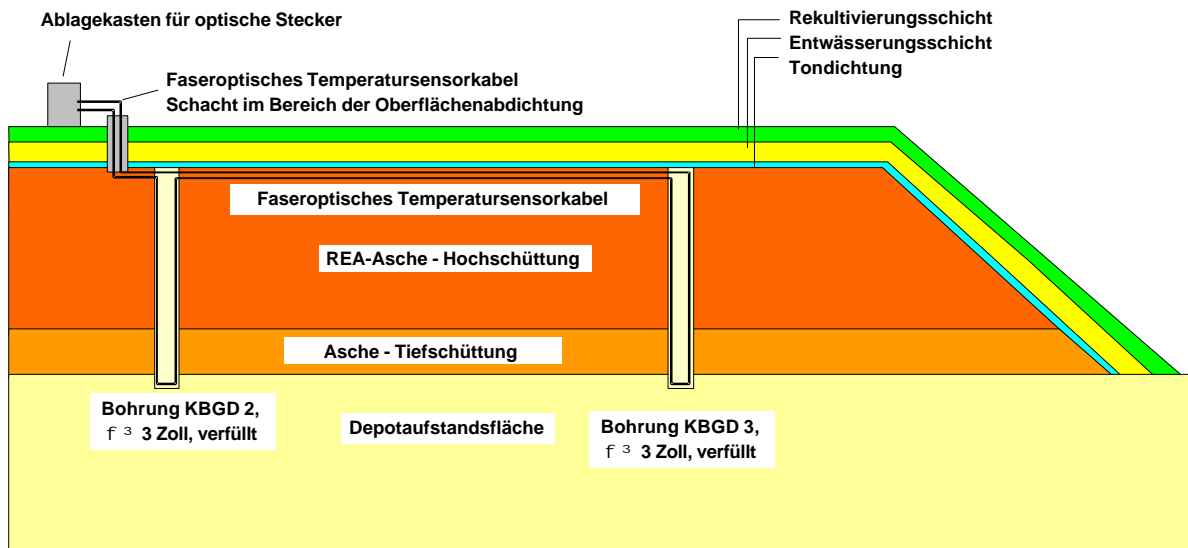


Bild 8: Schematische Darstellung der Verlegung des faseroptischen Temperatursensorkabels

In dem zugänglichen Ablagekasten sind die optischen Stecker untergebracht, so dass zu beliebigen Zeitpunkten die Messapparatur angeschlossen und die Messungen durchgeführt werden können. Damit ist ein Langzeitmonitoring möglich. Von dem Ablagekasten verläuft das Messkabel ca. 300 m horizontal bis zur Bohrung 3 (KBGD 3), als Schleife durch diese Bohrung und dann zurück zur Bohrung 2 (KBGD 2), in der das Kabel ebenfalls als Schleife installiert ist. Von hier geht das Kabel wieder zurück zum Ablagekasten. Alle Teufenangaben beziehen sich auf die GOK vor Aufbringen der Oberflächenabdichtung.

Mit den Messungen sollte die Temperaturentwicklung in der REA-Asche-Hochschüttung bis in die Tiefschüttung hinein erfasst werden. Aus technischen Gründen konnten die Messkabel nicht bis Endteufe eingebaut werden.

Die Messungen wurden in einem zeitlichen Abstand von ca. 2 Monaten seit dem Mai 2001 durchgeführt. Die Bilder 9 und 10 zeigen die Temperaturkurven für alle Messungen seit dem 29.05.2001 in den beiden Bohrungen KBGD 2 und KBGD 3.

Die Messungen verdeutlichen, dass nach der Einlagerung der REA-Asche die Temperatur in dem Aschekörper hoch ist. Innerhalb von 2 Jahren vom Mai 2001 bis zum Juli 2003 nimmt die Temperatur jedoch ständig ab. Allerdings treten zwischen beiden Bohrungen deutliche Unterschiede auf.

