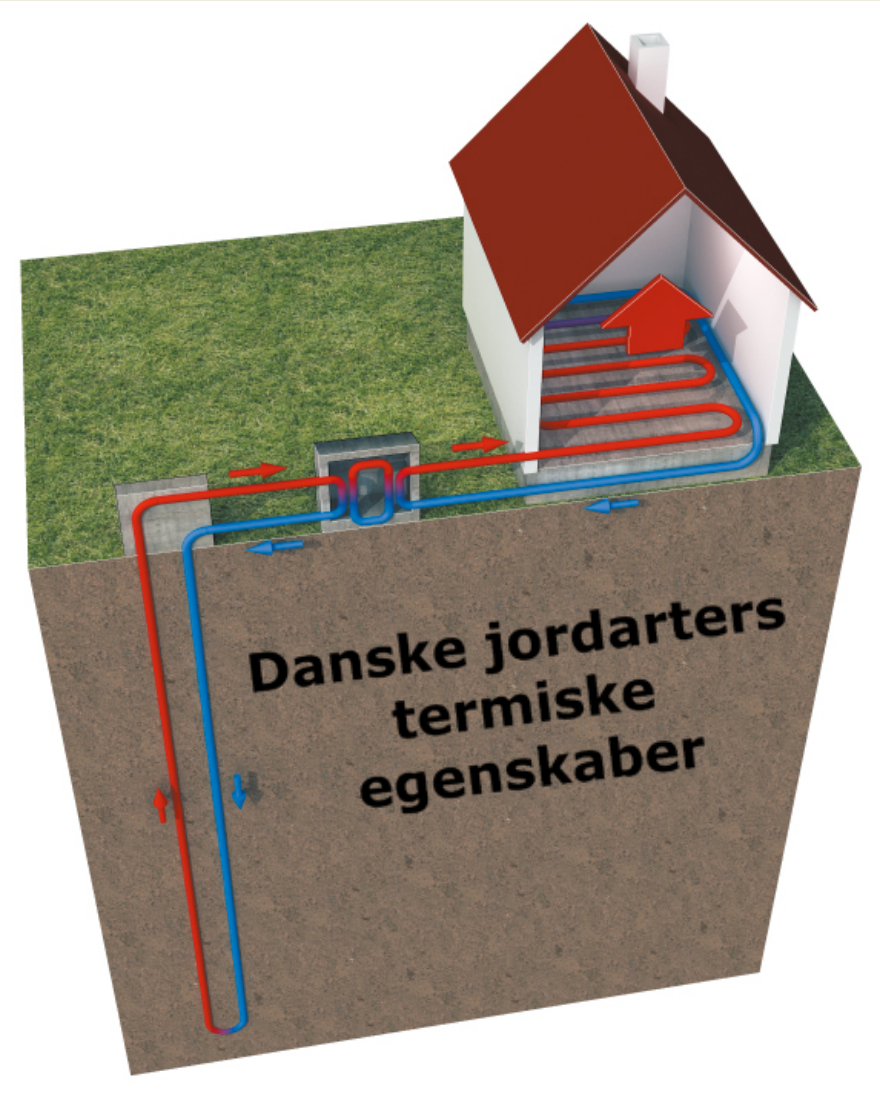
GEUS

GEOENERGI
Lukkede jordvarmeboringer
-viden, værktøjer og best practice



Specifik varmekapacitet (J/K m^3)

Varmeledningsevne (W/mK)

Termisk diffusivitet (m^2/s)

