

Juni 1992



MESSPROJEKT

"WÄRMEABFLUSS INS ERDREICH"

Erdreichtemperaturen unter grossen Hallen

Messperioden

1990 und 1991

Ergebnisse in Kürze:

Der geringe Abfluss von Wärme ins Erdreich beim Verzicht auf eine Wärmedämmung hat sich bestätigt, sofern der Grundwasserspiegel genügend tief unter dem Hallenboden liegt.

Eine Perimeterdämmung auf Fundamenttiefe ist zwingend erforderlich.

Diese Arbeit wurde teilweise finanziell gefördert durch das BEW in Bern und das ATAL in Zürich. Inhaltliche Beiträge lieferten Herr Prof. Nänni von der HTL Windisch und Th. Baumgartner, Dübendorf.

Ein bedeutender Sponsor war auch die Firma Mettler in Greifensee.

1. Einführung

Beim Bau der Halle D in Nänikon (Firma Mettler AG) im Jahr 1987 (1'600 m² Grundfläche) sind an der Bodenplatte, die auf 10 cm Wärmedämmung eingebracht wurde, erhebliche Bauschäden entstanden. Ursache für diese Bauschäden (Schüsseln von Beton über der Wärmedämmung) lag eindeutig bei der Unerfahrenheit der Bauleute beim Betonieren über der Wärmedämmung. Die schier unglaubliche Aussage des Experten, "Die Wärmedämmung ist zwar nach Gesetz vorgeschrieben, nützt aber praktisch nichts", war Anlass genug, für die baubereite Halle H (2'700 m²) das Wärmedämm.konzept des Hallenbodens nochmals zu überprüfen. Vorgesehen waren wiederum 10 cm Dämmung aus Schaumglas, vollständig mit Bitumen eingeschwemmt, aufgebracht auf eine Magerbetonschicht von 10 cm Stärke. Die Lösung hat einen Energiebedarf an grauer Energie von 280 kWh/m² und entspricht den gesetzlichen Vorschriften.

Der Experte gab für die Entscheidungsfindung einige Schlüsselwerte vor.

Wärmeabfluss pro m² und Jahr:

- Nach SIA 380/1 gerechnet (k-Wert 0.4 W/m²K) 29 kWh (6 W/m²)
- Ebenfalls mit Dämmung, aber effektiv gerechnet 2 kWh
- Ohne Dämmung, effektiv gerechnet 12 kWh (2.5 W/m²)

Der Wärmeabfluss ist wesentlich kleiner als die freie Wärme aus Beleuchtung, Personen- und Prozesswärme (12 W/m²a).

Oberflächentemperatur nach Regeln SIA gerechnet:

- Mit Dämmung und Erdreich 8°C 17.65°C
- Ohne Dämmung mit Erdreich Mettler effektiv 17.68°C

Mögliche Kosteneinsparung ohne Dämmung > Fr. 300'000.-
Zeitgewinn für Bauzeit etwa 3 Wochen

Das Risiko für Bauschäden ist wesentlich geringer. Die Reduktion des Kältebedarfs im Sommer dagegen erheblich.

Aufgrund dieser Werte wurde der Auftrag erteilt, für die Baubewilligung ein Ausnahmegesuch einzureichen. Dieses wurde bewilligt unter der Auflage, die Werte im Betrieb zu kontrollieren. Nach weiteren Vorabklärungen wurde ein kleines Messprojekt bewilligt mit Drittkosten von Fr. 39'000.- (inkl. Verlängerung 1991) getragen vom BEW und ATAL Zürich. Weitere Kostenträger sind die Firma Mettler und der Projektleiter. Herr Prof. Nä.äni HTL Windisch und Thomas Baumgartner Dübendorf unterstützten die Arbeiten mit Ihrem Spezialwissen. Allen Beteiligten gilt der Dank für die Unterstützung.

2. Organisation der Messkampagne

**Theoretische Vorausberechnungen
Messung und Auswertung**

**ev. λ - Wert - Bestimmung
Bauarbeiten**

Projektleitung

Weitere Details zum Messprogramm siehe Beilage 1 (Auszug aus dem Vertrag)

**Prof. J. Nänni, Brugg
Gabatuler AG, Diessenhofen
Th. Baumgartner, Dübendorf
EMPA - KWH, Dübendorf
Mettler Instrumente AG
B. Wick, Widen**

3. Erwartete Ergebnisse und Lösungsweg

3.1 Erwartete Ergebnisse

- **Bestätigung der theoretisch errechneten Erdreichtemperaturen nach Rechnungsmodell Prof. Nänni (Wärmebrücken katalog II für BEW/SIA)**
- **Bestätigung des vorausberechneten Wärmeabflusses gemäss Vorausberechnung für Ausnahmebewilligung bei Baueingabe**
- **Bestätigung der berechneten Minimaltemperatur an der linearen Wärmebrücke Boden/Wand**
- **Planungshilfen für Architekten**
- **Kontroll-Hilfen für Prüfbehörden**

3.2 Gewählter Lösungsweg

- **Theoretische Vorausberechnungen**
- **Setzen von Messsonden und Messungen am Bau**
- **Notieren der Temperaturschwingungen mit Datenlogger über 2 Jahre**
 - **3 Oberflächentemperaturen**
 - **6 Erdreichtemperaturen**
 - **1 Aussentemperatur (ev. von Projekt Schwerzenbacherhof)**
- **ev. Bestimmen des λ - Wertes des Erdreichs (EMPA)**
- **Auswertung der Temperaturmessungen und Vergleich mit theoretischer Rechnung**
 - **Rechnungsmodell Prof. Nänni**
 - **Baueingabe Firma Mettler AG**
- **Schlussbericht**

3.3 Abgrenzung

Es wird ein einzelner Fall gemessen und Tendenzen für andere Fälle aufgezeigt. Dies ist eine Unterarbeit zum Thema Wärmebrückenkatalog (NEFF 262.3).

4. Vorausberechnungen

4.1 Berechnungen Büro Wick

k-Wert nach SIA 380/1 ohne Mitwirkung des Erdreiches bei der geplanten Ausführung mit 10 cm Dämmung als Schaumglas (0.376 W/m²K).

k - Wert Boden gegen Erdreich				
alpha - l				0.17
			6	
		Material	Dicke	Lambda
			[m]	[W/mK]
		R		[m²K/W]
Schicht	1	Holzzement	0.03	0.27
	2	Beton	0.2	1.8
	3	Schaumglas	0.1	0.044
	4		0	1
	5		0	1
	6		0	1
alpha - s				1000000
				0.000
k - Wert				0.376

Weitere Berechnungen wurden in Abhängigkeit von der Lage des Grundwasserspiegels gemacht. Das Erdreich wurde aber mit einem λ - Wert von 1.2 W/m²K miteinbezogen (Berechnung Wick).

k - Werte in W/m ² K	Grundwasserstand			
	UK Boden	-1.0 m	-2.0 m	-3.0 m
A mit Wärmedämmung	0.38	0.29	0.24	0.20
B ohne Wärmedämmung	0.63	0.42	0.31	0.25

Nur bei hohem Grundwasserstand wäre der Beitrag der Dämmung erheblich. Der Grundwasserhöchststand ist aber auf dem Niveau -2.5 m zu erwarten. Ähnliches gilt bezüglich Oberflächentemperaturen.

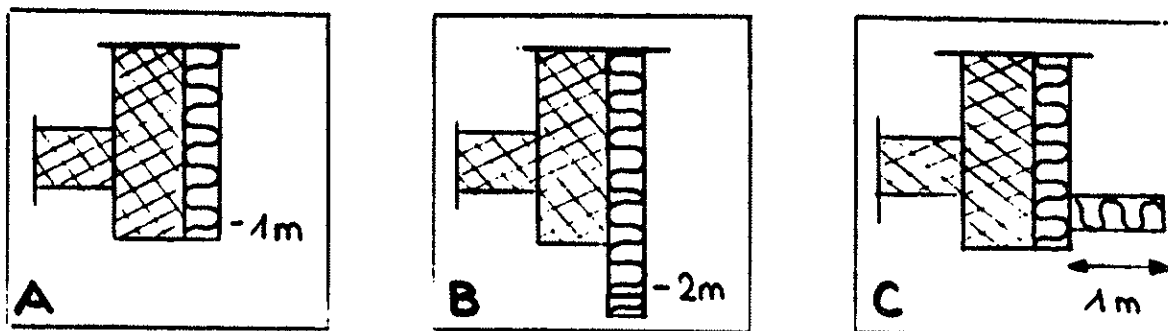
Gegenüber der in SIA 380/1 vorgegebenen Berechnungsart weichen aber die Werte für den resultierenden Wärmeabfluss sehr stark ab. Der Unterschied war auch noch markanter, weil für die Vorausberechnung eine mittlere Erdreichtemperatur von 10°C angenommen wurde, gegenüber nur 8°C nach SIA 380/1.

4.3 Vorausberechnungen Prof. J. Nänni

Nach dem Programm Wärmedämmkatalog berechnete Herr Prof. Nänni verschiedene Fälle, wobei insbesondere auch die Ausbildung der Perimeterisolation noch variiert wurde. Folgende 3 Fälle wurden untersucht:

- A Perimeterisolation senkrecht 1.0 m
- B Perimeterisolation senkrecht 2.0 m
- C Perimeterisolation senkrecht 1.0 m und 1.0 m horizontal

Bereits die Vorausberechnung zeigte, dass eine horizontale Ausdehnung der Perimeterisolation nur sehr geringe Vorteile bringt.



Gewählt wurde nach den Vorausberechnungen Fall A.

Das nachfolgende Beispiel zeigt die gewählte Lösung für die Perimeterdämmung und eine Vorausberechnung der Isothermen.