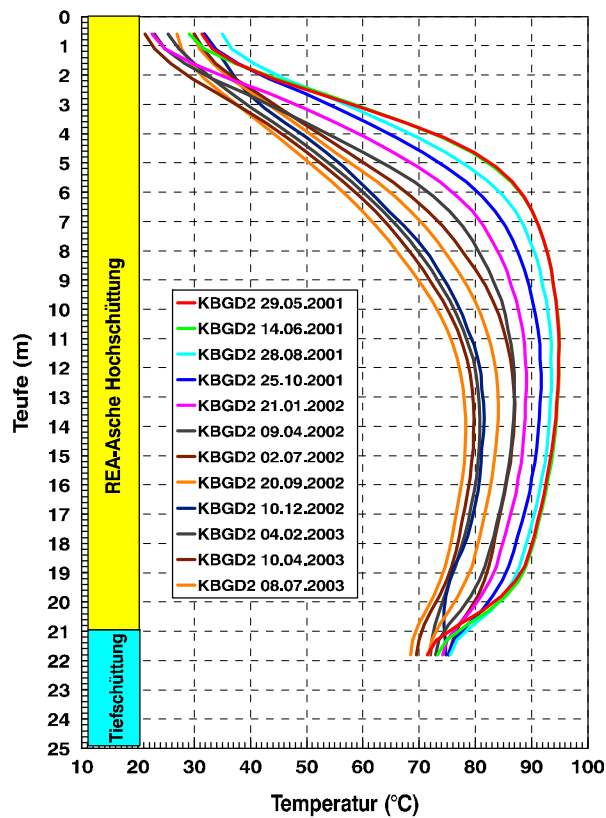


Bild 9: Temperatur-Teufenverteilung
Bohrung KBGD 2.

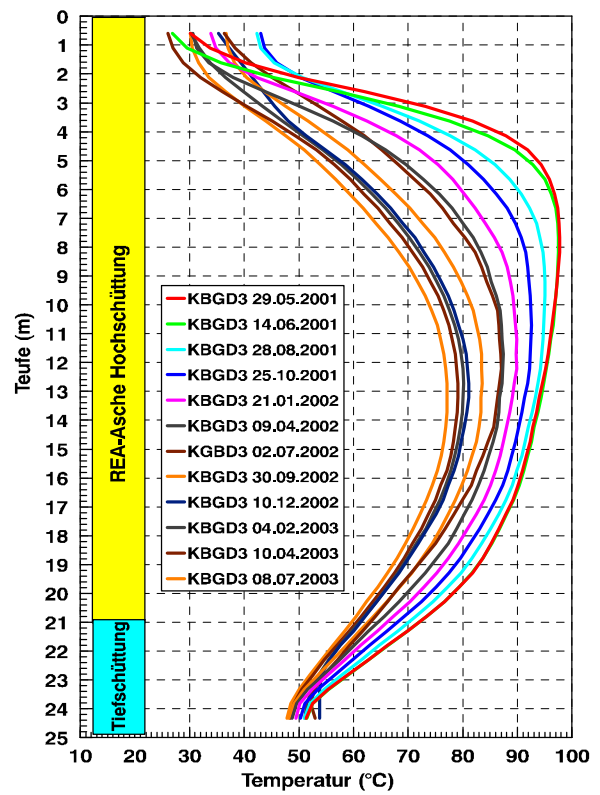


Bild 10: Temperatur-Teufenverteilung
Bohrung KBGD 3.

