



# MEETTECHNIEKEN

---

## UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS

---

**Balcon-e**

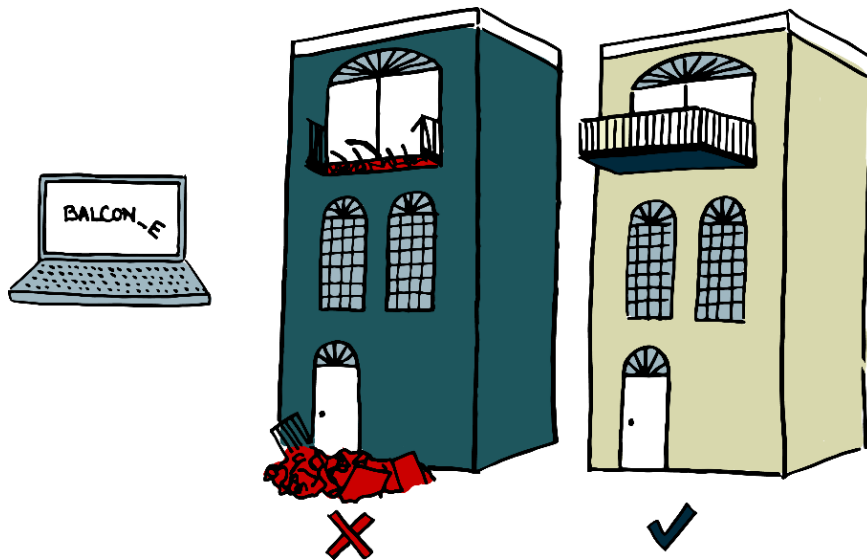
Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons

**Odisee**  
DE CO-HOGESCHOOL

---

# MEETTECHNIEKEN

## UITKRAGENDE BETONNEN BALKONS



[balcon-e.odisee.be](http://balcon-e.odisee.be)

---

Dit document werd opgemaakt in het kader van het PWO-project Balcon-e. Dit project werd gefinancierd via de middelen voor Praktijkgericht Wetenschappelijk Onderzoek (PWO) van Odisee, ter beschikking gesteld door de Vlaamse Overheid.

Odisee Hogeschool en degenen die aan dit document hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van dit document. Toch kan niet worden uitgesloten dat de inhoud onjuistheden bevat. De gebruiker van dit document aanvaardt daarvoor het risico. Odisee Hogeschool sluit, mede ten behoeve van de auteurs, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit dit gebruik. De gebruiker zal Odisee vergoeden en vrijwaren m.b.t. alle vorderingen, en m.b.t. alle bedragen die worden betaald met het oog op de regeling van een geschil met een derde partij die om het even welke schade lijdt die rechtstreeks of onrechtstreeks het gevolg is van de activiteiten van de gebruiker die gebruik maakt van dit document.

September 2021

Lydia Wittocx (Odisee Hogeschool – projectmedewerker)  
Bart Craeye (Odisee Hogeschool – promotor)  
Amaryllis Audenaert (Universiteit Antwerpen – partner)  
Matthias Buyle (Universiteit Antwerpen – partner)  
Robby Caspeele (Universiteit Gent – partner)  
Elke Gruyaert (Katholieke Universiteit Leuven – partner)  
Peter Minne (Katholieke Universiteit Leuven – partner)  
Bram Dooms (WTCB – partner)



CC2021: mag niet aangepast, vertaald of gecommmercialiseerd worden zonder de uitdrukkelijke toestemming van de auteur(s).



---

# Inhoud

Inleiding.....	2
Toelichting per techniek.....	6
Bijkomende hulpmiddelen bij het uitvoeren van een betononderzoek.....	33
Literatuurlijst.....	35

# DESTRUCTIEVE, NIET-DESTRUCTIEVE EN SEMI-DESTRUCTIEVE MEETTECHNIEKEN VOOR DE INSPECTIE VAN GEWAPEND BETON

---

Dit document bevat een overzicht en bijkomende toelichting omtrent enkele courant gehanteerde meettechnieken die bij een betononderzoek ingezet kunnen worden ter bepaling van de schade-oorzaak en het beoordelen van de conditie van een betonconstructie zoals voorgeschreven in het protocol ter beoordeling van betonnen balkons.