ISO2 HTL BRUGG-WINDISCH
 ABTEILUNG HOCHBAU
 17.1.1989

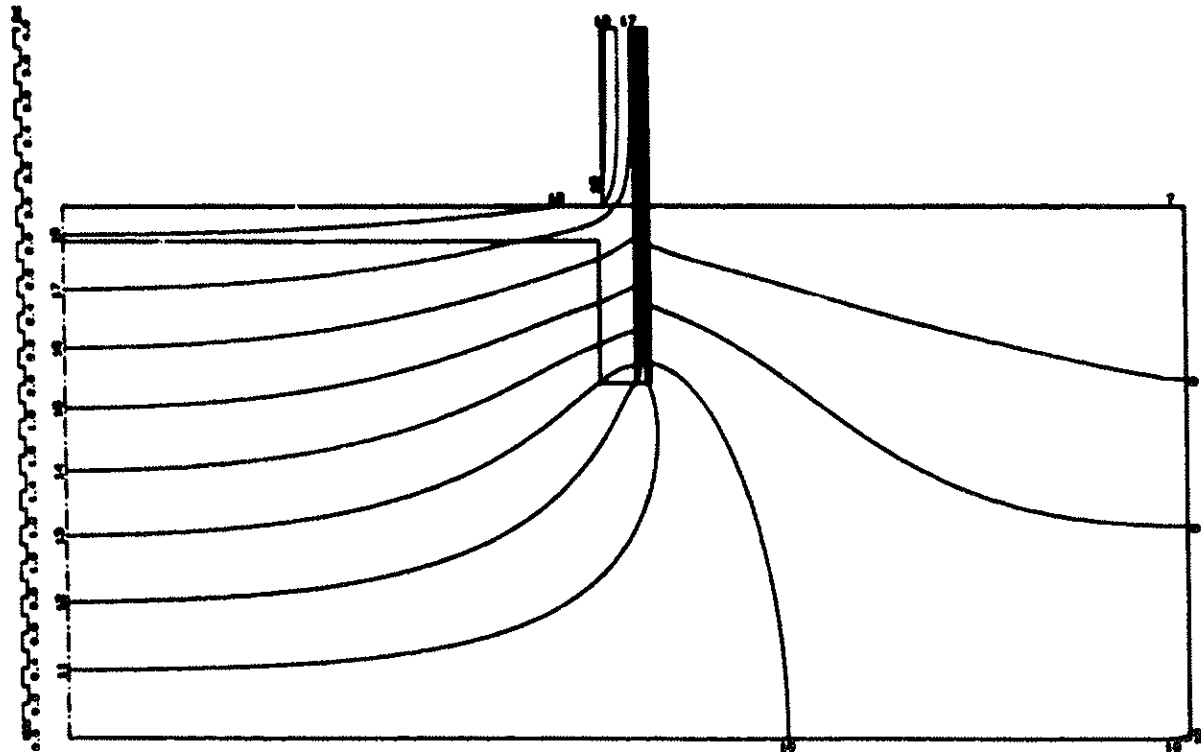
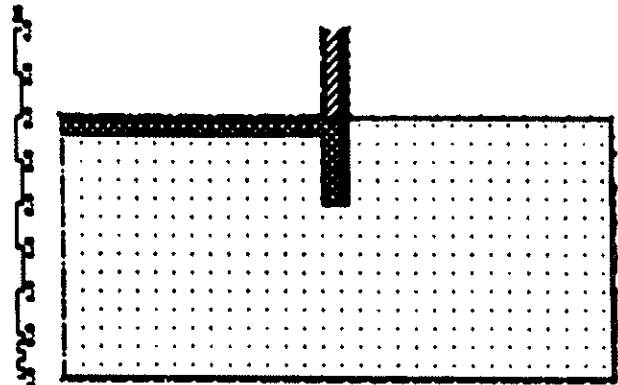
OBJEKT
 SOCKEL A 2
 N.B. HEIZPERIODENMITTEL



MATERIALKÜRSEL	MATERIALNENNENWERTE	λ (W/mK)
■	BEKLEBUNG	1.0
■	STAHLBLECH	0.04
■	WÄRMEDÄMMUNG	0.04
■	BACKSTEIN_BN17.8	0.44
■	ERDETRICH	2.0

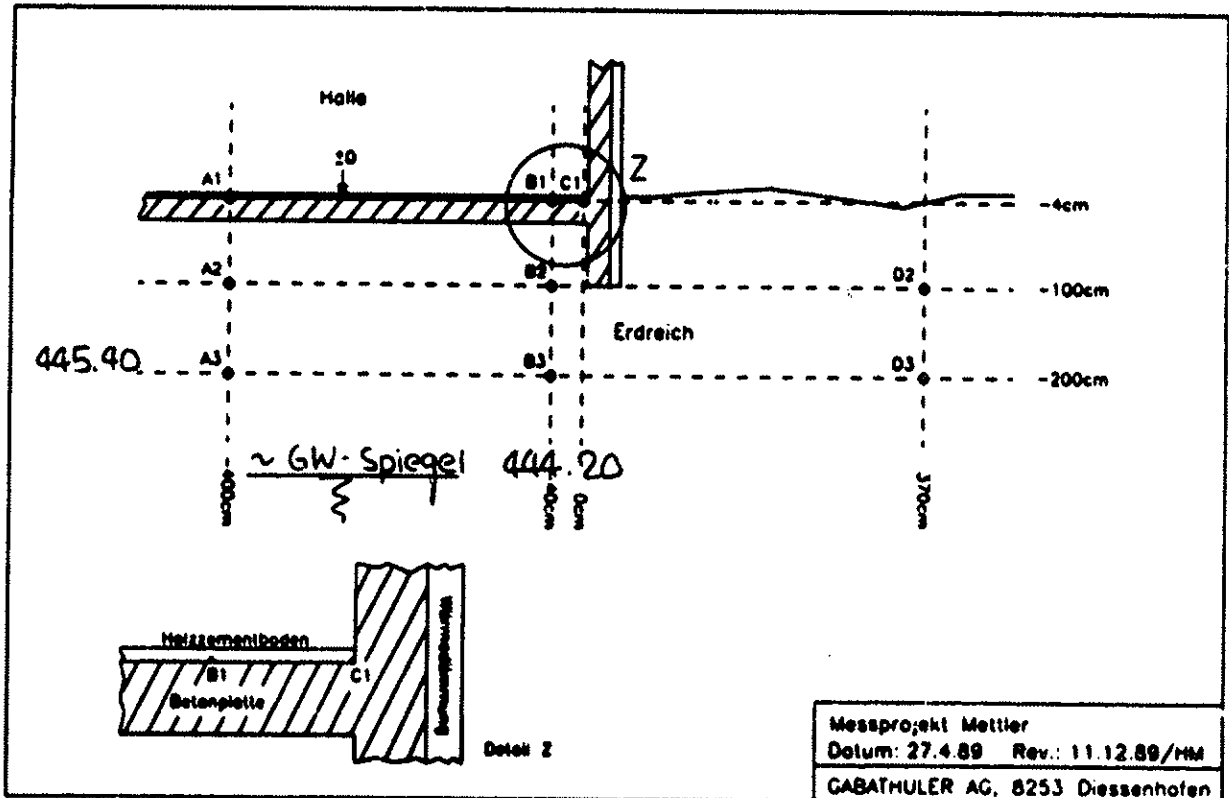
RANDBEDINGUNGEN	
--- 4.0°C: 20.0W/m²K	--- 9.0°C: 1000.0/m²K
--- 7.0°C: 1000.0/m²K	--- 9.5°C: 1000.0/m²K
--- 7.5°C: 1000.0/m²K	--- 10.0°C: 1000.0/m²K
--- 8.0°C: 1000.0/m²K	--- 20.0°C: 8.0W/m²K
--- 8.5°C: 1000.0/m²K	--- 20.0°C: 8.0W/m²K

2 WEITERE RANDBEDINGUNGEN



5. Gewählte Messanordnung

5.1 Lage der Fühler



5.2 Einfluss der Sicker Galerie, Grundwasserspiegel

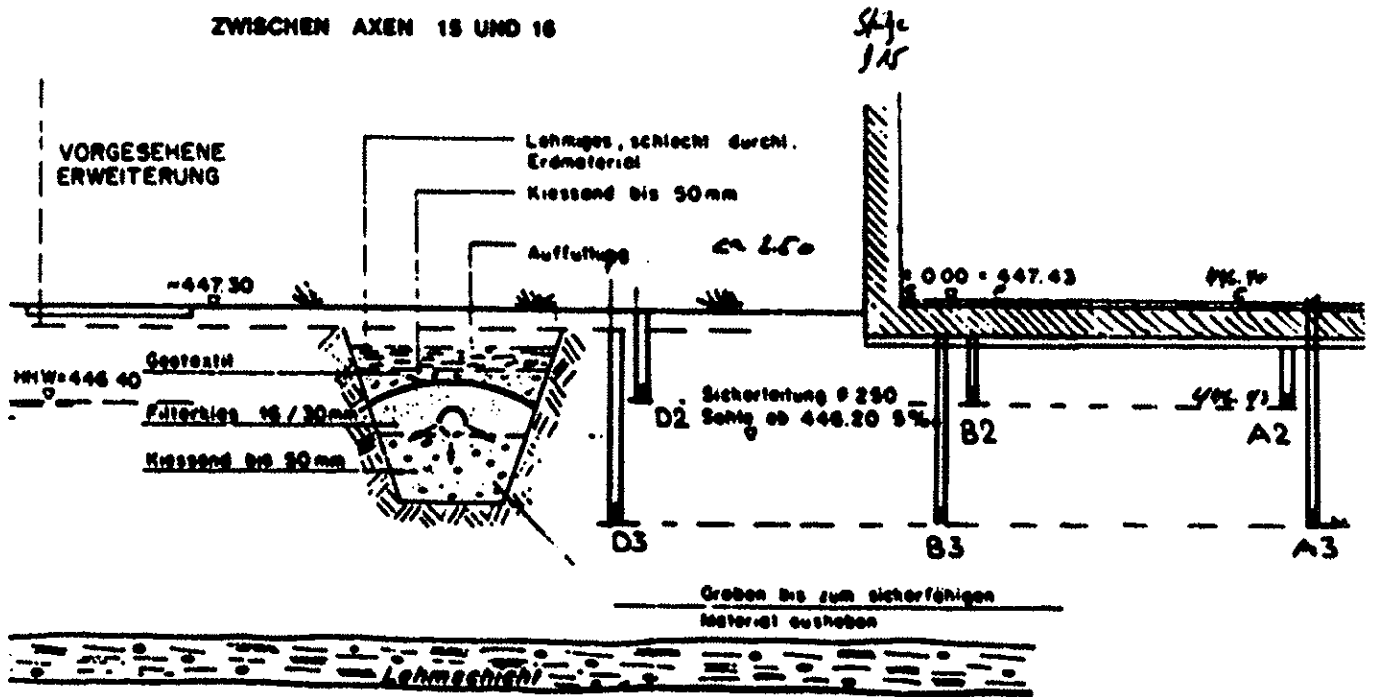
Parallel zum Gebäude verläuft eine Sicker Galerie. Über die Sicker Galerie muss das Dachwasser ins Grundwasser zurückgegeben werden. Sie hatte vermutlich einen Einfluss auf Fühler D3. Der Grundwasserspiegel schwankte erheblich. Trotzdem ist nach den Messungen das Grundwasser nie bis zu den Fühlern hochgestiegen. Der höchste Stand betrug 445.0 m, die Fühler A3, B3 und C3 sind auf der Kote 445.43 m.

In Trockenzeiten ist mit stehendem Grundwasser zu rechnen, bei Niederschlägen läuft über den stehenden Grundwassersee das zufließende Regenwasser ab. Die Grundwasserwanne bleibt vorerst mit warmem Wasser gefüllt.