Varmetransport ved grundvandsstrømning

Claus Ditlefsen & Inga Sørensen

EUDP
Energiteknologisk udvikling og demonstration

Mineralers termiske egenskaber

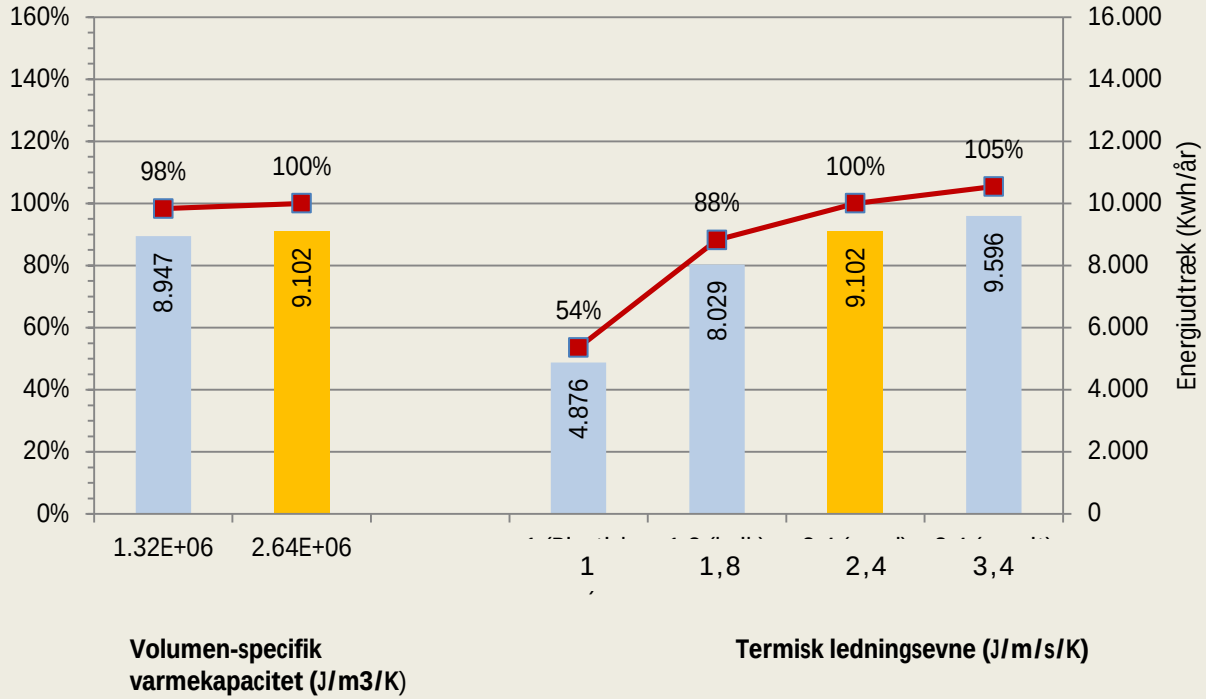
Mineral	Specifik varmekapacitet MJ/m^{3}K
Kvarts	1,9-2,0
Feldspat	1,6-2,2
Glimmer	2,2-2,3
Calsit	2,2
Vand (10° C)	4,15
Luft (1 atm.)	0,0013

Fra Banks (2008)

Mineral	Varmeledningsevne W/mK
Kvarts	7,7
Feldspat	1,5-2,5
Glimmer	2,0-2,3
Calsit	3,6
Vand (10° C)	0,6
Luft (1 atm.)	0,024

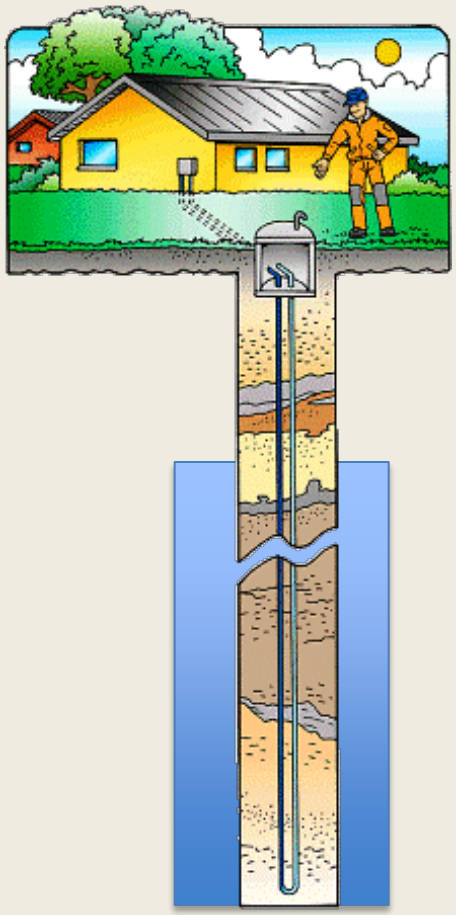
Varmekapacitet og varmeledningsevnens betydning for energiudtræk

Simulering med FeFlow



Fra Højberg og Jensen, 2014 (GeoEnergi D20)

Varmeledningsevne i forskellige typer af aflejringer (internationale tabelværdier)