- Overzicht van de technieken onderverdeeld per categorie (focus op beton, focus op wapening, focus op corrosie (chloriden en/of carbonatatie)
- Fiche met beknopte toelichting omtrent de toepassing van de techniek
- Korte toelichting bij enkele bijkomende hulpmiddelen voor een betononderzoek
- Literatuurlijst van geraadpleegde en aanbevolen literatuur/documentatie omtrent meettechnieken voor betononderzoek

Een grondige visuele inspectie is de eerste en cruciale stap tijdens een betononderzoek. Tal van schademechanismen kunnen immers herkend worden op basis van uiterlijke kenmerken. Echter, niet elk schadefenomeen is direct visueel waarneembaar of de oorzaak en omvang kan niet altijd visueel vastgesteld worden. Hiervoor kunnen verschillende technieken worden ingezet. Ook om andere parameters te achterhalen, zoals de positie van de wapening of de eigenschappen van het beton, is het noodzakelijk om meettechnieken in te zetten. Deze meettechnieken kunnen worden onderverdeeld in destructieve (DT), semi-destructieve (SDT) en niet-destructieve technieken (NDT).

Niet-of semi-destructieve testen hebben als groot voordeel dat de betonconstructie niet of nauwelijks wordt aangetast: er moeten immers geen monsters genomen worden. Bovendien kunnen er grotere gebieden onderzocht worden en kunnen verdachte zones geïdentificeerd worden (mapping techniek). Dankzij de technologische vooruitgang is het interpreteren van de output via bijhorende software ook eenvoudiger geworden. Kennis en inzicht van de operator omtrent de structuur en de meettechniek zijn onontbeerlijk: meten is weten. Vaak zijn aanvullend destructieve en semi-destructieve testen nodig om een correcte schadediagnose te kunnen stellen. Niet elk gebrek kan immers op een niet-destructieve manier achterhaald worden. NDT's zijn meestal indirecte meetmethoden en dienen vaak gevalideerd en gekalibreerd te worden met het resultaat van een destructief onderzoek (DT) om tot een betrouwbare beoordeling te komen. Het combineren van meerdere NDT's kan eveneens leiden tot een verhoogde betrouwbaarheid. Bovendien is er kennis nodig van de constructie, het meetinstrument en ervaring om via interpretatie tot correcte conclusies te komen.

**Tabel 1** geeft een overzicht van de meettechnieken die kunnen ingezet worden om informatie over een bepaalde parameter (vb. positie wapening) of de structuur te verkrijgen. [1]

**Tabel 2** geeft een overzicht van de meest courante meettechnieken met bijhorende specificaties. Voor elk van de technieken die hierin vermeld staan, is een beknopte gebruikersfiche opgemaakt.

*Opmerking: de laatste kolom van tabel 2 en de overzichtsfiches vermelden of een techniek in het labo in situ worden uitgevoerd. Uiteraard kan elke techniek die in situ (op locatie) wordt uitgevoerd, ook in een labo-omgeving op een proefstuk worden toegepast.*

Tabel 1: Overzicht NDT-SDT-DT

	Focus op beton		Focus op wapening		Focus op corrosie		Focus op draagvermogen		Focus op duurzaamheid		NDT								SDT		DT														
											Pachometer	Ground Penetrating Radar (GPR)	Ultrasone tomograaf	ZIP level	Ultrasoon	Sclerometer	Vochtgehalte meter	Luchtpermeabiliteitsmeter	Resistiviteitsmeter	Potentiaalmeting	Lineaire polarisatie meting	Kijkvenster wapening	Ontnemen boorkern	Trekproef staal	Drukproef beton	Colori - methode	Rapid Chloride Test (RCT)	Potentiometrische titratie	Rapid Chloride Migration test (RCM)	Fenolftaleïne	Carbonatatiekast				
Positie wapening			•				•	•			•	•	•									•													
Hoeveelheid wapening			•				•				•	•	•									•													
Kwaliteit wapening			•				•															•													
Diameter wapening			•				•	•			•	•	•									•													
Corrosiehaarden			•	•			•	•												•		•													
Polarisatieweerstand			•	•			•	•													•														
Totale dikte plaat							•				•	•	•										•												
Gelaagdheid plaat							•				•	•											•												
Druksterkte beton	•						•																	•											
Uniformiteit beton	•							•							•	•							•		•										
Opsporen holtes in beton	•							•			•	•											•												
Vochtgehalte beton	•		•					•									•																		
Luchtpermeabiliteit beton	•		•					•										•																	
Resistiviteit beton	•		•					•											•																
Chloridegehalte beton	•		•					•																	•	•	•								
Chloridemigratiecoëfficiënt	•		•					•																					•						
Carbonatatie diepte	•		•					•																								•			
Carbonatatiecoëfficiënt	•		•					•																										•	