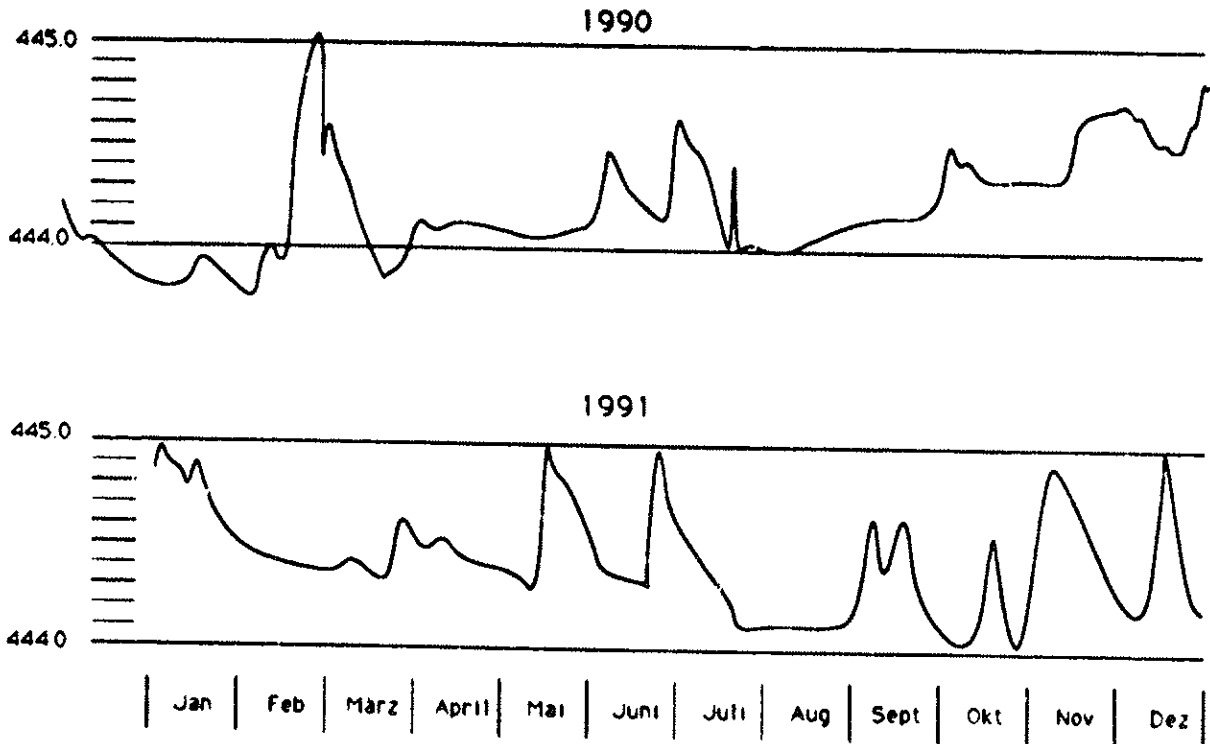
5.2 Sickergalerie

SICKERGALERIE 1:50

ZWISCHEN AXEN 15 UND 16



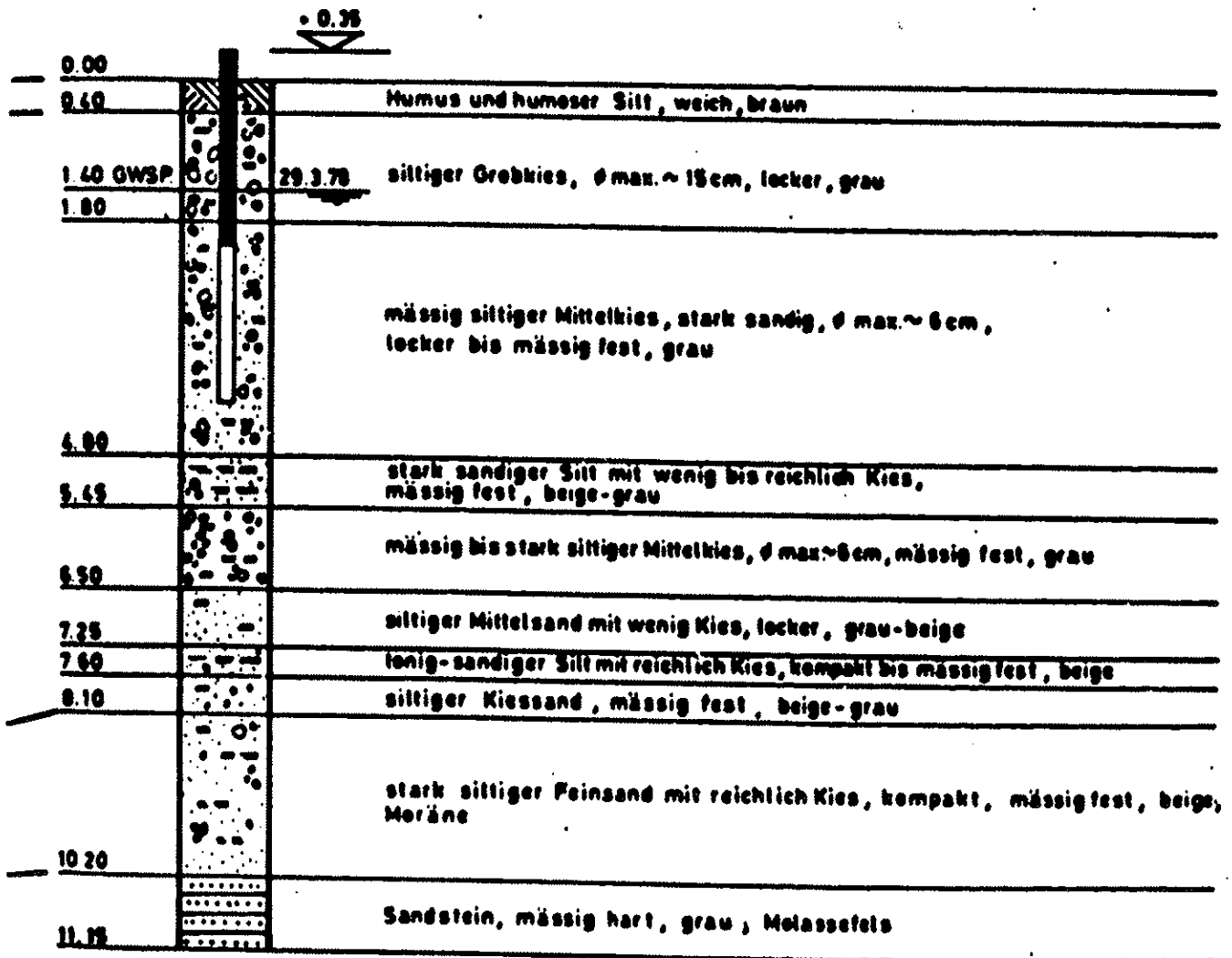
5.3 Grundwasserstand 1990/1991



5.4 Baugrund

Kernbohrung Nr. 7 ist im Messbereich gemacht worden. Sie zeigt recht unterschiedliche Bodenverhältnisse. Vor Ort wurde auch der Baggerschlitz für die Sickergalerie beurteilt. Der Boden ist sehr unterschiedlich und teilweise sehr grobblockig.

Eine Materialentnahme für eine λ - Wert - Bestimmung schien bei diesem heterogenem Boden wenig sinnvoll. Nebst dem Material wäre vor allem der Feuchtigkeitsgehalt dominierend. Die Messungen bestätigten diese Annahme. Auf λ - Wert - Bestimmungen durch die EMPA musste verzichtet werden.



KERNBOHRUNG NR. 7

Der Grundwasserspiegel wurde nach dieser Bohrung abgesenkt.

6. Messergebnisse

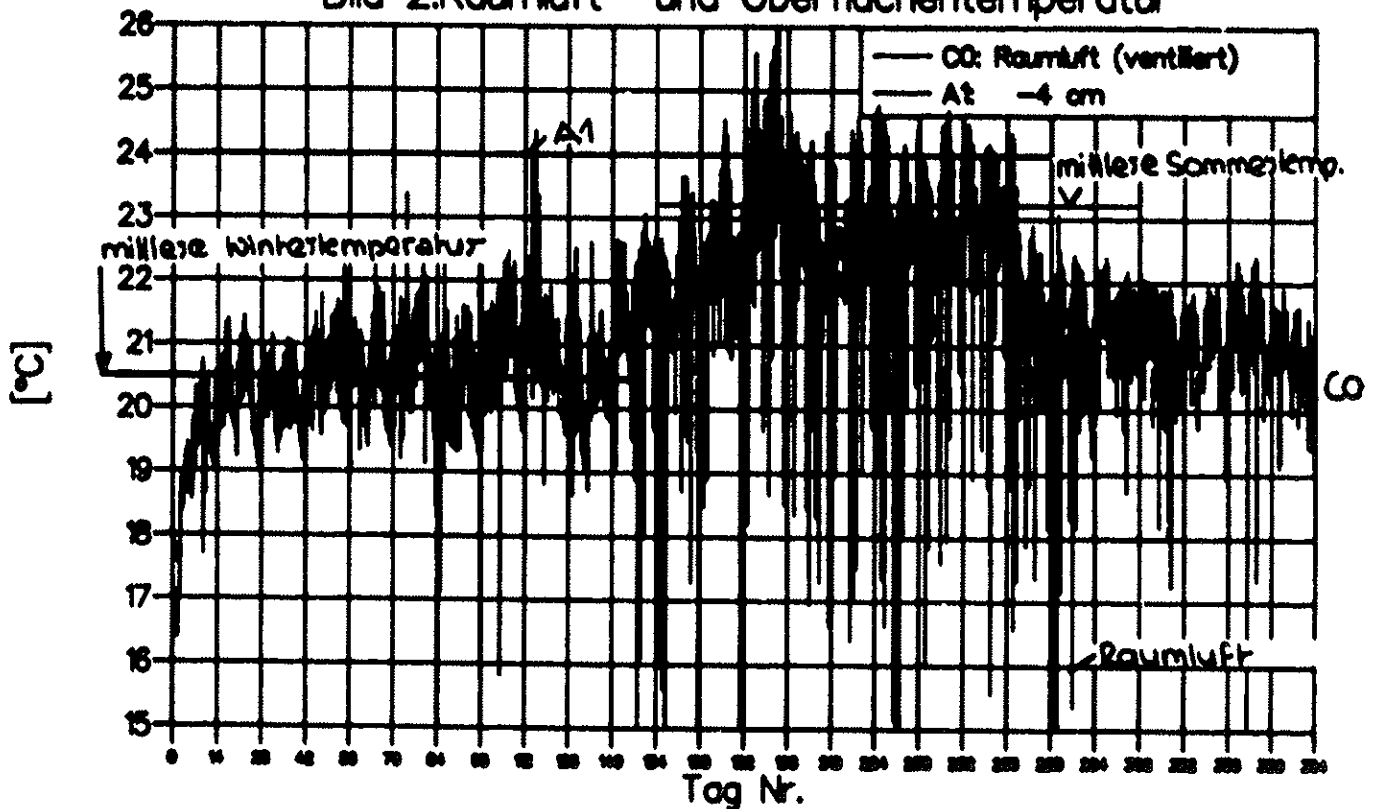
Während 2 Jahren wurden die Temperaturen im Stundenschnitt aufgezeichnet. Das 2. Messjahr 1991 wird hier dokumentiert.