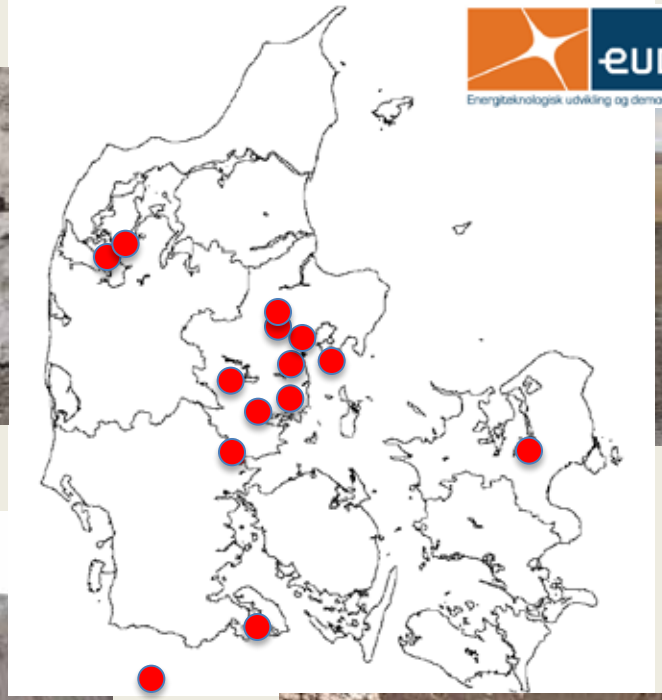


Rock	Density ρ	Thermal conductivity λ	
	10^3 kg/m^3	W/(m · K)	
			Typical characteristic values
Unconsolidated rocks			
Gravel, dry	2.7–2.8	0.4–0.5	0.4
Gravel, watersaturated	approx. 2.7	approx. 1.8	(1.8)
Moraine	n.a.	1.0–2.5	(2.0)
Sand, dry	2.6–2.7	0.3–0.8	0.4
Sand, watersaturated	2.6–2.7	1.7–5.0	(2.4)
Clay/silt, dry	n.a.	0.4–1.0	0.5
Clay/silt, watersaturated	n.a.	0.9–2.3	(1.7)
Peat	n.a.	0.2–0.7	(0.4)

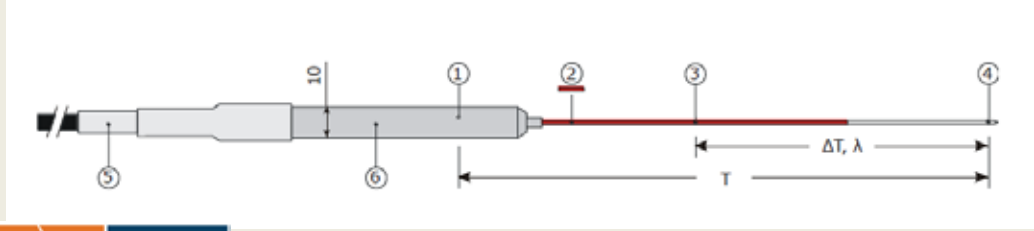
Fra den tyske norm for jordvarmeanlæg
VDI (2010)