Tabel 2: Meettechnieken voor betononderzoek

	Methodie	Toepassing	Principe	NDT/SDT/DT	Labo / In situ
<b>Beton</b>					
<b>BETON1</b>	Druksterkte beton	Bepaling druksterkte beton op boorkernen	Destructieve drukproef	DT	Labo
<b>BETON2</b>	Terugslagwaarde	Bepaling hardheid en uniformiteit beton	Terugslagwaarde van gewicht dat op oppervlak weerkaatst	NDT	In situ
<b>BETON3</b>	Pull-off en Pull-out	Inschatting betonsterkte	Meting trekkracht die nodig is om beton te doen falen	SDT	In situ
<b>BETON4</b>	Ultrasoon	Indicatie betonkwaliteit, detectie holle zones/scheuren	Snelheid geluidsgolven is afhankelijk van medium (kwaliteit beton, grindnesten, scheuren,...)	NDT	In situ
<b>BETON5</b>	Vochtgehalte	Bepaling vochtgehalte beton	Sterkte elektrisch signaal is gerelateerd aan vochtgehalte in het beton	NDT	In situ
<b>BETON6</b>	Resistiviteit	Elektrische weerstand beton	Meet spanning tussen 2 contactpunten wanneer stroom doorheen het beton wordt gestuurd	NDT	In situ
<b>BETON7</b>	Luchtpermeabiliteit	Bepaling permeabiliteitscoëfficiënt van het betonoppervlak	Bepaling drukverlies is gerelateerd aan permeabiliteit van het oppervlak	NDT	In situ
<b>Wapening</b>					
<b>WAP1</b>	Trekproef	Bepaling staalkwaliteit	Destructieve trekproef tot breuk	DT	Labo
<b>WAP2</b>	Elektromagnetische wapeningsdetectie	Bepaling betondekking en locatie wapening	De aanwezige wapeningsstaven verstoren het elektromagnetisch veld dat door de pachometer wordt uitgezonden	NDT	In situ
<b>WAP3</b>	GPR	Detectie wapening, holtes, lagen, totale dikte plaat	Elektromagnetische signalen detecteren aanwezigheid wapening/holtes/...	NDT	In situ
<b>WAP4</b>	Ultrasone tomografie	Detectie wapening, holtes, lagen, totale dikte plaat	Ultrasone golven worden gereflecteerd bij verandering van medium	NDT	In situ
<b>Chloriden</b>					
<b>CL1</b>	Colori - methode	Bepaling chloridegehalte op boorstofmonsters	De hoeveelheid licht dat door de gekleurde oplossing geabsorbeerd wordt is een maat voor de concentratie chloriden	DT	Labo
<b>CL2</b>	Rapid Chloride Test (RCT)	Bepaling chloridegehalte op boorstofmonsters	Elektrische weerstand/geleidbaarheid is maat voor concentratie chloriden	DT	Labo
<b>CL3</b>	Potentiometrische titratie	Bepaling chloridegehalte op boorstofmonsters	Het omslagpunt wordt tijdens de titratie bepaald waaruit de chlorideconcentratie kan worden afgeleid	DT	Labo
<b>CL4</b>	Rapid Chloride Migration test (RCM)	Bepaling chloride-migratiecoëfficiënt $D_{RCM}$	Versnelde test waarbij de migratie van ionen geforceerd wordt via een opgelegde externe elektrische spanning	DT	Labo

Tabel 2 (vervolg): Meettechnieken voor betononderzoek

	Methode	Toepassing	Principe	NDT/SDT/DT	Labo / In situ
<b>Carbonatatie</b>					
<b>CARBO1</b>	Gebruik carbonatatiekast	Bepaling carbonatatiecoëfficiënt	Op gecontroleerde wijze beton laten carbonateren binnen een bepaald tijdsinterval	DT	Labo
<b>CARBO2</b>	Fenolftaleïne	Bepaling carbonatatediepte	De zuur-base indicator doet het niet-gecarbonateerde beton (pH>9) paars verkleuren	DT	In situ
<b>Corrosie</b>					
<b>COR1</b>	Potentiaalmeting	Lokalisatie corrosiehaarden	Meet potentiaalverschillen tussen wapening en referentie-elektrode	SDT	In situ
<b>COR2</b>	Lineaire polarisatiemeting	Bepaling snelheid corrosieproces	Polarisatieweerstand bepalen via verband tussen de spanningsschommelingen en de stroomvariatie	SDT	In situ
<b>Monstername</b>					
	Monstername boorstof	Boorstofmonster ter bepaling verontreinigingen beton	Boorstof wordt ontnomen met boorkop $\geq \phi 20$ mm	DT	In situ
	Monstername kern	Boorkern ter bepaling eigenschappen beton	Boorkern ( $\phi 50-100$ mm) wordt ontnomen uit het element	DT	In situ
	Kijkvenster wapening	Visuele controle wapening + contact maken wapening voor SDT	Wapening wordt lokaal vrijgemaakt	DT	In situ