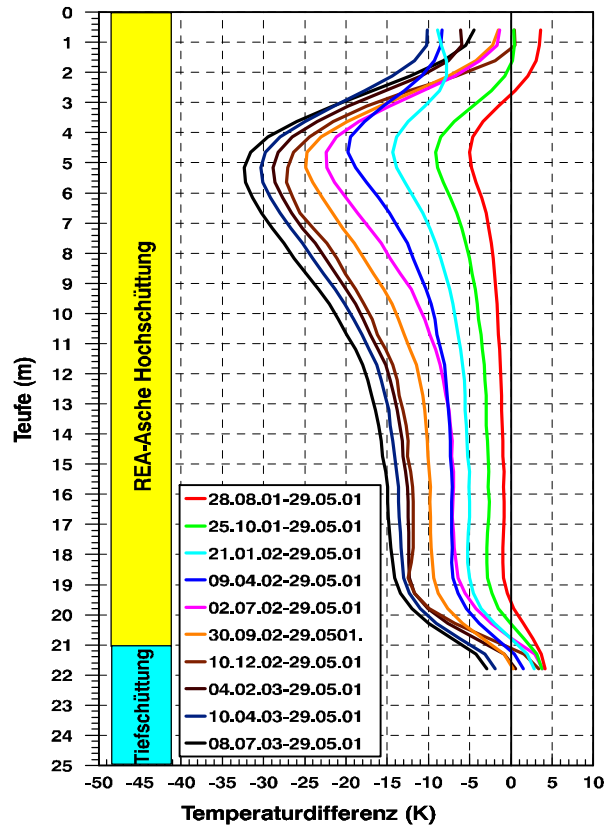


Bild 11: Bohrung KBGD 2. Temperaturdifferenz gegenüber dem 29.05.2001

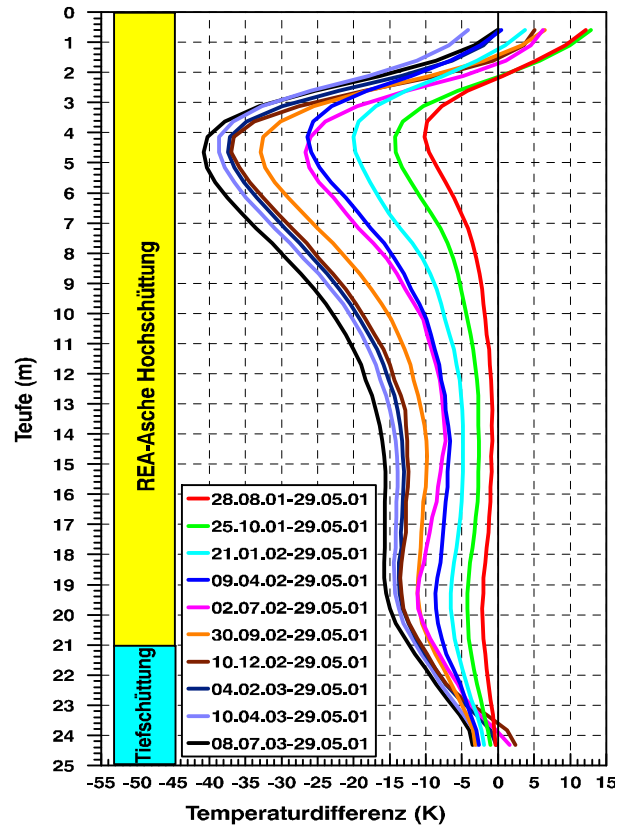


Bild 12: Bohrung KBGD 3. Temperaturdifferenz gegenüber dem 29.05.2001

So ist der Temperaturanstieg mit der Teufe in der Bohrung KBGD 3 bei den ersten Messungen im Jahre 2001 deutlich stärker als in der Bohrung KBGD 2. Auffällig ist auch, dass die Temperatur am Übergang von der Hochschüttung zur Tiefschüttung bei der Bohrung KBGD 2 mit Werten um 70°C (Juli 2003) deutlich höher ist als bei der anderen Bohrung, in der die Temperatur ca. 10°C niedriger ist. Daraus wird deutlich, dass innerhalb des Aschekörpers mit Inhomogenitäten gerechnet werden muss.

Die Bilder 11 und 12 verdeutlichen die Temperaturabnahme. Dargestellt ist die Temperaturdifferenz der einzelnen Messungen gegenüber der Ausgangsmessung am 29.05.2001. Bei der Bohrung KBGD 2 (Bild 11) liegt die stärkste Temperaturabnahme mit bis zu 33 K bei ca. 5 m. Im zentralen Bereich der Hochschüttung zwischen ca. 12 m und 19 m ist die Temperaturabnahme gleichmäßig und liegt bei maximal ca. 15 K. Bei der Bohrung KBGD 3 liegt die stärkste Temperaturabnahme ebenfalls im Teufenbereich um 5 m. Die maximale Temperaturdifferenz gegenüber der Messung vom 29.05.2001 beträgt ca. 41 K. Im zentralen Bereich des Aschekörpers nimmt die Temperatur wie bei der Bohrung KBGD 2 um ca. 15 bis 17 K ab. Auffällig ist bei beiden Bohrungen, dass in der Tiefschüttung die Temperatur nur geringfügig abnimmt, bei einigen Messungen tritt sogar eine Temperaturerhöhung auf.

In den Bildern 13 und 14 ist der zeitliche Verlauf der Temperatur in den beiden Bohrungen für ausgewählte Teufen dargestellt.

In der Bohrung KBGD 2 kann ein saisonaler Effekt bis in eine Teufe von 3.1 m nachgewiesen werden. Wie bereits oben dargestellt nimmt die Temperatur in 5,2 m Tiefe am stärksten ab. An der Oberkante der Tiefschüttung (21,8 m) bleibt die Temperatur fast konstant bei 70°C. In der Bohrung KBGD 3 ist der saisonale Einfluss ebenfalls bis 3,1 m erkennbar. Am stärksten nimmt auch in dieser Bohrung die Temperatur bei 5,2 m Tiefe ab. In der Tiefschüttung (24,3 m) bleibt die Temperatur über den Zeitraum von 2 Jahren mit ca. 40°C praktisch konstant.