6.1 Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur

Nach der Weihnachtspause stellte sich rasch eine mittlere Raumtemperatur (= Heiztemperatur) von 20.5°C ein. Sie schwankt zwischen 19.5°C und 21.5°C. Die hohen Spitzen der Bodentemperatur (z.B. Tag 112) sind eine Folge der Sonneneinstrahlung. Am Ende der Heizperiode steigt während der Kühlphase (Klimatisierung) die mittlere Temperatur um 2.5 Kelvin auf 23.1°C an. Die Schwankungen sind im Sommer erheblich grösser. Wegen der Fensterlüftungen am Morgen sinkt die Raumtemperatur oft kurzfristig auf 16°C. An wenigen Tagen genügt die Kälteleistung nicht, z.B. Tage 182 - 194.

Mettler: Messperiode 1991

Bild 2: Raumluft- und Oberflächentemperatur



6.2 Oberflächentemperaturen -4 cm

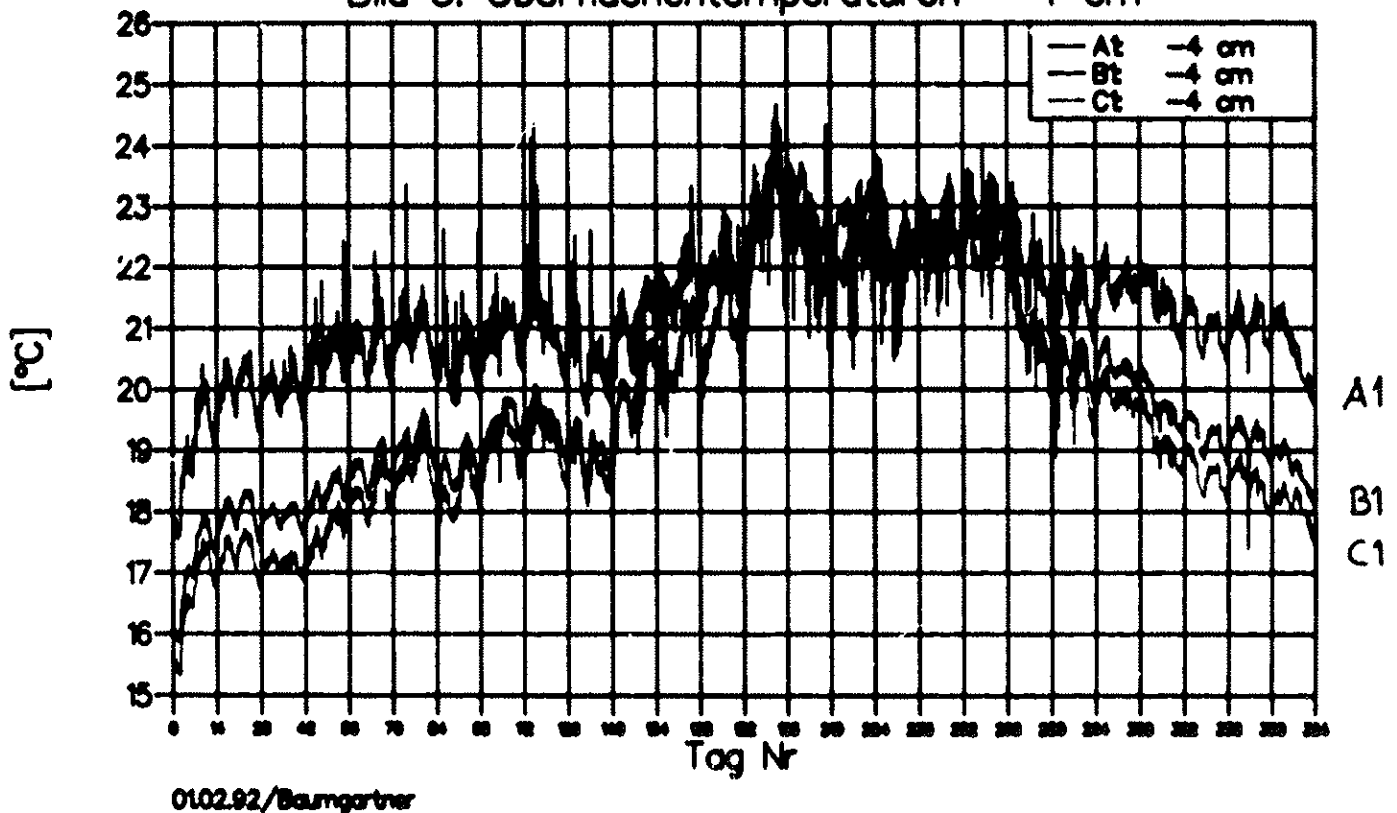
Diese Temperaturen sind zwischen fusswarmem Boden und Betonvertellplatte gemessen.

Der Messpunkt A1, ungestört vom Randeinfluss hat nahezu Raumtemperatur. Deutlich sichtbar ist die Abkühlung während der Weihnachtsferien. Vom Tag 140 bis zum Tag 196 kann der ungedämmte Boden einen Teil der Kühllast übernehmen. Bei Beginn der Heizperiode wird während 70 Tagen aus dem Erdreich rückwärts in der Halle geheizt.

Die Messpunkte B1 und C1 sind schon erheblich vom Randeinfluss betroffen. Bauphysikalisch kritische Temperaturen werden jedoch nie erreicht. C1 ist nur dank der Perimeterdämmung so hoch. Die Extremtage 0 bis 3 gehören zur Absenkphase während der Weihnachtsferien. Gleichzeitig fallen sehr intensive kalte Niederschläge.

Mettler: Messperiode 1991

Bild 3: Oberflächentemperaturen - 4 cm



6.3 Erdreichtemperaturen in einer Tiefe von -1.0 m

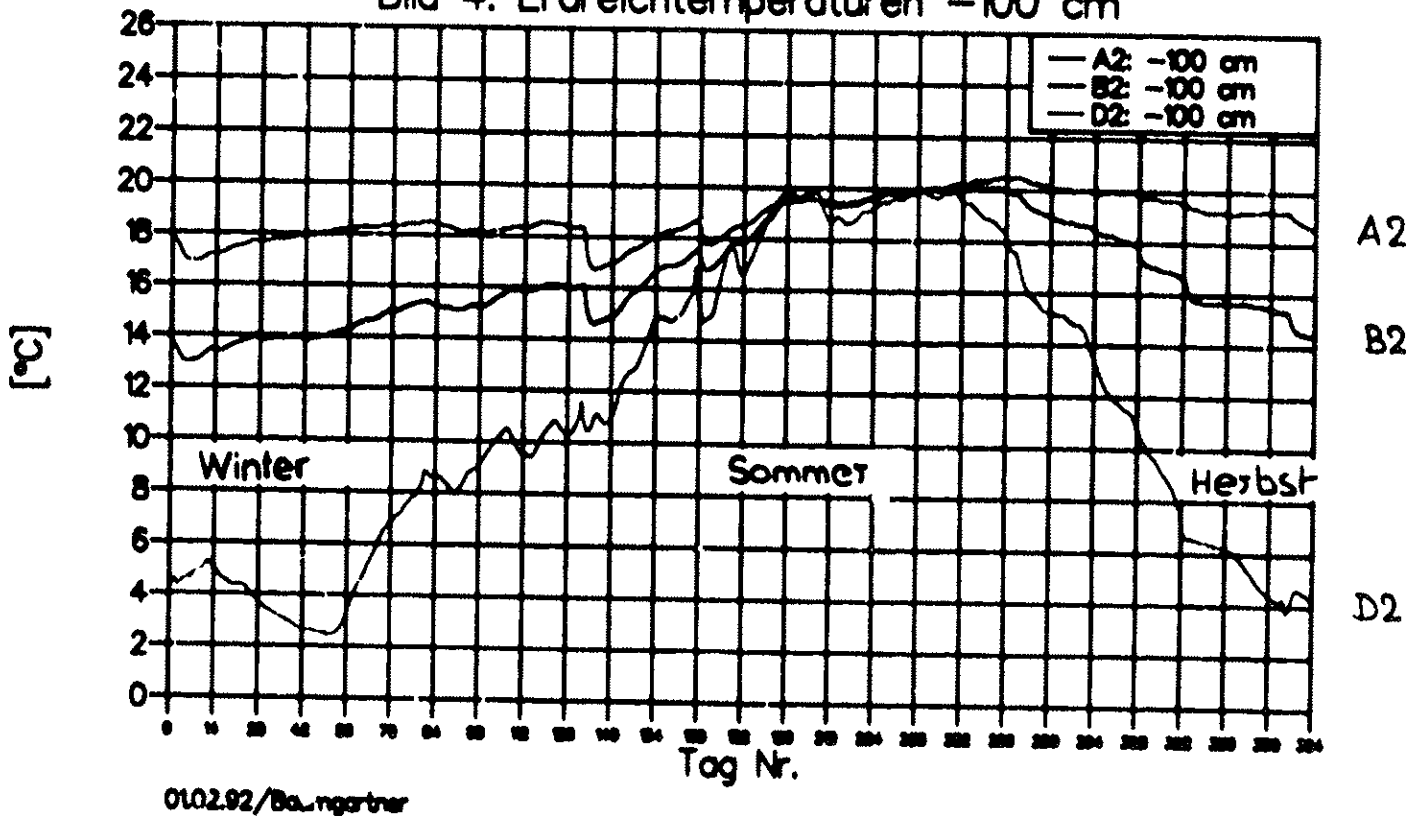
Der Fühler A2 zeigt generell eine hohe Temperatur von 18°C. Von der Aussentemperatur wird er wenig beeinflusst, hingegen von den Niederschlägen, respektive Grundwasserschwankungen. An den Tagen 02, 130 und 168 wird der Fühler mit Sicherheit feucht. In den Sommermonaten (Kühlperiode) steigt auch die Temperatur A2 parallel mit der mittleren Raumtemperatur.

Der Fühler B2 hingegen misst bereits den Randeinfluss auf die Temperatur. Auch hier ist der gleiche Feuchtigkeitsfluss wie bei A2 messbar.