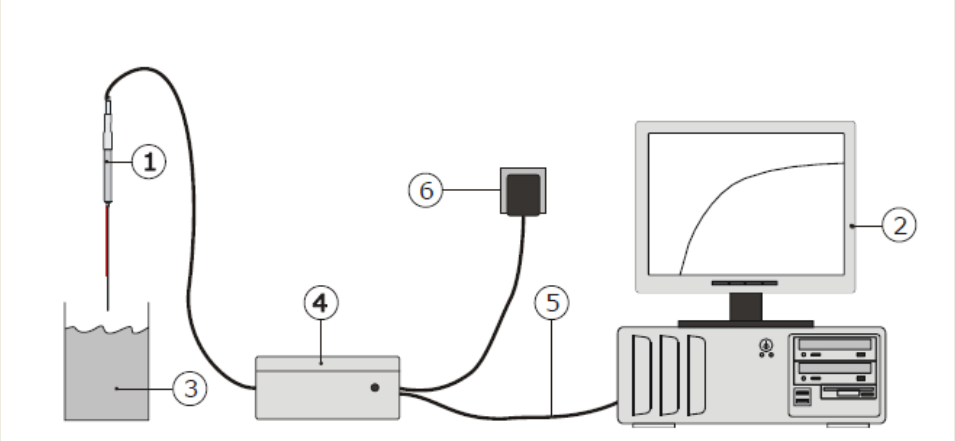
GEUS

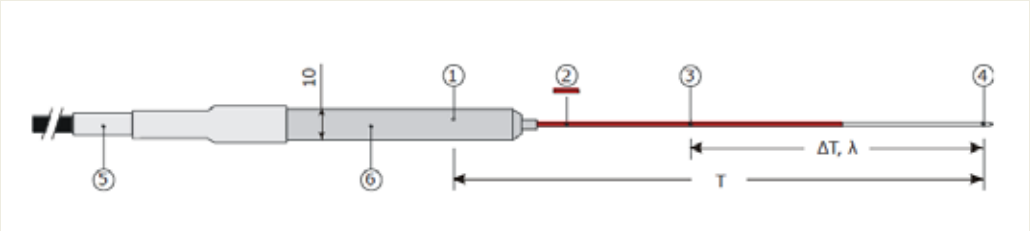
Prøvetagning på udvalgte geologiske lokaliteter