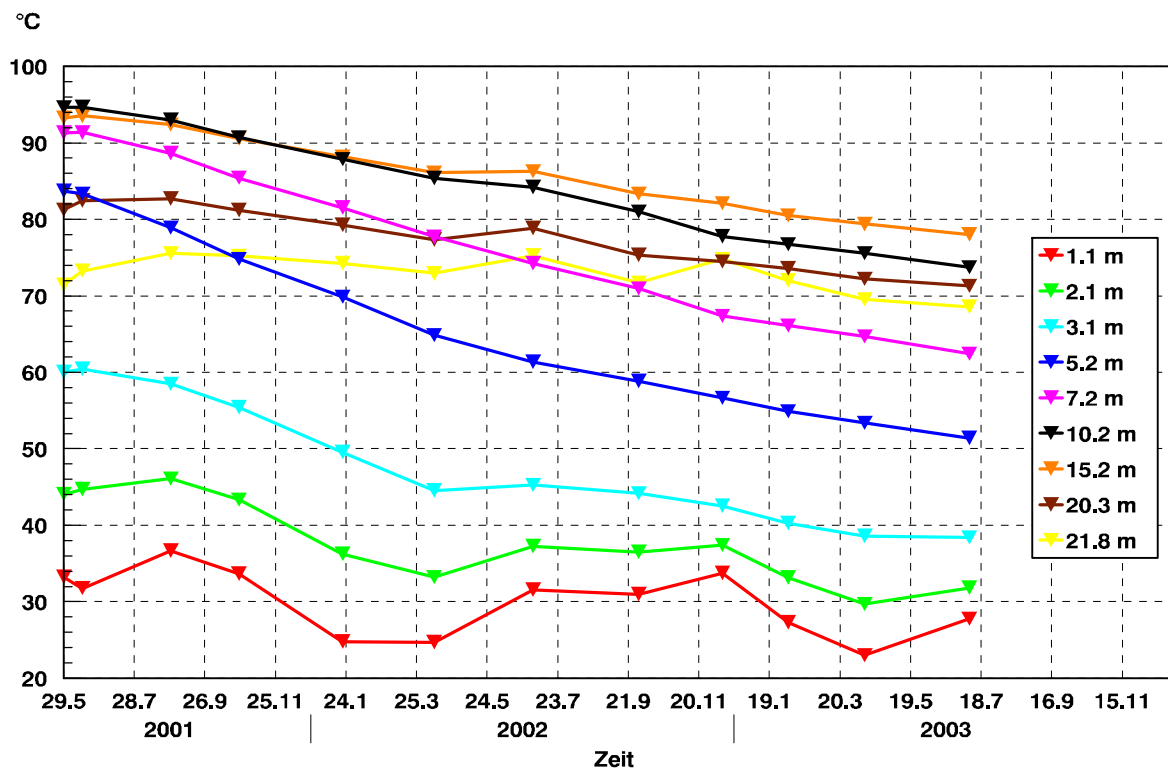


Bild 13: Bohrung KBGD 2
Temperaturverlauf in unterschiedlichen Teufen seit dem 29.05.2001