Fühler D2 liegt aussen, ist deutlich saisonal schwankend, aber weniger von Niederschlägen direkt beeinflusst.

Mettler: Messperiode 1991

Bild 4: Erdreichtemperaturen -100 cm



01.02.92/Ba. ngartner

6.4 Erdreichtemperaturen in einer Tiefe von -2.0 m

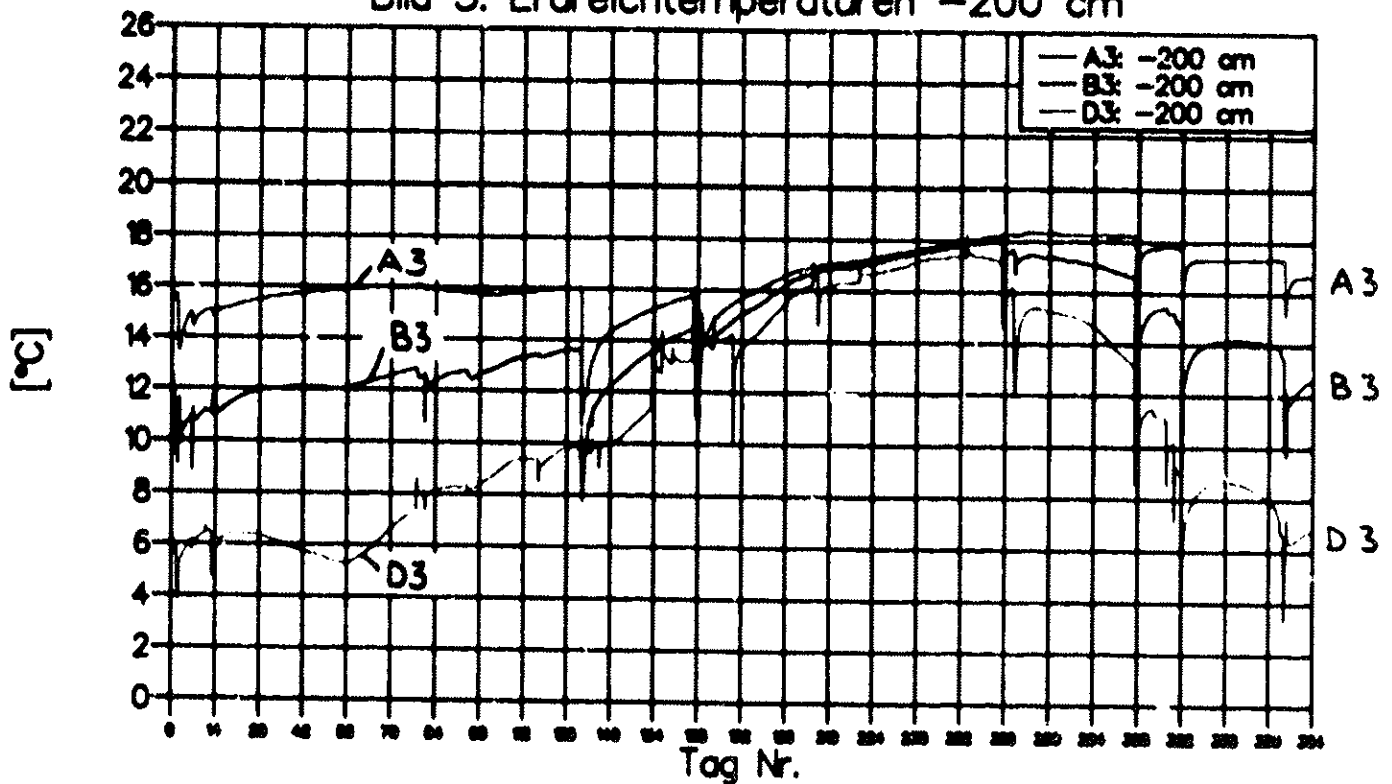
Fühler A3 misst sehr konstante, nur um 2 Kelvin tiefere Temperaturen als Fühler A2. Er wird nun aber extrem von den Niederschlägen beeinflusst. Hier wird das Erdreich nicht bloss feucht, sondern nass. Der steile Abfall deutet sogar auf Grundwasser hin. Nach Piezometermessungen ist dies jedoch nicht möglich. Die Erholung erfolgt jedoch ebenfalls sehr rasch. Weil das Erdreich feucht ist, strömt von oben Wärme zu. Vermutlich bleibt auch der stehende Grundwassersee (Wanne) warm. Es fließt also auch von unten Wärme zu.

Ähnliche Aussagen wie für A3 gelten auch für B3.

Fühler D3 ausserhalb des Gebäudes macht gegenüber D2 die saisonalen Schwankungen nur stark gedämpft mit. Der Einfluss der Niederschlagstage ist sehr stark, aber die Erholung jeweils sehr rasch.

Mettler: Messperiode 1991

Bild 5: Erdreichtemperaturen -200 cm



01.02.92/Baumgartner

6.5 Vergleiche in den Messpunkten A1, A2 und A3

Die Messpunkte A1, A2 und A3 als ungestört vom Randeinfluss unter dem Hallenboden, sind die wichtigsten Messpunkte für die Berechnung des Wärmeabflusses.

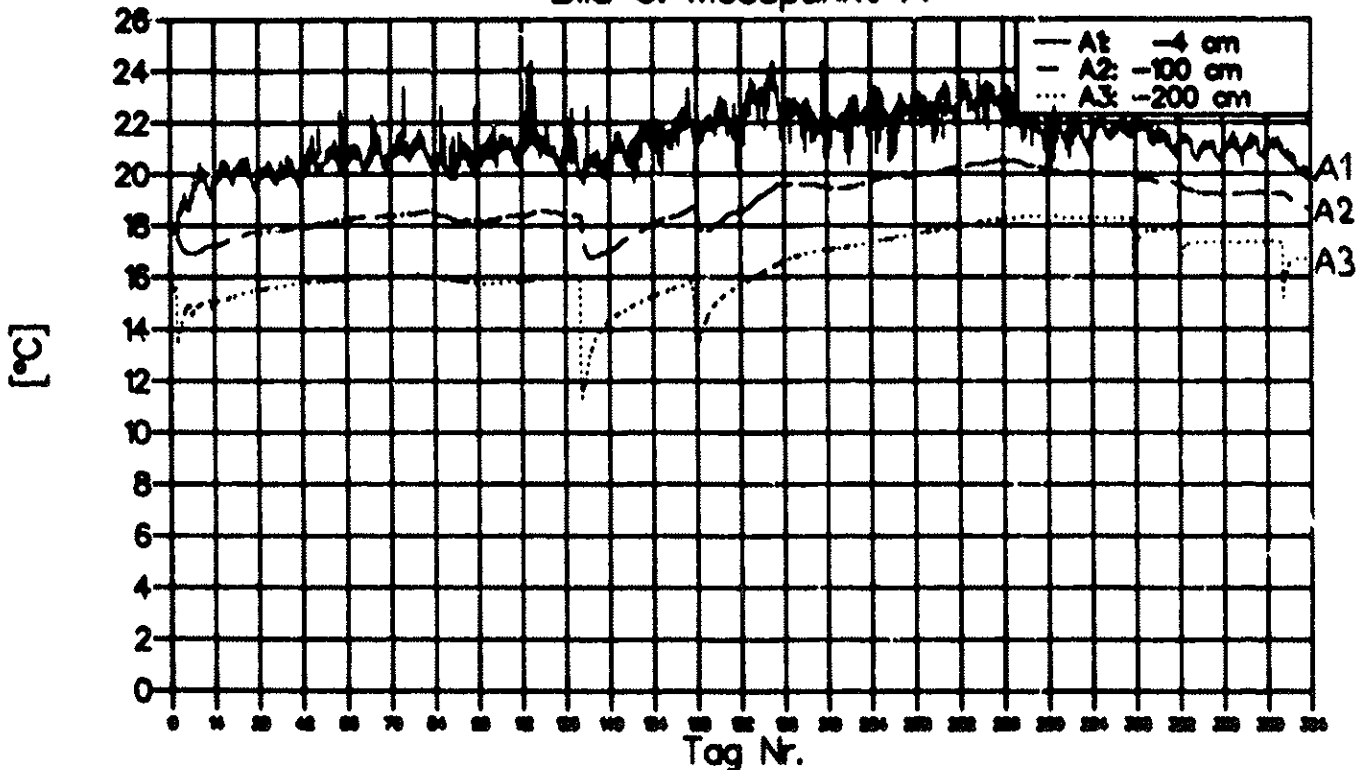
Die Oberflächentemperatur A1 schwankt erheblich mit der Raumtemperatur. Im Punkt A2 sind diese Schwankungen bereits geglättet. A2 liegt regelmässig etwa 2.5 Kelvin unter der mittleren Raumtemperatur. Einzelne Niederschläge führen zu kleinen Ausschlägen von etwa 1 Kelvin.

Der tiefste Messpunkt A3 ist zwar auch sehr gleichmässig, aber die Ausschläge durch Niederschläge sind etwas grösser, etwa 2 bis 4 Kelvin. Die Unterschiede zwischen A2 und A3 betragen nur 2.1 Kelvin. Dies deutet auf unterschiedliche λ -Werte hin.

Die gesamte Messkampagne ist also leicht gestört durch diese Niederschläge. Vermutlich ist die Sickergalerie zu nahe. Der Einfluss auf die Jahresenergiebilanz ist hingegen sehr gering. Die Erholungszeit pro Kelvin-Abkühlung beträgt etwa eine Woche auf dem Niveau A3, doppelt so lange jedoch auf dem Niveau A2.