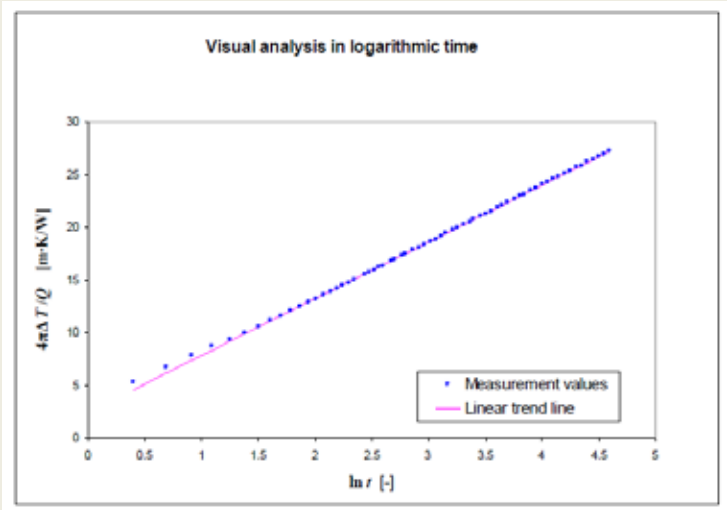


Prøve præparation







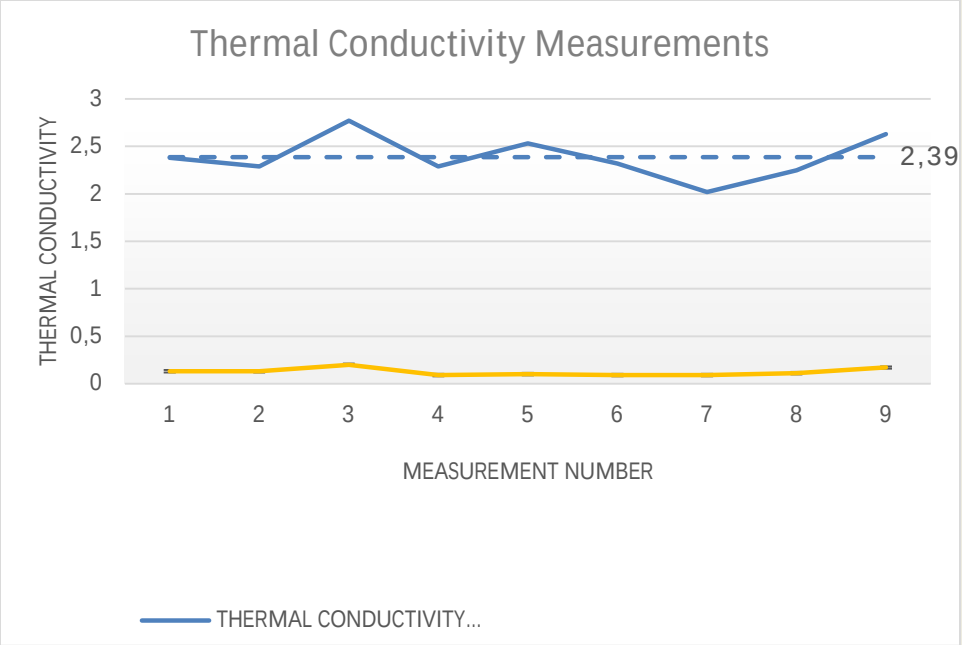


Varmeledning i linieformet legme

$$\Delta T = (Q / 4 \pi \lambda) (\ln t + B)$$

Gentagne målinger på samme prøve

Smeltevandssand
-Slesvig-Holstein



Leibniz-Institut für Angewandte Geophysik, Hannover 2,4 W /mK

Databehandling Maria Alberdi Pagola

GEUS

–**Måling af termiske ledningsevne**

–**Vandmættede sedimenter**

–**(foreløbige resultater)**

Sediment				l avg W/mK
Postglacialt marint gytje, (Helgenæs)				0,65
Smeltevandsler, siltet(Odder)				1,22
Smeltevandsler, siltet (Risskov)				1,40
Marint interglacialt ler, Kås, Salling				1,05
Moræneler, sandet (Haldum)				1,70
Moræneler, sandet (Voervadsbro)				2,33
Moræneler (Boring Horsens)				2,03
Moræneler, sandet (Roskilde)				2,37
Morænesand (Knuds Strand,Salling)				2,03
Smeltevandssand, m-g, gruset (Vestbrik)				2,22
Smeltevandssand, finkornet (Roskilde)				2,19
Smeltevandssand, m gruset, (Højbjerg)				2,33
Kvartssand, mellem-groft (Boring, Horsens)				2,31
Kvartssand, mellemkortnet (Voervadsbro)				2,62
Kvartssand, groft (Vorevadsbro)				2,95
Glimmersand (Vejlefjord)				1,73
Glimmerler (Vejlefjord)				1,11
Søvind Mergel (Boring Glud)				1,40
Lillebæltsler (Ølst)				0,90

Gennemsnitlig varmeledningsevne for udbredte sedimenttyper (vandmættet)

Sediment type	Varmeledningsevne W/ mK	Antal prøver	STD W/ mK	Interval W / mK	Antal lokaliteter
Gytje og tørv	0,68	3	0,15	0,56-0,86	1
Fed, plastisk ler	0,98	3	0,17	0,80-1,14	1
Siltet ler	1,15	10	0,17	0,90-1,42	5
Finkornet glimmersand	1,81	8	0,27	1,48- 2,18	4
Moræneaflejringer	1,89	19	0,30	1,40-2,66	6
Gruset sand	2,24	4	0,19	1,98-2,43	4
Kvartssands	2,75	3	0,51	2,41-3,34	3
Kalk	1,62	4	0,13		4