*Opmerking: chemische proeven kunnen worden uitgevoerd tijdens een bijkomend onderzoek om bijvoorbeeld chemische aantasting (ASR, thaumasiet,...) te kunnen aanduiden als oorzaak. Hierbij dient op destructieve wijze een kern ontnomen te worden die naderhand geanalyseerd dient te worden in labo. Deze technieken en onderzoeken worden in mindere mate toegepast bij onderzoek aan betonnen balkons, en werden daarom niet mee opgenomen in de lijst.*



---

## Toelichting per meettechniek

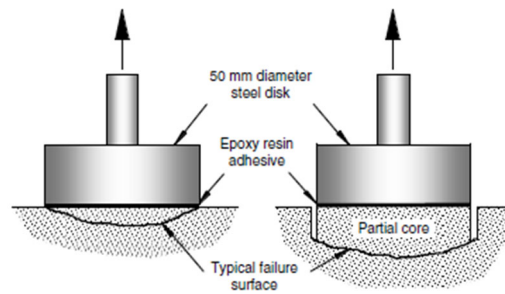
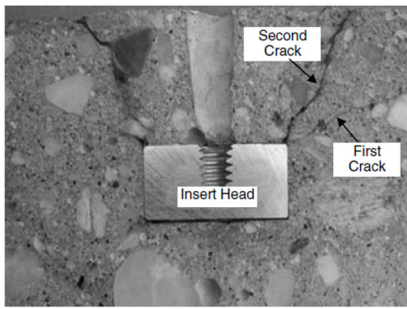
<b>Beton</b>		
<b>BETON1</b>	Druksterkte beton	pagina 7
<b>BETON2</b>	Terugslagwaarde	pagina 8
<b>BETON3</b>	Pull-off en Pull-out	pagina 9
<b>BETON4</b>	Ultrasoon	pagina 10
<b>BETON5</b>	Vochtgehalte	pagina 12
<b>BETON6</b>	Resistiviteit	pagina 13
<b>BETON7</b>	Luchtpermeabiliteit	pagina 15
<b>Wapening</b>		
<b>WAP1</b>	Trekproef	pagina 16
<b>WAP2</b>	Elektromagnetische wapeningsdetectie	pagina 17
<b>WAP3</b>	GPR	pagina 19
<b>WAP4</b>	Ultrasone tomografie	pagina 21
<b>Chloriden</b>		
<b>CL1</b>	Colori - methode	pagina 23
<b>CL2</b>	Rapid Chloride Test (RCT)	pagina 24
<b>CL3</b>	Potentiometrische titratie	pagina 25
<b>CL4</b>	Rapid Chloride Migration test (RCM)	pagina 26
<b>Carbonatatie</b>		
<b>CARBO1</b>	Gebruik carbonatatiekast	pagina 27
<b>CARBO2</b>	Fenolftaleïne	pagina 28
<b>Corrosie</b>		
<b>COR1</b>	Potentiaalmeting	pagina 29
<b>COR2</b>	Lineaire polarisatiemeting	pagina 31



<b>Toepassing</b>	Bepaling betondruksterkte
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test op kernen of kubussen
<b>Labo / In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	<p>EN 12504-1 (2019): Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression</p> <p>EN 12390-3: Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens</p> <p>EN 13791 (2019): Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components</p>
<b>Expertise uitvoerder</b>	Kernen mogen niet beschadigd worden tijdens het boren, gemiddelde expertise uitvoering en interpretatie resultaten
<b>Werkingsprincipe</b>	Drukbelasting tot falen element
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ontnemen van kernen uit de betonstructuur</li> <li>- Vorbereiden kernen: polijsten oppervlakken</li> <li>- Opmeten (diameter en hoogte) proefstuk</li> <li>- De drukbank dient te voldoen aan de vereisten in EN 12390-4</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bepaal de belastingsnelheid in een range van <math>0,6 \pm 0,2</math> MPa/s</li> <li>- De initiële belasting bedraagt niet meer dan 30% van de maximale belasting tot breuk</li> <li>- Noteer de maximale kracht tot breuk (uitgedrukt in kN)</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De druksterkte wordt bepaald via: <math>f_c = F / A_c</math> waarbij <math>f_c</math> de druksterkte in N/mm<sup>2</sup>, F de maximale kracht tot breuk in N en <math>A_c</math> de betonoppervlakte waarop de kracht wordt uitgeoefend.</li> <li>- Indien meerdere kernen beproefd werden die tot dezelfde populatie behoren, kan een karakteristieke waarde van de druksterkte bepaald worden volgens de methode beschreven in EN 13791.</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2], [3]</p> <p>Richtlijnen/artikels: [4]–[9]</p> <p>Instructievideo's/Webinars: [10]</p>