Mettler: Messperiode 1991

Bild 6: Messpunkt A



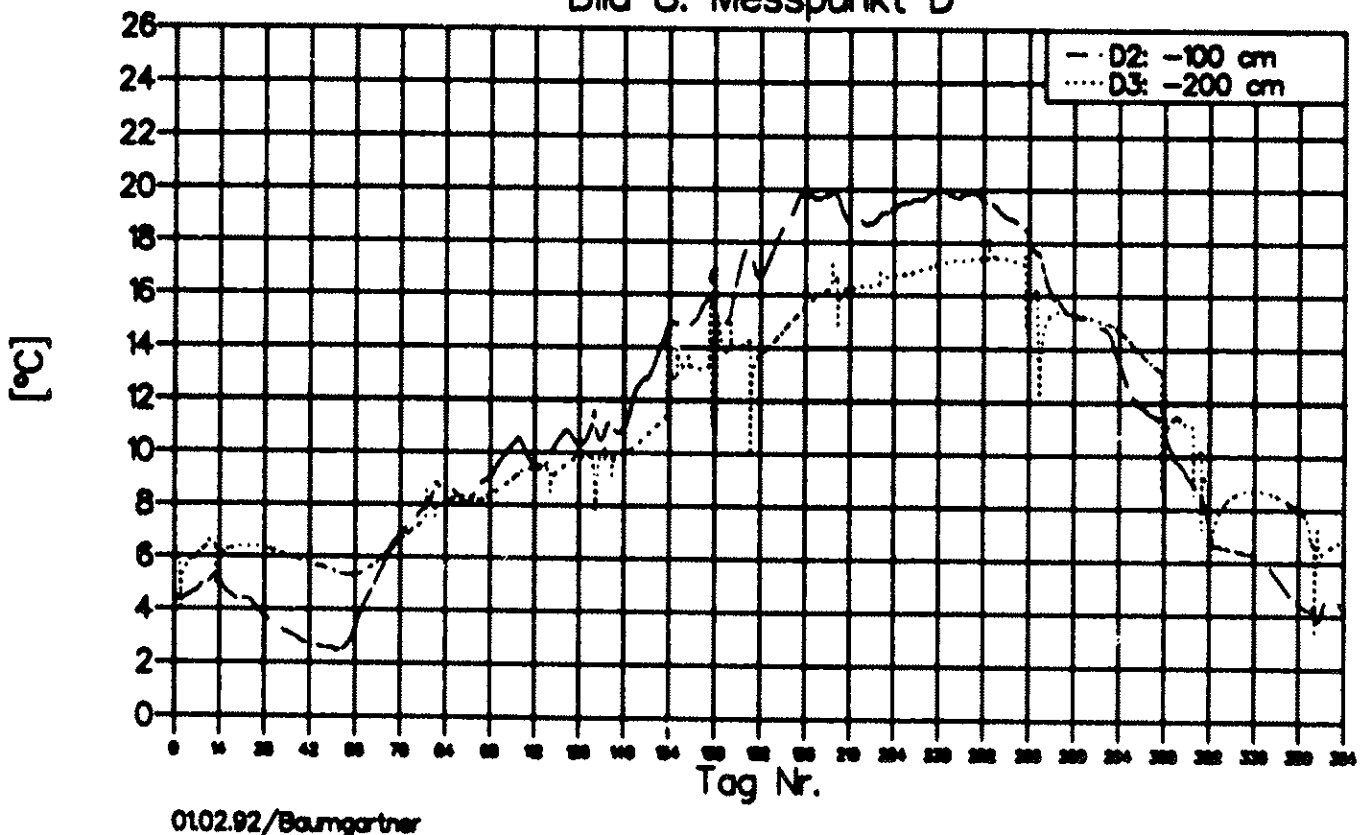
0102.92/Baumgartner

6.6 Erdreichtemperaturen im Freien (Punkt D)

Im Messpunkt D zeigen sich die erwarteten jahreszeitlichen Schwankungen, überlagert durch Einflüsse aus Regen und Schneeschmelze.

Die Erwärmungen im Frühling geht viel langsamer (100 d) vor sich als die Abkühlung im Herbst (< 50 d). Frost ist nie eingetreten. Auf -2.0 m (Punkt D3) ist die jahreszeitliche Schwankung schon stark gedämpft (Amplitude 11 Kelvin) gegenüber 18 Kelvin beim höher gelegenen Fühler D2.

Mettler: Messperiode 1991
Bild 8: Messpunkt D



7. Auswertungen

Die Temperaturaufzeichnungen erfolgten über 2 Jahre im Stundenschritt. Die Messwerte 1991 wurden auf Diskette 3 unabhängigen Stellen zur Verfügung gestellt mit allen Angaben über Baugrund, Geometrie, Grundwasserstand usw.

7.1 HTL Windisch Herr Prof. Nänni

Die λ - Werte werden angenommen:

OK	bis	-20 cm	Humus	$\lambda = 1.2$
-20	bis	-160 cm	Kies/Sand/Silt	$\lambda = 1.0$
-160	bis	-500 cm	dito, jedoch feucht	$\lambda = 1.2$

1. Problem: Tiefe der Perimeterdämmung

Eine Verlängerung der Perimeterdämmung um 1.0 m auf 2.0 m Tiefe lohnt sich nicht. Die Jahreseinsparung pro m-Wand beträgt 6.5 kWh oder rund Fr. 1.30 pro Jahr. Die Ecktemperatur in Punkt C ist auch bei 1.0 m Tiefe stets genügend und unkritisch.

Der lineare Zuschlag pro m¹ Aussenwand beträgt 38 kWh/a. Davon werden bei diesem Objekt mehr als 2/3 durch überschüssige freie Wärme gedeckt.

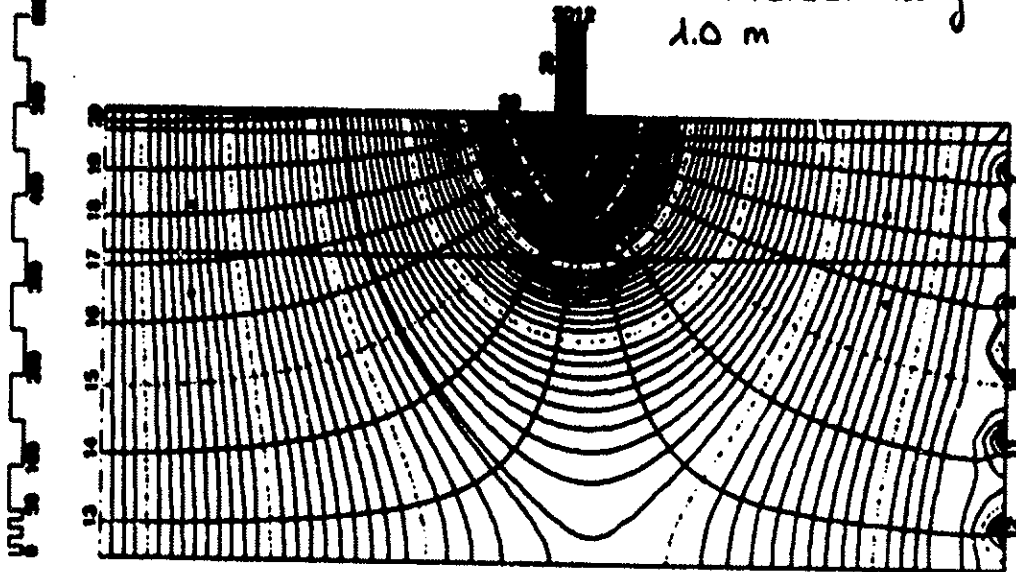
Er wird vorgeschlagen, die Perimeterdämmung auf Frosttiefe = Fundamenttiefe hinunterzuziehen. Als Faustregel gilt 1.0 m, sofern der Grundwasserstand tief ist.

Vergleich Perimeterdämmung Sockeltiefe 1.0 m und 2.0 m:

GTZ THERMISCH-TECHISCHE
BAUTEILANALYSE
W. SCHREIBL/Mörsel

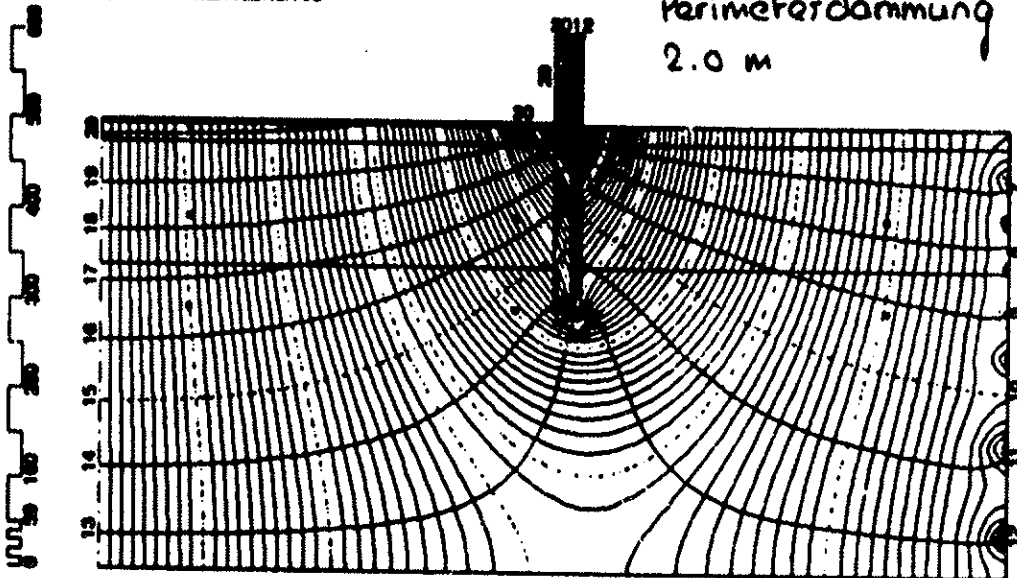
Nachname : MEDIPROJEKT METTLER
 Holzperiode : 1881
 Instell : Holzsockel
 Variante : Sockeltiefe : 100 cm
 Bemerkungen : Analytische Berechnung im Holzperiodenmodell

Perimeterdämmung
1.0 m



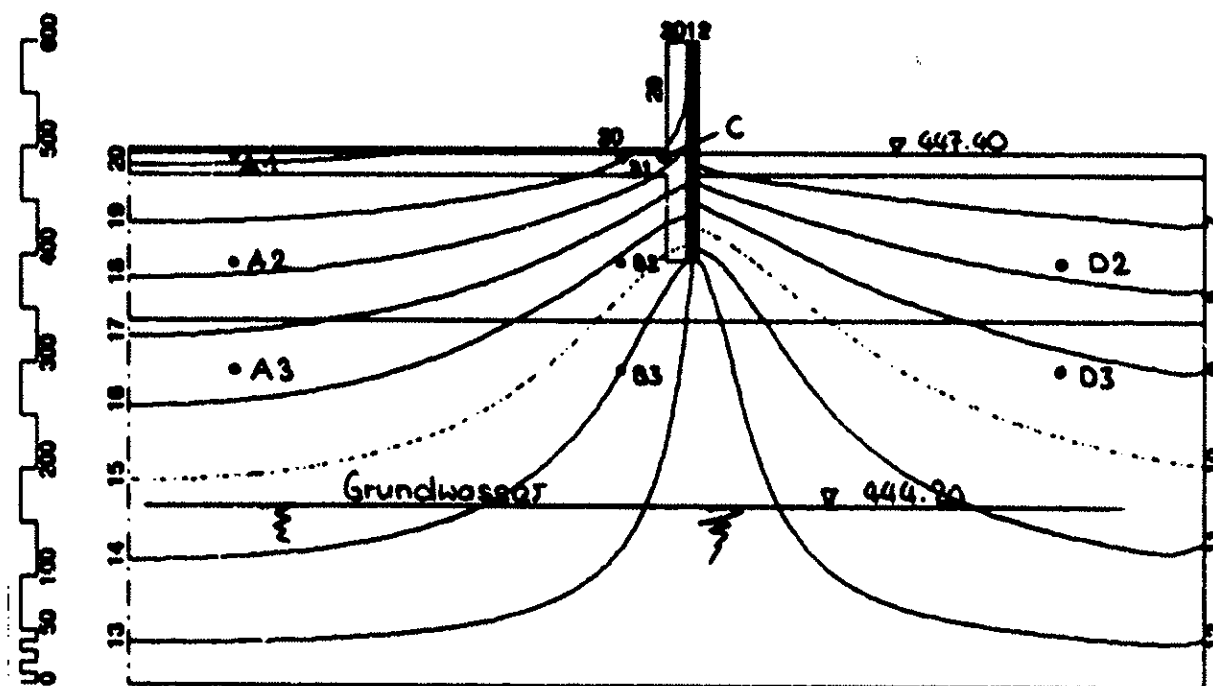
Instell : Holzsockel
 Variante : Sockeltiefe : 200 cm
 Bemerkungen : Analytische Berechnung im Holzperiodenmodell
 Name : April/Mai 1888
 Zeichner : Prof. Dr. J. Mörsel
 Ges. Datum : METTLER 700

Perimeterdämmung
2.0 m



Der Grundwasserspiegel muss hier stehend sein und sich ebenfalls erwärmen. Diese Vermutung lässt sich auch aus den Temperaturganglinien herauslesen.

