



Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T +31 15 276 30 00



F +31 15 276 30 10

wegwijzer@tno.nl

TNO-rapport

034-DTM-2010-03203

De warmteverliescoëfficiënt van een begane
grondvloer bij toepassing van DroCom chips als
bodemisolatie in kruipruimtes

Datum	23 augustus 2010
Auteur(s)	Ir. K. van Zundert  C.J.J. Castenmiller 
Opdrachtgever	Helmwijk B.V. T.a.v. de heer A.P.J. Diethelm / E. Diethelm Albert van 't Hartweg 9 2665 LJ Bleiswijk
Projectnummer	034.22730/01.15.01
Aantal pagina's	13 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	2

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Berekeningsmethoden	4
3	Resultaten.....	6
3.1	Warmteverliescoëfficiënt vloer zonder DroCom isolatie	6
3.2	Warmteverliescoëfficiënt vloer met DroCom isolatie	6
4	Samenvatting en conclusies	8

Bijlage(n)

A Foto

B Rekenmodel uit SBR richtlijn nr. 4

1 Inleiding

Het warmteverlies via een begane grondvloer wordt niet alleen bepaald door de warmteweerstand van de begane grondvloer zelf maar ook door de ondergrond. Zo wordt het warmteverlies bij vloeren boven kruipruimtes onder andere mede bepaald door de mate van ventilatie van de kruipruimte en een eventueel op de bodem van de kruipruimte aangebrachte isolatielaag.

DroCom chips is een los te storten materiaal bestaande uit kunststof chips (zie foto 1), dat specifiek in kruipruimten wordt aangebracht om het warmteverlies via de begane grondvloer te beperken als ook om de vochtigheid in de kruipruimte te reduceren.

Door Helmwijk B.V. te Bleiswijk werd aan TNO Bouw en Ondergrond de opdracht verstrekt het effect van DroCom chips op het warmteverlies via de begane grondvloer te berekenen. Hierbij diende te worden uitgegaan van een laagdikte van respectievelijk 20 cm, 25 cm en 30 cm DroCom chips in combinatie met een ongeïsoleerde begane grondvloer. Een vergelijk diende te worden gemaakt met het warmteverlies via een geïsoleerde begane grondvloer zonder bodemisolatie.

2 Berekeningsmethoden

In het normblad NPR 2068:2002 “Thermische isolatie van gebouwen – Vereenvoudigde rekenmethoden” wordt een formule gegeven voor de stationaire warmteverliescoëfficiënt van vloeren boven een kruipruimte. Deze formule luidt als volgt:

$$L_S = a (A_{T,rand} \cdot U_{vl+gr,rand} + A_{T,midden} \cdot U_{vl+gr,midden}) + \sum P_i \cdot \Psi_{gr,j} + \sum P_i \cdot (\Psi_{e,j} + 180 \varepsilon) \quad (1)$$

Hierin is:

L_S	is de warmteverliescoëfficiënt, in W/K
a	is een weegfactor, voor woningen en woongebouwen te stellen op 0,6 gedurende het stookseizoen
$A_{T,rand}$	is de (binnenwerkse) oppervlakte van de vloer, die grenst aan een buitenwand voor zover niet verder verwijderd dan 5 m van de begrenzing, in m^2
$U_{vl+gr,rand}$	is de warmtedoorgangcoëfficiënt van het samenstel van vloer, kruipruimte en ondergrond, in $W/(m^2 \cdot K)$
$A_{T,midden}$	is de oppervlakte van het gedeelte van de vloer dat grenst aan de binnenzijde van de randzone, in m^2
$U_{vl+gr,midden}$	is de warmtedoorgangcoëfficiënt van het samenstel van de niet in de randzone gelegen vloer, kruipruimte en ondergrond, in $W/(m^2 \cdot K)$
P_i	is deel i van de (binnenwerkse) omtrek van de vloer waarover de doorsnede constant blijft, in m
$\Psi_{gr,j}$	is de lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt naar de grond, te stellen op $-0,1 W/(m \cdot K)$
$\Psi_{e,j}$	is de lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt naar de buitenlucht, te stellen op $0,9 W/(m \cdot K)$
ε	is de oppervlakte van de ventilatieopeningen per meter omtrek lengte van de kruipruimte ; indien niet bekend geldt $\varepsilon = 0,0012 m^2/m$