<b>Toepassing</b>	Bepaling hardheid en uniformiteit (beton)oppervlak met sclerometer (terugslaghamer/Schmidt hamer)
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (mechanisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	EN 12504-2 (2012): Beproeving van beton in constructies – Deel 2: Niet-destructief onderzoek – Bepaling van de terugslagwaarde
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	De sclerometer bepaalt de terugslagwaarde van gewicht dat op een oppervlak weerkaatst wordt.
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voer de meting uit op een vlakke structuur waarbij rechtstreeks contact met het beton noodzakelijk is</li> <li>- Eventuele afwerkingslagen op het beton dienen vooraf verwijderd te worden</li> </ul> <p>Uitvoering metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plaats de terugslaghamer loodrecht op het te testen oppervlak. Duw de impactplunjer tegen het oppervlak totdat de drukknop eruit springt. Houd de drukknop ingedrukt om de bekomen waarde af te kunnen lezen en noteer de terugslagwaarde.</li> <li>- Voer per zone minstens 9 testen uit, met een minimum tussenafstand van 20 mm tussen de verschillende testpunten</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berekenen van de mediaan (sclerometer-index) en standaardafwijking van de testresultaten per zone als referentie. Een digitale variant van het toestel zal deze waarde automatisch berekenen.</li> <li>- Voor het opstellen van een projectgebonden relatie tussen de betondruksterkte en de hardheid wordt verwezen naar de norm NBN EN 13791 (2019). Enkel resultaten van de sclerometer gebruiken ter bepaling van de druksterkte voor stabiliteitsberekeningen is niet toegelaten.</li> </ul> <p>Opmerking:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Deze versie van de sclerometer wordt het vaakst gebruikt en is het meest geschikt voor beton met een sterkte tussen 20 en 60 N/mm<sup>2</sup>. Voor beton met een lage sterkte (5 - 25 N/mm<sup>2</sup>) is een terugslaghamer van het slingertype met een vergrote hamerkop meer aanbevolen.</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2], [3]</p> <p>Richtlijnen/artikels: [8], [11]–[13]</p> <p>Instructievideo's/Webinars: [14]</p>

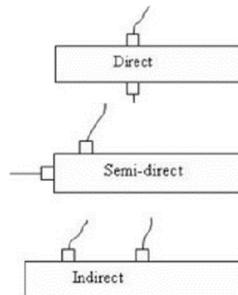


<b>Toepassing</b>	<p>Pull-out: bepaling kracht die nodig is om een stalen pastille/bout uit het beton te trekken.</p> <p>Pull-off: bepaling in-situ treksterkte van beton bij een directe trekkracht. Deze test kan eveneens toegepast worden om de hechting (tussen herstelmortel en moederbeton) van herstelzone te controleren.</p>
<b>NDT/SDT/DT</b>	Semi-destructieve test (mechanisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	<p>EN 12504-3 (2005): Beproeving van beton in constructies - Deel 3: Bepaling van de uittrekkracht (pull-out)</p> <p>EN 1542 (1999): Producten en systemen voor de bescherming en reparatie van betonconstructies – Beproevingmethoden – Bepaling van de hechtsterkte door middel van de afbreekproef (pull-off)</p>
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	<p>Pull-out: de trekkracht wordt bepaald die nodig is om een stalen pastille of soortgelijk voorwerp uit het beton te trekken</p> <p>Pull-off: een schijf wordt op het betonoppervlak gelijmd waarna deze aan een axiale trekkracht wordt onderworpen.</p>
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Pull-out:</p> <p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Inbrengen stalen pastille/schijf en bout in het beton</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ingebracht voorwerp onderwerpen aan trekkracht tot falen</li> <li>- Registreer de maximale trekkracht [kN]</li> </ul> <p>Analyse meetresultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De treksterkte kan berekend worden via: <math>f_p = F / A</math> [MPa] waarbij F de uittrekkracht [N] is en A de oppervlakte van het breukvlak [mm<sup>2</sup>]</li> </ul> <p>Pull-off:</p> <p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Een metalen schijf wordt aan het betonoppervlak bevestigd (typisch met een snel uithardende twee-componenten epoxy-gebaseerde lijm)</li> <li>- Om oppervlakte-effecten te vermijden kan een gedeeltelijke doorboring worden gemaakt tot een passende diepte</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nadat de lijm is uitgehard, wordt de metalen schijf aan een trekkracht onderworpen tot breuk</li> <li>- Registreer de kracht bij falen, de diameter van het breukoppervlak en de locatie van het breukvlak</li> <li>- Voer de test minimaal vijf keer uit</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De treksterkte kan berekend worden via <math>f_h = 4F_h / (\pi D^2)</math> [MPa] waarbij F<sub>h</sub> de kracht bij falen [N] en D de gemiddelde diameter [mm]</li> <li>- Deze test kan gebruikt worden om de betondruksterkte af te schatten (EN 13791)</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2], [3], [15]</p> <p>Richtlijnen/artikels: [16]</p>