Offentlig database med termiske måleresultater

Indlæste termiske målinger på jordprøver

Indlæste termiske målinger på jordprøver

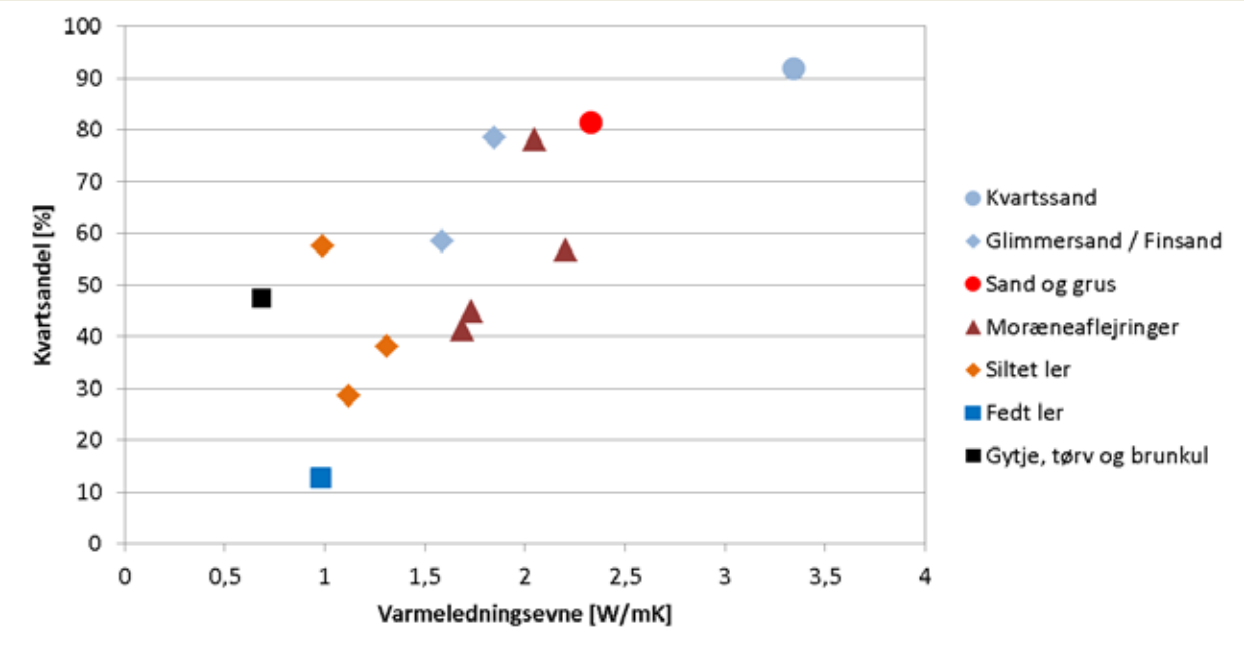
Søgning: ml

DGU-nr	Top	Bund	DGU Symbol (Jupiter)	XUTM	YUTM	Kote	Prøvebeskrivelse	Parameter	Metode	Måletidspunkt	Instans	Operator	Resultat	Std	Bemærk
			ml	705150	6173450	22		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-08-28 00:00:00.0	geus	cdi	2	0.13	
			ml	563040	6239170	80		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-04-19 00:00:00.0	geus	cdi	1.74	0.19	
			ml	547540	6081500	3		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2013-06-20 00:00:00.0	geus	cdi	1.69	0.31	
			ml	543860	6208190	75		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-06-14 00:00:00.0	geus	cdi	2.2	0.41	

Grusgrav vest for Haldum, v Hinnerup. Top moraene, 5 proever, forvitret og uforvitret

			ds	544580	6205090	45		Varmeledningsevne W / m K	nål (probe) 1	00:00:00.0	geus	cdi	2.22	null	
107.1580	28.75	30	gi	0	0	0		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2014-11-19 00:00:00.0	geus	cdi	2.1	0.1	
			qs	482920	6270270	6		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-11-16 00:00:00.0	geus	cdi	1.96	null	
107.1580	28.75	30	gi	0	0	0		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-01-19 00:00:00.0	geus	cdi	2.41	null	
			ds	705150	6173450	20		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-06-28 00:00:00.0	geus	null	2.18	0.01	
			ds	575146	6219223	62		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-06-12 00:00:00.0	geus	cdi	1.98	null	
107.1580	28.75	30	gi	0	0	0		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-04-19 00:00:00.0	geus	cdi	2.41	0.18	
			ml	705150	6173450	22		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-08-28 00:00:00.0	geus	cdi	2	0.13	
			ml	563040	6239170	80		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-04-19 00:00:00.0	geus	cdi	1.74	0.19	
			ml	547540	6081500	3		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2013-06-20 00:00:00.0	geus	cdi	1.69	0.31	
			ml	543860	6208190	75		Varmeledningsevne W / m K	Termisk nål (probe) 1	2012-06-14 00:00:00.0	geus	cdi	2.2	0.41	
									Termisk						

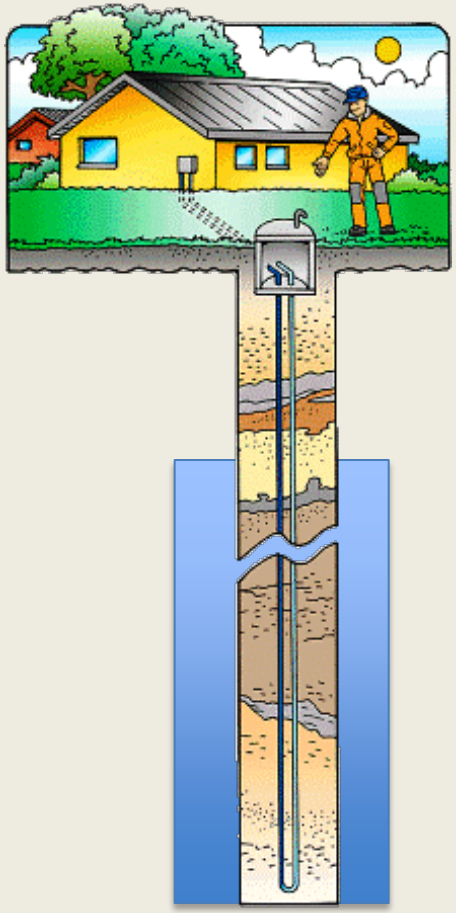
Varmeledningsevne vs mineralogi



GEUS

GEOENERGI
Lukkede jordvarmeboringer
-viden, værktøjer og best practice

Konklusioner



De naturlige variationer i varmeledningsevnen i aflejringerne omkring en lukket jordvarmeboring kan betyde forskel på mere end 40% i det årlige energioptag .

Internationalt publicerede ledningsevne værdier viser store variationer indenfor samme sedimenttype

Målinger på en række danske prøve af forskellige danske sedimenttyper viser at varmeledningsevnen inden for en sedimenttype i Danmark varierer betydeligt mindre end antydet af de internationale tabelværdier.