De warmtedoorgangcoëfficiënt van het samenstel van vloer, kruipruimte en ondergrond moet worden berekend met:

$$U_{vl+gr} = 1 / (R_{c,vi} + (D_{gr} - h_{kr}) / \lambda_{gr} + h_{kr} / \lambda_{eq} + R_{si}) \quad (2)$$

Hierin is:

U_{vl+gr}	is de warmtedoorgangcoëfficiënt van het samenstel van vloer, kruipruimte en ondergrond, in $W/(m^2 \cdot K)$
$R_{c,vi}$	is de warmteweerstand van de begane grondvloer, in $W/(m^2 \cdot K)$
D_{gr}	is de in rekening te brengen diepte onder het maaiveld, te stellen op 10 m
h_{kr}	is de hoogte van de kruipruimte, in m
λ_{gr}	is de warmtegeleidingscoëfficiënt van de grond, te stellen op $2,0 W/(m \cdot K)$
λ_{eq}	is de warmtegeleidingscoëfficiënt van de lucht in de kruipruimte, te stellen op $3,0 W/(m \cdot K)$
R_{si}	is de warmteovergangweerstand aan de zijde van de ingaande warmtestroom, in $m^2 \cdot K/W$

Opgemerkt wordt dat de waarde 180 is afgeleid door een forfaitaire waarde van 0,6 aan te houden voor de temperatuurverhouding in de kruipruimte.

Indien een isolatielaag op de bodem van de kruipruimte is aangebracht zou de waarde 180 moeten worden vervangen door $300(\frac{1}{2}\theta_{dk} + \frac{1}{2}\theta_{ok} - \theta_e)/(\theta_i - \theta_e)$.

Deze waarde zal voor de bodemisolatie met DroCom chips worden berekend met het rekenmodel uit SBR richtlijn nr. 4: "Maatregelen in kruipruiten, Thermische en hygrische afscherming". In dit rekenmodel wordt een warmtebalans en een vochtbalans voor een kruipruimte gegeven. In de warmtebalans wordt rekening gehouden met de warmtetoevoer of -afvoer via de begane grondvloer, de fundering, de bodem en via ventilatie, alsmede door verdamping van vocht of condensatie.

In de bijlage wordt meer informatie gegeven over dit rekenmodel.

Voor de uit te voeren berekeningen wordt uitgegaan van een tussenwoning met een diepte van 10 m en een breedte van 5 m. Voor de hoogte van de kruipruimte (zonder DroCom isolatie) wordt 0,6 meter gehanteerd.

3 Resultaten

3.1 Warmteverliescoëfficiënt vloer zonder DroCom isolatie

De warmteverliescoëfficiënt van de begane grondvloer is berekend als functie van de warmteweerstand van de begane grondvloer. Voor de gegeven woning kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- $A_{T,rand} = 50 \text{ m}^2$
- $A_{T,midden} = 0 \text{ m}^2$
- $P_i = 10 \text{ m}$

In onderstaande tabel 1 zijn de resultaten gegeven.

Tabel 1. Warmteverliescoëfficiënt L_s als functie van R_c van de begane grondvloer

R_c vloer	L_s (W/K)	R_c vloer	L_s (W/K)
1,0	15,50	3,0	14,28
1,2	15,35	3,2	14,19
1,4	15,20	3,4	14,10
1,6	15,06	3,6	14,02
1,8	14,93	3,8	13,94
2,0	14,80	4,0	13,87
2,2	14,69	4,2	13,80
2,4	14,58	4,4	13,73
2,6	14,47	4,6	13,66
2,8	14,37	4,8	13,60
3,0	14,28	5,0	13,54

3.2 Warmteverliescoëfficiënt vloer met DroCom isolatie

In eerste instantie is met het rekenmodel uit de SBR richtlijn nr. 4 de temperatuur in de kruipruimte berekend. Uit deze temperaturen is vervolgens temperatuurverhouding in de kruipruimte berekend.