<b>Toepassing</b>	Indicatie betonkwaliteit, detectie holle zones/scheuren en andere defecten
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (akoestisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	EN 12504-4: Beproeving van beton in constructies - Deel 4: Bepaling van de ultrasoniepulssnelheid
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	Dit werkingsprincipe is gebaseerd op de snelheid van geluidsgolven die afhankelijk zijn van het medium (kwaliteit beton, grindnesten, scheuren,...) waarin ze zich begeven.

Een zender en een ontvanger worden op het te onderzoeken betonoppervlak op enige afstand van elkaar geplaatst. Dit kan zowel op een directe (recht tegenover elkaar), semi-directe (onder een bepaalde hoek) of indirecte (naast elkaar) wijze gebeuren. De directe methode geeft de meest betrouwbare resultaten, maar zal in praktijk niet altijd mogelijk zijn om uit te voeren. De zender zendt een ultrasoniepgeluidsgolf doorheen het beton en deze impuls wordt opgevangen door de ontvanger. Via een elektrische tijdsmeter en de gekende afstand tussen de transducers kan de voortplantingssnelheid bepaald worden.



Directe, semi-directe en indirecte positionering zender en ontvanger

Het resultaat van de meting wordt beïnvloed door heel wat parameters zoals de betonsamenstelling (type en hoeveelheid cement, type granulaten), de vochtigheid, de aanwezigheid van wapening, holtes en scheuren.

#### Praktische werkwijze

Vorbereiding:

- Kalibreer het toestel met de ijkingstaaf

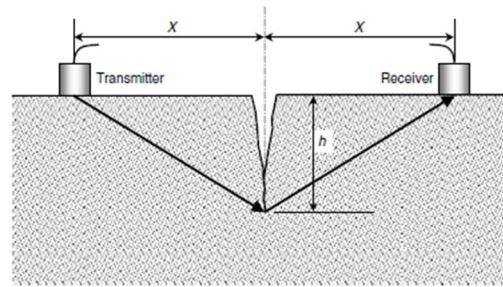
Uitvoeren metingen:

- Bepaal de afstand tussen de twee sondes
- Voer de metingen op minstens 5 plaatsen uit

Analyse resultaten:

- De voortplantingssnelheid  $V = L / t_m$  (km/s) waarbij L de lengte (mm) is waarover de golven worden uitgezonden en  $t_m$  de tijd ( $\mu$ s) die de golf nodig heeft om te ontvanger te bereiken
- De voortplantingssnelheid geeft een indicatie van de betonkwaliteit; een zeer goede kwaliteit geeft een waarde  $V = 5$  km/s tot een slechte kwaliteit van 3 km/s en lager volgens de directe methode [17]

- 
- De diepte van een scheur kan ook worden afgeschat via:  $h = \frac{x}{T_2} \sqrt{T_1^2 - T_2^2}$  waarbij  $X$  = afstand van zender/ontvanger tot scheur (dient gelijke afstand te zijn);  $T_1$  is voortplantingssnelheid bij scheur;  $T_2$  voortplantingssnelheid indien geen scheur bij zelfde type beton



Bepaling scheurdiepte [17]

---

**Bijkomende info**

Boeken/cursussen: [2], [3], [17]

Richtlijnen/artikels: [5], [8], [12], [18]