Indenfor 8 almindeligt forekommende klasser af sedimenter viser varmeledningsmålingerne standardafvigelser på omkring 0,1-0,3 W/mK
~ omkring 10% til 20% af medianværdierne.

Det foreslås på den baggrund at man kan estimere varmeledningsevnen omkring en eksisterende boring ud fra sedimentbeskrivelser, - der kan henføre de fundne jordarter til en af de undersøgte klasser.

Dette giver mulighed for indledende at vurdere varmeledningsevnen og dermed energioptaget inden man borer.

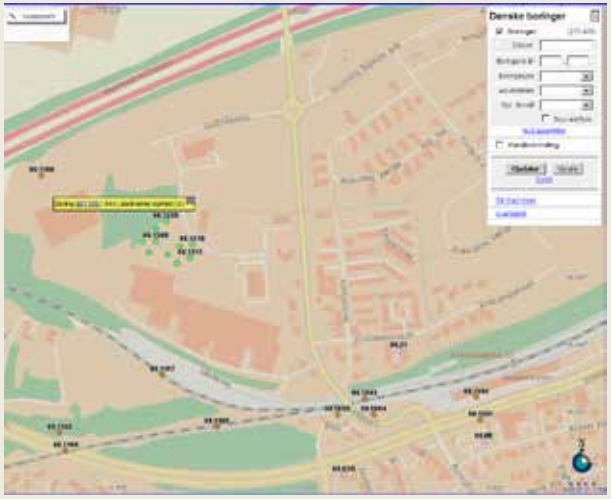
EUDP
Energiteknologisk udvikling og demonstration