Uitgegaan is van een binnentemperatuur van 18 °C en een ventilatievoud van de kruipruimte van $0,6 \text{ h}^{-1}$. Voor de warmteweerstand van de begane grondvloer is uitgegaan van een ongeïsoleerde vloer met $R_c = 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

Voor de eigenschappen van de DroCom chips zijn de volgende waarden gehanteerd:

- warmtegeleidingscoëfficiënt = $0,061 \text{ W/(m.K)}$;
- vochtweerstandsgetal = $2,4$.

De warmtegeleidingscoëfficiënt van de DroCom chips is ontleend aan TNO rapport 034-DTM-2010-02968. Het vochtweerstandsgetal van de DroCom chips is ontleend aan TNO rapport 2005-BC-R0031.

In onderstaande tabel 2 zijn de maandgemiddelde temperaturen in de kruipruimte en de hieruit berekende temperatuurverhouding in de kruipruimte gegeven voor de periode september tot en met april.

Tabel 2. Temperaturen in de kruipruimte en de temperatuurverhouding bij toepassing van DroCom chips

Maand	Buiten-temperatuur	Temperatuur in kruipruimte bij laagdikte DroCom			Temperatuurverhouding bij laagdikte DroCom		
		20 cm	25 cm	30 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Sep	14,3	17,0	17,1	17,2	0,73	0,76	0,78
Okt	10,0	16,5	16,7	16,8	0,81	0,84	0,85
Nov	5,9	16,0	16,3	16,5	0,83	0,86	0,88
Dec	3,0	15,6	15,9	16,1	0,84	0,86	0,87
Jan	1,7	15,4	15,7	16,0	0,84	0,86	0,88
Feb	2,0	15,4	15,	15,9	0,84	0,86	0,87
Maart	5,0	15,7	15,9	16,2	0,82	0,84	0,86
April	8,5	16,1	16,3	16,5	0,80	0,82	0,84
gemiddeld					0,81	0,84	0,85

Op basis van deze resultaten dient voor de factor 180 in relatie (1) te worden gehanteerd:

- voor 20 cm DroCom: 243;
- voor 25 cm DroCom: 252;
- voor 30 cm DroCom: 255.

Berekening van de warmteverliescoëfficiënt van de vloer levert dan op:

- voor 20 cm DroCom: $L_s = 14,73 \text{ W/K}$;
- voor 25 cm DroCom: $L_s = 14,55 \text{ W/K}$;
- voor 30 cm DroCom: $L_s = 14,33 \text{ W/K}$.

Vergelijken we deze waarden met de warmteverliescoëfficiënt voor een geïsoleerde bande grondvloer zonder DroCom chips in de kruipruimte dan blijkt dat:

- 20 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = $2,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- 25 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = $2,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$;
- 30 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = $2,9 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$.

4 Samenvatting en conclusies

Berekeningen zijn uitgevoerd voor de warmteverliescoëfficiënt van een begane grondvloer boven een kruipruimte. Hierbij is uitgegaan van de formules die gegeven zijn in NPR 2068:2002 “Thermische isolatie van gebouwen – Vereenvoudigde rekenmethoden”.

Een vergelijk is gemaakt tussen de warmteverliescoëfficiënt van een geïsoleerde begane grondvloer boven een kruipruimte en een ongeïsoleerde begane grondvloer in combinatie met een laag DroCom chips op de bodem van de kruipruimte.

Uit deze berekeningen van de warmteverliescoëfficiënt is gebleken dat:

- 20 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = 2,1 $m^2.K/W$;
- 25 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = 2,4 $m^2.K/W$;
- 30 cm DroCom gelijkwaardig is met R_c vloer = 2,9 $m^2.K/W$.