---



<b>Toepassing</b>	Bepaling vochtgehalte beton(oppervlak)
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (elektrisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	Geen EN-normering  ASTM F2170 - 19a: Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes  ASTM F2659, Standard Guide for Preliminary Evaluation of Comparative Moisture Condition of Concrete, Gypsum Cement and Other Floor Slabs and Screeds Using a Non-destructive Electronic Moisture Meter
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	Het toestel evalueert de vochtomstandigheden in het beton door de elektrische impedantie te meten. Een laagfrequent elektronisch signaal wordt uitgezonden via de elektroden van het toestel. De sterkte van dit signaal varieert evenredig met de hoeveelheid vocht in het beton. Het toestel bepaalt hieruit het vochtgehalte.
<b>Praktische werkwijze</b>	Vorbereiding: - Plaats het toestel rechtstreeks op het betonoppervlak Uitvoering metingen: - Noteer de bekomen waarde [%] Analyse resultaten: - Het vochtgehalte van het beton(oppervlak) heeft invloed op andere metingen zoals resistiviteitsmetingen, potentiaalmetingen, etc.
<b>Bijkomende info</b>	Boeken/cursussen: [2], [3] Richtlijnen/artikels: [19]



<b>Toepassing</b>	Bepaling resistiviteit (weerstand) beton, geeft indicatie van corrosiekans indien staal gedepasseerd is.
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	De weerstand wordt bepaald via opgemeten spanning tussen de twee middelste elektroden wanneer een stroom door de buitenste elektroden wordt gestuurd.

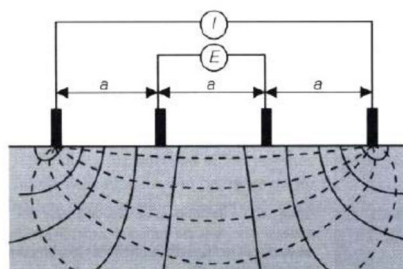
#### *Principe beschreven van Wenner-sonde*

Het corrosieproces beïnvloedt het ionengehalte in het beton, dat bepalend is voor de elektrische resistiviteit (weerstand) ervan. Hoe groter het ionengehalte in het poriënwater van het beton, hoe zwakker de elektrische resistiviteit en hoe groter de kans op corrosie. Een resistiviteitsmeting kan dus worden gebruikt om de mogelijke corrosieactiviteit aan te geven als het staal gedepasseerd is. Daarom worden de resultaten van deze meting best aanvullend gebruikt op potentiaalmetingen van dezelfde zone. De resistiviteit van het beton wordt meestal bepaald met een Wenner-sonde.

De Wenner-sonde bestaat uit vier elektroden die in een rechte lijn op gelijke afstand van elkaar op het betonoppervlak worden geplaatst, zoals weergegeven op de figuur. Een laagfrequente wisselstroom wordt doorgegeven tussen de twee buitenste elektroden, terwijl de spanningsval tussen de binnenste elektroden wordt gemeten. De weerstand wordt berekend via:

$$\rho = 2\pi aV/I$$

waarbij  $a$  de tussenafstand tussen de elektroden is,  $V$  de opgemeten spanning tussen de middelste elektroden en  $I$  de opgelegde stroom tussen de buitenste elektroden. Het resultaat wordt uitgedrukt in  $k\Omega\text{cm}$ .



Principe schets Wenner-sonde [3]

De omgevingstemperatuur, vochtigheid en w/c-factor kunnen de metingen beïnvloeden. Ook wapeningsstaven dicht onder het oppervlak in de buurt van de elektroden verstoren mogelijk de meting. De resultaten zijn onbetrouwbaar bij aanwezigheid van verflagen of hydrofoberende middelen.



---

**Praktische werkwijze**

## Vorbereiding:

- Voer deze meting rechtstreeks op het beton uit. De aanwezigheid van coatings kunnen de resultaten beïnvloeden.
- Bevochtig het oppervlak waar de meting zal worden uitgevoerd om een goede geleiding van de meetpunten te verkrijgen.

## Uitvoeren metingen:

- Plaats de Wenner-sonde op het te testen oppervlak en duw de 4 punten tegen het oppervlak en noteer de bekomen waarde.