Grundwasserstand im Temperaturlinienbild



7.2 Auswertung Frau Dr. Ottel, Wien

Frau Dr. Ottel hat im Spezialgebiet Erdreichtemperaturen dissertiert. Ihre Analysen führten zu folgenden Angaben:

λ - Wert-Bestimmung

Rechnet man den λ - Wert für einen homogenen Boden so ergibt sich ein relativ hoher Wert von 2.32 W/mK. Nimmt man eine Inhomogenität an, oben trockener als unten, so ergibt sich ein λ - Wert von 1.1 W/mK für den oberen Bereich.

Die Ganglinien der Temperaturen lassen auf eine Inhomogenität schliessen. Frau Dr. Ottel schlägt vor, noch eine Wärmestrommessung durchzuführen. Diese ist jedoch völlig unmöglich unter Betrieb (starke Belegung, viele innere Abwärmequellen) sehr geringer, rasch wechselnder Wärmefluss von oben nach unten und umgekehrt.

Wärmeabfluss pro Heizperiode (240 d)

Homogener Boden	24.3 kWh/m ²
Inhomogener Boden	16.0 kWh/m ²
Rechnung nach SIA 380/1 bei k-Wert 0.4 W/mK ohne Dämmung	29 kWh/m ² 191 kWh/m ²
Nach Ö-Normen:	
Norm B 8135	30.9 kWh/m ²
Norm M 7500 Teil 3	23.3 kWh/m ²

Linienzuschlag pro m²Wand

Ö-Norm 7500 Teil 2	115 kWh/m ² a
Element 29	121 kWh/m ² a
mittels zweidimensionaler, numerischer Simulation gerechnet	31 kWh/m ² a

7.3 Vorausberechnungen Büro Wick

Die Vorausberechnungen erfolgten unter plausiblen Annahmen, die zum Teil besser, zum Teil schlechter waren im effektiv gemessenen Zustand

	<i>Annahme</i>	<i>Effektiv gemessen</i>
λ - Wert trocken W/mK	1.0	(1.1 ... 2.3) *
Gleichgewichtstemperatur	10°C	12°C
mitwirkende Erdschicht	3.0 m	5.5 m
Raumtemperatur Heizperiode	20°C	20.5°C

* Der λ - Wert konnte nur theoretisch gerechnet werden.

Der Transmissionswärmeverlust in das Erdreich ohne Wärmedämmung ist stets kleiner als die anfallende freie Wärme. In dem von der Fassade *unbeeinflussten Teil* muss keine Heizenergie für die Deckung des Wärmeabflusses aufgewendet werden. Die verbleibende Überschusswärme wird in der Wärmerückgewinnung der Lüftung genutzt.

7.4 Vergleiche Nänni / Ottel / Wick

<i>Einheit</i> <i>kWh/m²a</i>		<i>Wärmeabfluss</i> <i>Fläche</i>	<i>Linienzuschlag</i> <i>pro m Wand</i>
Nänni:		—	38
Ottel:	Inhomogen	16	—
	SIA ungedämmt	191	—
	gedämmt	29	—
	Element 29		121
	Ö-Normen	31/32	115
	zweidimensional	—	31
Wick:	SIA ungedämmt	unzulässig	—
	gedämmt	29	—
	Prognose	12	—
	effektiv	14	—

Je nach Methode ergibt die Rechnung Wick (ungedämmt) Werte zwischen 14 bis 16 kWh/m²a, nach SIA ungedämmt dagegen 191 kWh/m²a und selbst mit Dämmung nach SIA gerechnet noch 29 kWh/m²a.

Der Linienzuschlag stimmt bei Nänni (38 kWh/m²a) und Ottel (31 kWh/m²a) recht gut überein. Hier ergeben die Rechnungen nach Element 29 und Ö-Normen viel zu hohe Werte (115, resp. 121 kWh/m²a).

8. Zusammenfassung

Obwohl die Resultate doch recht unterschiedlich sind, kann man folgendes zweifelsfrei festhalten:

- Die Vorschrift des SIA als Einzelbauteil auf $0.4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ zu dämmen und das Erdreich nicht zu berücksichtigen, führt zu Fehlinvestitionen.
- Die Rechnungsvorschrift ist auch falsch bezüglich der Erdreichtemperatur vom 8°C .
- Eine gute Perimeterdämmung auf minimal 1.0 m Tiefe ist zwingend und im Normalfall ausreichend. Grössere Tiefen schaden nicht, bringen aber keinen erheblichen Nutzen mehr.
- Eine zusätzliche Dämmung des Bodens ist falsch, führt zu unnötigen Investitionen und erhöht den Jahresenergieverbrauch, wenn man die Sommerperiode und die graue Energie mitberücksichtigt.
- Bessere Angaben zum λ -Wert des Erdreiches wären dringend notwendig, insbesondere Angaben zu typisch schweizerischen Baugründen.
- In der Bellage findet sich eine neuere Publikation aus der Tschechoslowakei.
- Ohne Kenntnis des Grundwasserstandes, seiner mittleren Höhe, der maximalen Schwankung, der Temperatur im Jahresverlauf und der Fließgeschwindigkeit, darf man nicht ohne weiteres auf eine Dämmung verzichten.
- Der Verzicht auf eine Dämmung kann in vielen Fällen mit hoher innerer Last zu Energieeinsparungen bei der Kühlung führen.
Beispiele: grosse Hallen, EDV-Räume, Verkaufsräume im Keller usw.
- Bei Bodenheizungen und Kühlräumen im Keller gelten wesentlich andere Regeln.

Die wichtigsten Regeln für die Planung und Berechnung der Bodendämmung sind festzulegen.

9 Vorschläge für neue Planungsgrundlagen

λ- Werte Erdreich	Trocken	Feucht	Nass *
Sauberer Kies	0.6	0.8	1.0
Saubere Sande, ohne Quarzsand	0.5	0.9	1.2
Siltiger Kies/Sand	1.0	1.2	1.5
Bindige Moräne	1.2	1.4	1.8
Lehm	0.7	1.4-2.0	-
Beton	1.8	2.0	-
Sandstein	1.5-2.2	-	-
Kalkstein/Sedimentgestein	2.0-3.0	-	-
Kristalline Gesteine	3.4	-	-

Mitwirkende Schicht:

* stehend, nicht fließend

Max. 3.0 m ohne Grundwasser oder
effektiv bis Grundwasser, sofern dieses weniger tief als 3.0 m steht

Grundwassertemperatur:

12°C bei stehendem Grundwasser

10°C bei fließendem Grundwasser

4°C für Winterfall bei Uferinfiltrationen und Schmelzwasser

Minimal erforderlicher k-Wert gerechnet ohne Wärmedämmung $< 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$

Ein neuer linearer k-Wert am Rand gemäss Wärmebrückenkatalog.

10 Anwendung der Erkenntnisse

Verzicht auf Dämmungen bei grossen Hallenböden (Industriehallen, Turnhallen, Lagerbauten usw.).

Verstärkung der Dämmung bei Fussbodenheizungen und für Schwimmbäder.

Änderungen, resp. Präzisierung

SIA 380/1	Punkt 3.10 Tabelle 6 k-Wert zu Erdreich 0.4 W/mK
SIA 380/1	Anhang D 2-1 Rechenwerte Im Mittelland Erdreich 8°C
SIA 380/1	Mindestausbildung Perimeterdämmung bis 1.0 m unter Erdreich bei trockenem Boden

Praxisänderung bei Zivilschutzbauten:

- Bauten im trockenen Erdreich müssen als hochgedämmt betrachtet werden, sind also kriegsmässig nur bedingt benutzbar. Als Gegenantwort müsste das Dämmverbot in Zivilschutzbauten für die zivile Nutzung gelockert werden.

Bei der Überarbeitung der Empfehlung SIA 272 Grundwasser muss der Abschnitt Grundwasser wesentlich ausgebaut werden.

11 Beilagen

1. Auszug aus dem Vertrag
2. Tabelle 5 aus Bauphysik 12/90 Heft 4

12 Verwendete Literatur

Empfehlung SIA 380/1
Empfehlung SIA 381/1

Energie im Hochbau
Materialkennwerte

Peter Sobotka

Randbedingungen zur Bestimmung des
Wärmeverlustes unterkellerten Gebäude
gegenüber dem Baugrund; in Bauphysik Hefte 4
und 12, 1990, Berlin 1990

Dr. Margaretha Ottel

Das thermische Verhalten erdberührter Bauteile
Dissertation TU Wien, Oktober 1987

Dr. Margaretha Ottel

Das Klimaverhalten von Schutzräumen bei
Belegung Wien 1990

Widen, Juni 1992 BW/bb

2. ARBEITSPLAN

1989	Januar bis März	Voruntersuchungen Prof. Nänni und B.Wick
	April	Erwirkung Zustimmung Bauherrschaft
	Mai	Setzen der ersten Sonden
	Oktober	Plazieren restliche Sonden
	November	Verkabelung Daten-Logger mit Fühlern
1990	Nov. bis Sommer	1. Messperiode
	Herbst	Auswertung
	Dezember	Schlussbericht

Sollte sich im 1. Jahr noch kein stabiler Zustand eingependelt haben, würde ein Gesuch zur Fortsetzung der Messungen gestellt.