A Foto



Foto 1. Beeld van de DroCom chips.

B Rekenmodel uit SBR richtlijn nr. 4

KRUIPRUIMTEN

BIJLAGE A

Rekenmodel thermisch/hygrisch gedrag van een kruipruimte

De volgende vergelijkingen worden gebruikt om het thermisch/hygrisch gedrag van een kruipruimte te berekenen:

warmtebalans kruipruimte :

$Q_v = Q_i + Q_b + Q_{vent}$ met

- aanvoer van warmte :

o via begane-grondvloer :

$$Q_v = A_v \cdot (\theta_i - \theta_{kr}) / (R_v + 0,35)$$

- afvoer van warmte :

o via de fundering: $Q_f = A_f \cdot (\theta_{kr} - \theta_e) / (R_f + 0,20)$

o via de bodem : $Q_b = A_b \cdot (\theta_{kr} - \theta_{o,b}) / R_b$

o via ventilatie : $Q_{vent} = Q_i \cdot c_p \cdot \rho \cdot (\theta_{kr} - \theta_e)$

warmtebalans kruipruimtebodem :

$Q_b = Q_g + Q_{ver}$ met

- aanvoer van warmte :

o t.p.v. het bodemoppervlak :

$$Q_b = A_b \cdot (\theta_{kr} - \theta_{o,b}) / R_b$$

- afvoer van warmte :

o de aardbodem in : $Q_g = A_b \cdot (\theta_{o,b} - \theta_g) / R_g$

o als gevolg van verdamping :

$$Q_{ver} = 24 \cdot 10^{-6} \cdot c_v \cdot A_b \cdot (c_{o,b} - c_{kr}) / \mu d_b$$

vochtbalans kruipruimte :

$G_{vent} = G_{in} + G_{ver} - G_i$ met

- aanvoer van vocht :

o vanaf buiten : $G_{in} = Q_i \cdot c_e$

o door verdamping :

$$G_{ver} = 24 \cdot 10^{-6} \cdot A_b \cdot (c_{o,b} - c_{kr}) / \mu d_b$$

- afvoer van vocht :

o naar buiten : $G_{vent} = Q_i \cdot c_{kr}$

o condensatie op fundering :

$$G_i = 2,8 \cdot 10^{-3} \cdot A_f \cdot (c_{kr} - c_{o,f})$$

grondtemperatuur

De grondtemperatuur blijkt vertraagd en in fase verschoven de gemiddelde buitentemperatuur te volgen. Als relatie tussen grondtemperatuur en

buitentemperatuur kon worden afgeleid:

$$\theta_g(t) = 9,35 + 0,25 * \{\theta_e(t-3) - 9,35\}$$

waarin $\theta_e(t-3)$ de buitentemperatuur voorstelt

met een faseverschuiving van 3 maanden.
effectieve warmteweerstand van de grond

De mate waarin het grondpakket van invloed is op het warmtetransport blijkt afhankelijk te zijn van de lengte van de kruipruimte en de warmtegeleidingscoëfficiënt van de grondmassa.

Als relatie kan worden gehanteerd:

$$R_g = 0,24 + 0,28 R_{extra} + l_{kr} / (2,5 \cdot \lambda_g)$$

waarin:

R_g : effectieve warmteweerstand grond, in $m^2 \cdot K/W$

R_{extra} : aangebrachte warmteweerstand op de kruipruimtebodem, in $m^2 \cdot K/W$

l_{kr} : lengte kruipruimte, in m

λ_g : warmtegeleidingscoëfficiënt van de grondmassa, in $W/(m \cdot K)$

effectieve warmteweerstand fundering

De grondmassa rondom de fundering is van invloed op het warmteverlies via de fundering. Als effectieve warmteweerstand tussen het funderingsoppervlak in de kruipruimte en de buitenlucht kan de waarde $R_f = 0,6 m^2 \cdot K/W$ worden gehanteerd. De overgangswaarde aan het funderingsoppervlak in de kruipruimte be-draagt $0,20 m^2 \cdot K/W$.

ventilatie kruipruimte

De ventilatie van de kruipruimte wordt bepaald door het nettodoorstroomoppervlak van de ventilatieroosters, de windsnelheid buiten en de ligging van het gebouw.