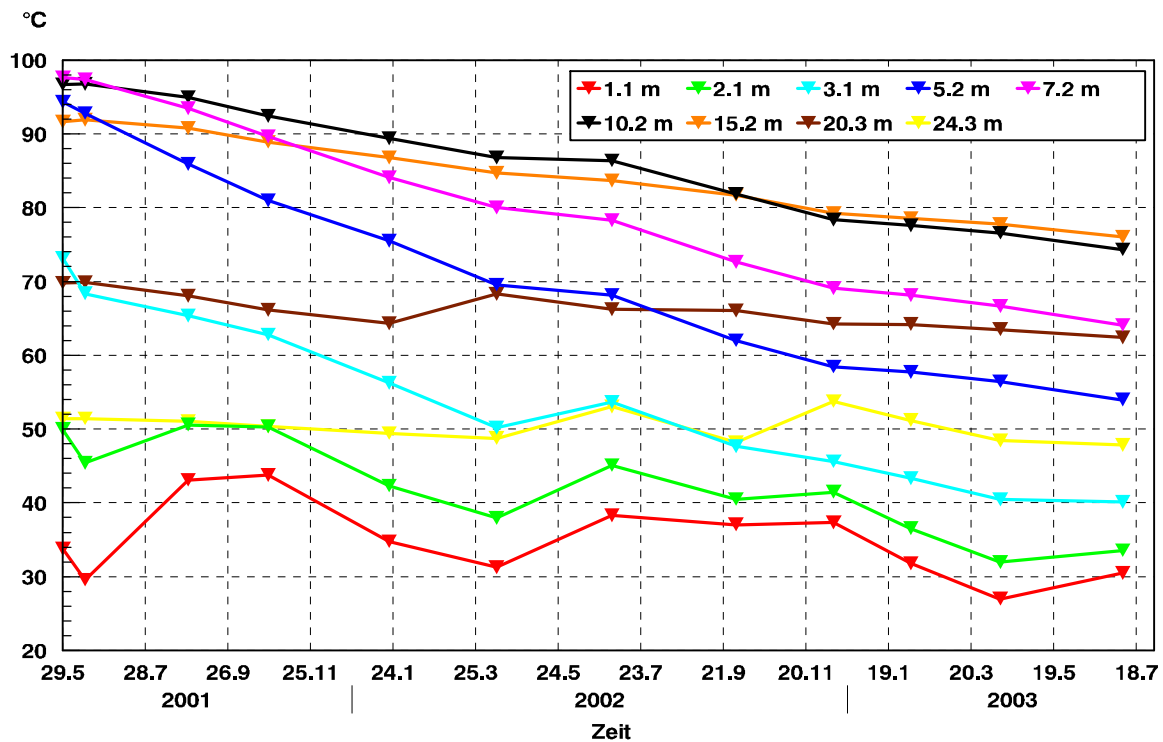


Bild 14: Bohrung KBGD 3
Temperaturverlauf in unterschiedlichen Teufen seit dem 29.05.2001

4 Schlussbemerkung

Die faseroptischen Temperaturmessungen in dem Grundwasserpegel Cospuden 1 und in zwei Bohrungen im Aschekörper im Tagebau Nochten zeigen beispielhaft die Möglichkeiten für den Einsatz dieses Messverfahrens zur Überwachung geotechnischer Bauwerke.

So kann das Temperatursensorkabel in Bohrungen installiert werden, die anschließend verfüllt und von einer Abdichtschicht überdeckt werden. Damit ist eine Langzeitüberwachung auch möglich, wenn die Bohrungen nicht mehr zugänglich sind. Mit dem Einbau eines Temperatursensorkabels in die Hinterfüllung einer Grundwasserbohrung, wie am Beispiel der Bohrung Cospuden 1 dargelegt, ist ferner eine Überwachung der Temperaturentwicklung in der gesättigten und ungesättigten Bodenzone möglich.

Die Ergebnisse aus den Bohrungen im Aschekörper des Landschaftsbauwerkes "Spreyer Höhe" zeigen, dass aus dem Temperaturverlauf exotherme Stoffumwandlungsvorgänge erfasst werden können. Damit kann mit einem Dauermonitoring die Temperaturentwicklung in Kippen, Asche- und Deponiekörpern überwacht werden. Saisonale Temperaturschwankungen lassen sich teufenbezogen erfassen.

Literatur

- [1] Großwig, S.; Hurtig, E.; Kasch, M. u. Kühn, K. : Die orts aufgelöste Temperaturmesstechnik - Leistungsfähigkeit und Anwendungsmöglichkeiten im Umwelt- und Geobereich anhand ausgewählter Beispiele. VDI - Berichte Nr. 1379, 1998, S. 87-92

- [2] Kasch, M. Großwig, S. u. Hurtig, E.: Leckortung an unterirdischen Erdgas-Hochdruckleitungen mit faseroptischer Temperatursensorik. 3R International Bd. 37, 1998, S. 273-278

- [3] Christoph, G., Gläser, H.R., Gläßer, W., Großwig, S., Hurtig, E., Kasch, M. u. Schreck, M.: Geomonitoring in Grundwassergütepegeln, Faseroptische Temperaturmessungen in der Bohrung Cospuden 1. GBL Grundwassergüteentwicklung in den Braunkohlengebieten der neuen Länder Heft 5, 1998, S. 216-221

- [4] Schreck, M., Nishigaki, M. Christoph, G., Gläser H.-R., Großwig, S., Hurtig, E., Kasch, M. u. Kühn, K.: Determination of heat production zones at an open-cast mine dump. J. Environmental Engineering Am. Soc. Civ. Eng. Vol. 124, 1997, S. 646-651