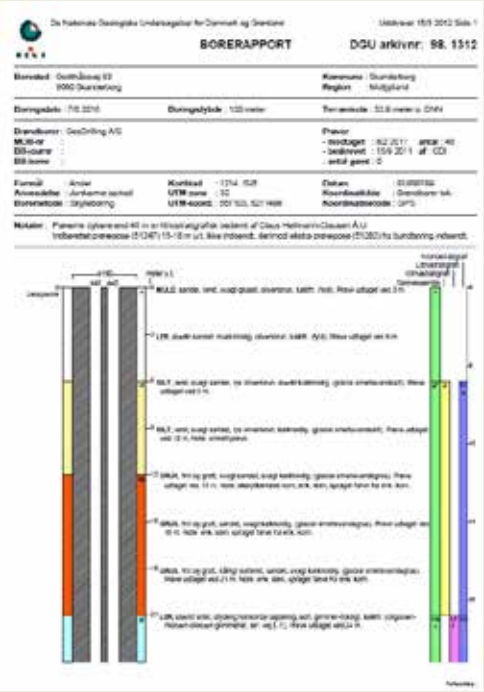
–Oplysninger i JUPITER

- Borearkiv / fælles offentlig database
- Grundlagt i 1926

>270.000 borehole descriptions

=> 5 boreholes / km^2





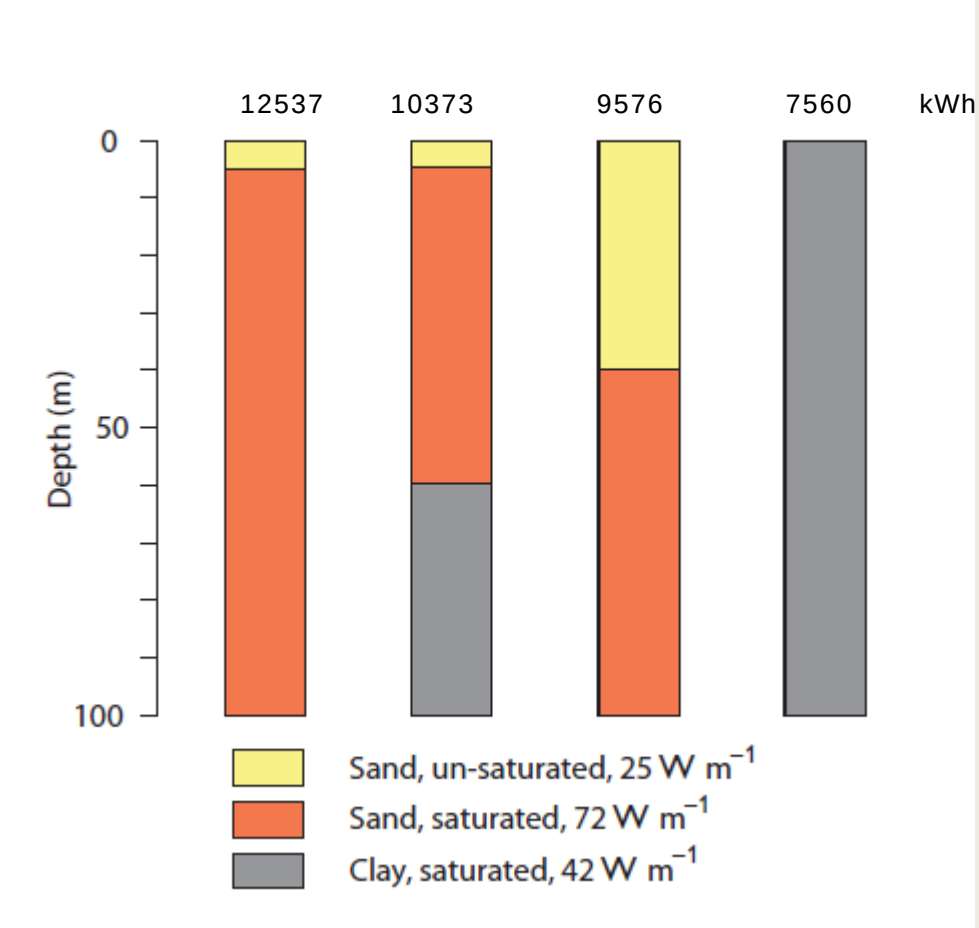
–Oplysningerne er gratis til rådighed på nettet

Måling på forskellige prøver fra sammen enhed

Formation	Antal prøver	Gennemsnitlig varmeledningsevne (W/mK)	En standard - afvigelse (W/mK)	Std %	Sedimenttype
Plastisk ler Ølst	3	0,98	0,17	17	Fedt ler
Tapes sand, Stensigmose	4	1,59	0,08	5	Glimmersand / Finsand
Fint sand, Kallerup, Roskilde	2	2,18	0,01	1	Glimmersand / Finsand
Gytje, Helgenæs	3	0,68	0,15	22	Gytje, tørv
Øvre Moræneler, Voervadsbro	3	2,20	0,41	19	Moræneaflejringer
Nedre moræneler, Stensigmose	5	1,69	0,31	18	Moræneaflejringer
Øvre moræneler Haldum	5	1,74	0,19	11	Moræneaflejringer
Morænesand, Knudsstrand	2	2,05	0,13	6	Moræneaflejringer
Moræneler, Kallerup, Roskilde	2	2,00	0,13	6	Moræneaflejringer
Moræneler VIA	2	2,01	0,05	2	Moræneaflejringer
Cyprina Ler, Stensigmose	2	1,31	0,16	12	Siltet ler
Glacialt smeltevandsler, Odder	4	1,12	0,14	13	Siltet ler
Glimmerler, Brejning	2	0,99	0,13	13	Siltet ler

–Anslået årlig udbytte

–Standard design, 1800 timers produktion



–Specifik varmeudtræk fra VDI (2001)

GEUS

–**Varmeledningsevne i danske sedimenter**

–**Publicerede værdier**

Sediment	Reference	l min W/mK	l max W/mK	l avg W/mK
SAND	B	1,95	2,004	1,97
SAND, fine silty	B	1,704	1,713	1,71
SAND, fine, silty	B	1,943	2,122	1,94
SAND, medium grainsize	B	1,89	1,9	1,9
Clay Till	B	2,18	2,21	2,21
Clay Till, sandy	B	2	2,09	2,06
Clay Till, very sandy	B	2,2	2,31	2,27
Marine clay, Oligocene Viborg 5, 215 m	A			1.39
Marine clay, Oligocene Vinding 1, 340 m	A			1.48
Marine clay, Eocæn-Paleocene Viborg 5, 243-312 m	A	1,34	1,40	1.38
Marine clay, Eocæn-Paleocene Viborg 1, 434 m	A			1.56
Chalk Gasum 1 (136-267 m)	A	1,7	1,86	1,8
Chalk Rønnebjerg 1 (171-283m)	A	1,55	1,67	1,61
Chalk Svenstrup (124-198 m)	A	1.45	1.52	1,49
Chalk Vemb 1 (127 m) Geoteknisk	A			1,57
A: Geoteknisk Institut (1986)				
B: Balling et al. (1981)				

EUDP
Energiteknologisk udvikling og demonstration