De windsnelheid buiten wordt afhankelijk gesteld van de lokatie:

Den Helder	: 7 m/s
Kustgebied	: 6 m/s
Midden-Nederland	: 5 m/s
NO-Nederland	: 4 m/s
Maastricht	: 3 m/s

De ligging komt tot uiting in een in te voeren reductiefactor en kan als volgt worden gekozen:

- o open veld (reductiefactor 0,33)
- o bebouwde kom (reductiefactor 0,22)
- o stadskern (dichte bebouwing)(reductiefactor 0,16)

De ventilatiehoeveelheid volgt dan uit:

$$Q_l = v_w \cdot b_f \cdot A_{\text{vent}}$$

waarin:

- Q_l is de ventilatiehoeveelheid, in m^3/s
- v_w is de gemiddelde windsnelheid buiten, in m/s
- b_f is de reductiefactor (dimensieloos)
- A_{vent} is het nettodoorstroomoppervlak van de roosters per gevel, in m^2 .

te hanteren warmte-overdrachtscoëfficiënten

De warmte-overdracht tussen de kruipruimte-begrenzings onderling (stralingsoverdracht) als direct aan de kruipruimtelucht (convectieve overdracht) vormt een vrij gecompliceerd proces. Combinatie van beide vormen van warmte-overdracht leidt tot de volgende te hanteren warmteovergangswaarden:

- onderzijde vloer : $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- ter plaatse van de fundering : $0,20 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
- ter plaatse van de kruipruimtebodembodem : $0,02 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$

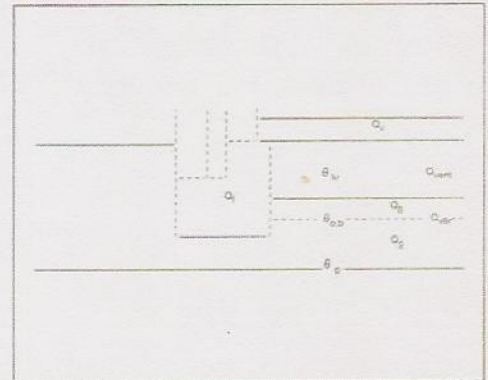
Berekening van de maximale waterdampconcentratie als functie van de temperatuur kan geschieden met:

$$c' = (6,18 \cdot \exp(\theta/18,2) - 1,32) \cdot 10^{-3} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

waarin θ de temperatuur in $^{\circ}\text{C}$ is.

De volgende waarden kunnen gehanteerd worden voor:

- de verdampingswarmte van water (c_v): $24,7 \cdot 10^3 \text{ J/kg}$
- de soortelijke warmte van lucht (c_p): $1020 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
- de volumieke massa van lucht (ρ): $1,2 \text{ kg/m}^3$
- de relatieve vochtweerstand van een niet-afgedekte kruipruimtebodembodem ($\mu_{d,p}$): $0,00833 \text{ m}$.