2.1 Erwartete Ergebnisse

- Bestätigung der theoretisch errechneten Erdreichtemperaturen nach Rechenmodell Prof. Nänni (Wärmebrückenkatalog II für BEW/SIA)
- Bestätigung des vorausgerechneten Wärmeabflusses gem. Vorausberechnung für Ausnahmebewilligung bei Baueingabe
- Bestätigung der berechneten Minimaltemperatur an der linearen Wärmebrücke Boden/Wand.
- Planungshilfen für Architekten
- Kontroll-Hilfen für Prüfbehörden

2.2 Gewählter Lösungsweg

- Theoretische Vorausberechnungen
- Setzen von Messsonden und Messungen am Bau
- Notieren der Temperaturschwingungen mit Datenlogger über 1 Jahr
 - 3 Oberflächentemperaturen
 - 6 Erdreichtemperaturen
 - 1 Aussentemperatur (ev. von Projekt Schwerzenbacherhof)
- Bestimmen des Erdreich-Lambda-Wertes (EMPA)
- Auswerten der Temperaturmessungen
- Vergleich mit theoretischer Rechnung
 - Rechenmodell Prof. Nänni
 - Baueingabe Fa. Mettler AG
- Schlussbericht

2.3 Resultate

Empfehlungen zur Behandlung dieser Spezialprobleme

- in den SIA-Normen
- im Wärmebrückenkatalog
- bei der Behandlung von Baueingaben.

2.4 Abgrenzung

Es wird ein Fall gemessen und Tendenzen für andere Fälle aufgezeigt.
Dies ist eine Unterarbeit zum Thema Wärmebrückenkatalog (NEFF 262.3).

3. ERFORDERLICHE MITTEL

3.1 Zur Mitarbeit bereitete Organisationen

- Bauherr Mettler Instrumente AG, Greifensee
- HTL Windisch, Hr. Prof. Nänni
- Kanton Zürich, Energiefachstelle (Hr. Kriesi)
- EMPA Dübendorf
- Herren Baumgartner / Gabathuler

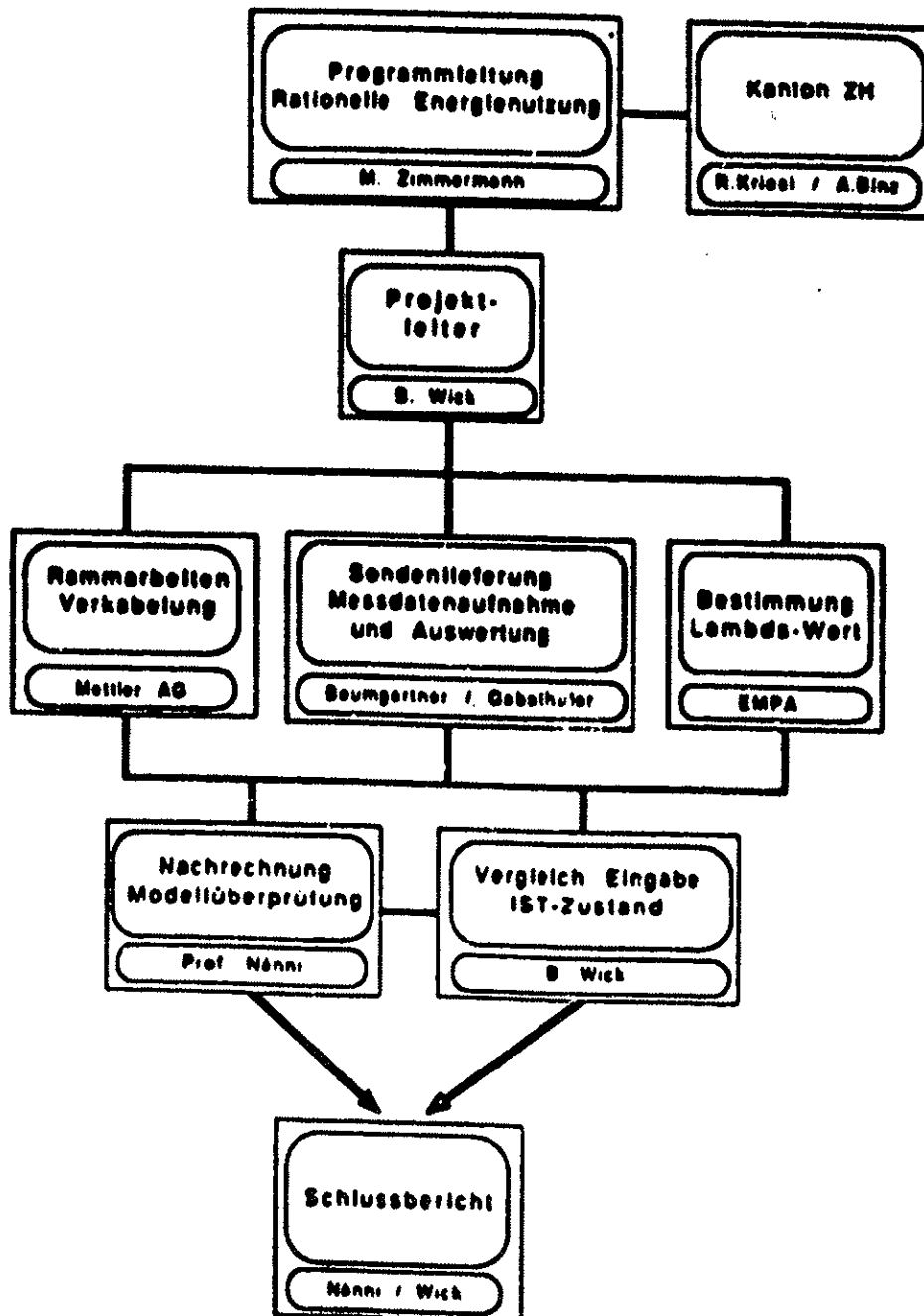


Tabelle 5. Wärmetechnische Eigenschaften der Bodenarten

Bodenart	1 (kg/m ³)	2 c (°/kg · K)	3 c · 10 ⁻⁶ (J/m ³ · K)	4 λ (W/m · K)	5 α · 10 ⁴ m ² /h	6 Bemerkung	7 Literatur
bindiger Boden	1800	840	1,512 **	0,7	0,463 **	t = 20°C	Cibulka [1]
feuchter Boden	2000			1,45		t = 20°C	
Kies	1600-1700	755	1,208 **	0,32-0,64	0,43-0,52 **	t = 20°C	
Granit	2700	880	2,376 **	3,4	1,4	t = 20°C	
sandig-lehmiger Boden							Cukrovský [2]
10% Feuchtigkeit	1000 ⁰⁰			0,35			
20% Feuchtigkeit	1000 ⁰⁰			0,57			
sandig-lehmiger Boden							
10% Feuchtigkeit	1300 ⁰⁰			0,62			
20% Feuchtigkeit	1300 ⁰⁰			0,94			
Ton	1457,7	880	1,282 **	1,279	1,01	t = 20°C	Eckert, Drake [3]
Boden mit grobem Kies	2030	1840	3,772 **	0,52	0,139	t = 20°C	
Sandstein	2162-2307	710	1,535-1,638 **	1,63-2,1	1,06-1,26	t = 20°C	
Granit				1,7-4,0			
Ton, 0,5 kg Wasser/kg	1130 ⁰⁰		3,2	1,3	0,406 **	t = 0°C	Franck [4]
Ton, 0,5 kg Wasser/kg	1130 ⁰⁰			2,5	1,207 **	t = 0°C	
Ton, 0,5 kg Wasser/kg	1030 ⁰⁰		3,4	1,0	0,254 **	t = 0°C	
Ton, 0,5 kg Wasser/kg	1030 ⁰⁰		2,07	2,36	1,140 **	t = 0°C	
nichtbindige, terrigene Böden	1200-1500	875-700	1,05 ⁰¹ -0,07	0,77 ⁰¹	0,73 ⁰¹	Tiefe	Gordjenko, Zavgornaja [5]
Sand, Lehme, lehmige Sande	2000-2500	1,200-960	2,04	0,78-0,278	0,25	0,2-3,0 m	
sandiger Lehm, sandiger Ton				1,4-1,7 (1,44 ⁰¹)	0,6	Tiefe 5-30 m	
trochener Lehm	1800			0,7			Halabaja [6]
gewachsenar sandig-lehmiger Boden, luftgetrocknet	1800			1,4			
lehmiger Boden, feucht	2000			2,3			
Durchschnittswerte für obere Erdschichten					1,0		Ingerson, Zobel, Ingerson [7]
Kalkerde, 43% Feuchtigkeit	1670	2219	3,7 **	0,70	0,19		
Quarzsand, Mittelhorn, trocken	1650	795	1,3 **	0,26	0,2		
Quarzsand, 8,3% Feuchtigk.	1730	1005	1,8 **	0,59	0,33		
sandiger Ton, 15% Feuchte, Boden sehr trocken	1780	1382	2,5 **	0,92	0,37		
einige feuchte Böden				0,17-0,33	0,2-0,3		
sehr feuchte Böden, Schiefer	1500	2512	3,8 **	1,26-3,35	0,4-1,0		
				0,84	0,22		
Ton	1490	1765,1 ⁰	2,63	0,88 (0,9)	0,342 **		Mittler [10]
Ton				0,8-0,9			Mittler [10]
sandiger Boden				1,2-1,35			nach
festes Erdreich, feucht				1,8-2,0			Karson [8]
Sand							
sandiger Boden, mittelfeucht				1,16			Orwald [12]
tonhaltiger Boden, mittelfeucht				2,32			
lehmiger Boden	1700	1231	2,093 **	1,128	0,539	t = 0°C	Pechović, Zidkin [13]
sandiges Boden	1700	1281	2,178 **	1,558	0,715	t = 0°C	
sandiger Boden	2000	1486	2,972 **	2,384	0,802	t = 0°C	
lehmig-sandiger Boden	1960	1156	2,266 **	1,490	0,658	t = 20°C	
Aufschüttungen	1800	837	1,507 **	0,814	0,540	t = 0°C	
lehmiger Boden	1700	959	1,630 **	1,384	0,849	t = 0°C	
sandiger Boden	1700	909	1,545 **	2,233	1,444	t = 0°C	
sandiger Boden	2000	1005	2,01 **	3,663	1,821	t = 0°C	
Schluff							Zámeček [16]
20% Feuchtigkeit	1320 ⁰⁰		1,275	0,46		t = 20°C	
40% Feuchtigkeit	1320 ⁰⁰		1,710	1,08		t = 20°C	
sandig-lehmiger Boden							
20% Feuchtigkeit	1000-1300 ⁰⁰			0,48			
40% Feuchtigkeit	1000-1300 ⁰⁰			0,74			

** berechnete Werte
⁰ trocken
⁰⁰ 40 M.-% Feuchte