Figuur 15

KRUIPRUIMTEN

Symbol	omschrijving	eenheid
A_b	: oppervlak bodem,	in m^2
A_f	: oppervlak fundering,	in m^2
A_v	: oppervlak begane-grondvloer,	in m^2
c_e	: waterdampconcentratie buiten,	in kg/m^3
c_k	: waterdampconcentratie in de kruipruimte,	in kg/m^3
$c_{o,b}$: verzadigingsdampconcentratie t.p.v. kruipruimtebodem,	in kg/m^3
c_p	: soortelijke warmte lucht bij constante druk,	in $J/(kg.K)$
c_w	: verdampingswarmte van water,	in J/kg
G_{in}	: vochtstroom vanaf buiten,	in kg/s
G_{vent}	: vochtafvoer door ventilatie,	in kg/s
G_{ver}	: vochtstroom door verdamping,	in kg/s
Q_b	: warmteverlies via de kruipruimtebodem,	in W
Q_f	: warmteverlies via de fundering,	in W
Q_g	: warmteverlies via de kruipruimtegrond,	in W
Q_l	: luchtdebiet kruipruimte,	in m^3/s
Q_b	: warmteverlies via begane-grondvloer,	in W
Q_{vent}	: warmteverlies via ventilatie,	in W
Q_{ver}	: warmteverlies t.g.v. verdamping van water,	in W
R	: gasconstante van waterdamp,	in $J/(kg.K)$
R_b	: warmteweerstand t.p.v. de bodem, (overgangsweerstand + eventuele extra isolatie)	in $m^2.K/W$
R_f	: warmteweerstand (effectief) van de fundering,	in $m^2.K/W$
R_g	: warmteweerstand kruipruimtegrond,	in $m^2.K/W$
R_v	: warmteweerstand vloer (excl. overgangsweerstanden), in $m^2.K/W$	
θ_e	: buitentemperatuur	in $^{\circ}C$
θ_g	: grondtemperatuur,	in $^{\circ}C$
θ_i	: binnentemperatuur,	in $^{\circ}C$
θ_{kr}	: temperatuur kruipruimte,	in $^{\circ}C$
$\theta_{o,b}$: oppervlaktetemperatuur bodem,	in $^{\circ}C$
ρ	: volumieke massa lucht,	in kg/m^3
$\mu_{d,b}$: relatieve vochtweerstand (μ d-waarde) van de bodemisolatie (inclusief de overgangsweerstand),	in m

Layout: K&K, Benschop

Bewerking illustraties:
GRID/Design, Hoofddorp

LITERATUUR

- [1] W.F. Westgeest : Resultaten van een rekenmodel voor een kruipruimte
TPD-TNO-TU, 1985
- [2] P.A. Elkhuizen en J. Oldengarm : Warmte- en vochtberekeningen in kruipruimten
Artikel Bouwwereld 85, nummer 5, maart 1989
- [3] SBR 118 : Een kruipruimte thermisch doormeten
Stichting Bouwresearch, Rotterdam (1985)
- [4] SBR 265 : Vochtproblemen in bestaande woningen
Stichting Bouwresearch, Rotterdam (1992)
- [5] E.R. van den Ham en J.G. Ackers : Radon in het binnenmilieu
Artikel Bouwfysica, vol. 3, 1992, No.1
- [6] SBR 203 : Naar dichtere begane grondvloeren
Stichting Bouwresearch, Rotterdam 1989
- [7] W.F. de Gids en J.C. Phaff : Ventilatie en infiltratiemetingen in een woning in verband met de radonproblematiek
Rapport R 86/041, MT-TNO (1986)
- [8] NEN 1068 : Thermische isolatie van gebouwen. Rekenmethoden
Nederlands Normalisatie Instituut, 3e druk februari 1991
- [9] NEN 2444 : Bepaling van de warmteweerstand en/of warmtegeleidingscoëfficiënt van bouw- en isolatiematerialen.
Nederlands Normalisatie Instituut, 1991
- [10] SBR 12 : Meetmethode ter bepaling van warmteweerstand, vochtgehalte en vochtverdeling
Stichting Bouwresearch, Rotterdam (1968)
- [11] NEN 2690 : Luchtdoorlatendheid van gebouwen. Meetmethode voor de specifieke luchtvolumestroom tussen kruipruimte en woning.
Nederlands Normalisatie Instituut, 1e druk, augustus 1991
- [12] DIN 52615 : Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen.
- [13] ASTM E96-80 : Standard Test methods for water vapor transmission of materials.
- [14] DIN 53857 : Einfacher Streifen-Zugversuch an textilen Flachengebilden
- [15] ASTM D 1117-80 : Standard Methods of testing Nonwoven Fabrics
- [16] NEN 5916 : Toeslagmaterialen voor beton. Zeefanalyse.