## Analyse resultaten:

- Het resultaat wordt uitgedrukt in  $k\Omega cm$ . Hoe hoger de weerstand, hoe kleiner de kans op corrosie wordt geacht.
- Richtwaarden volgens RILEM 154:

Grenswaarden	Kans op corrosie
>100 $k\Omega cm$	Verwaarloosbaar
50-100 $k\Omega cm$	Laag
10-50 $k\Omega cm$	Gemiddeld
<10 $k\Omega cm$	Hoog

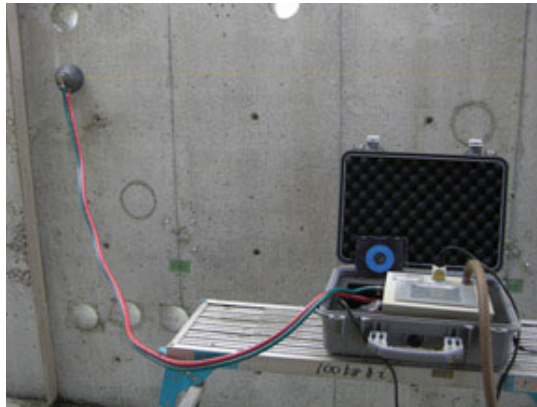
---

**Bijkomende info**

Boeken/cursussen: [2], [3], [20], [21]

Richtlijnen/artikels: [22]–[25]

Instructievideo's/Webinars: [14], [26], [27]

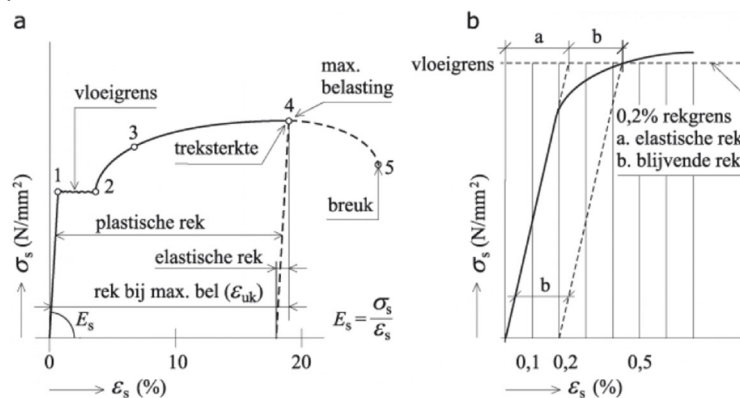


<b>Toepassing</b>	Bepaling luchtpermeabiliteitscoëfficiënt van het betonoppervlak Indicatie duurzaamheid betonoppervlak, bestendigheid tegen indringen schadelijke stoffen																								
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test																								
<b>Labo / In situ</b>	In situ																								
<b>Normering</b>	Geen EN-normering  Swiss Standard method SIA 262/1: 2013																								
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering																								
<b>Werkingsprincipe</b>	Permeabiliteitstesten meten de stroom van een vloeistof of gas in het beton onder invloed van een drukgradiënt. Hieruit kan de permeabiliteitscoëfficiënt van het betonoppervlak worden bepaald, waardoor de transporteigenschappen van het beton in kaart worden gebracht. Deze coëfficiënt geeft aan hoe vlot/moeilijk gassen en vloeistoffen doorheen het beton transporteren (via diffusie).																								
<b>Praktische werkwijze</b>	<p><i>Werkwijze Permea TORR</i> [28]</p> <p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Metingen dienen op een vlak en schoon oppervlak te worden uitgevoerd</li> <li>- Controle meting vochtgehalte betonoppervlak</li> <li>-</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De vacuüm-cel wordt tegen het betonoppervlak totdat het signaal wordt gegeven dat er voldoende vacuüm is bereikt, hierbij wordt in het toestel de binnenste meetkamer gescheiden van de pomp</li> <li>- Vervolgens loopt de metingen verder: de lucht, aanwezig in de poriën van het onderliggende beton, stroomt door het betonoppervlak naar de binnenkamer, waardoor de druk stijgt. De snelheid waarmee de druk toeneemt, houdt rechtstreeks verband met de luchtpermeabiliteit.</li> <li>- Resultaat metingen wordt genoteerd / opgeslagen in het toestel</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Het resultaat wordt uitgedrukt als luchtpermeabiliteitscoëfficiënt <math>kT</math> [<math>10^{-16} \text{ m}^2</math>]. Richtwaarden volgens [28] worden weergegeven in onderstaande tabel.</li> </ul> <table border="1" data-bbox="758 1691 1053 1908"> <thead> <tr> <th>Permeability Class</th> <th></th> <th><math>kT</math> (<math>10^{-16} \text{ m}^2</math>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PK0</td> <td>Negligible</td> <td>&lt; 0.001</td> </tr> <tr> <td>PK1</td> <td>Very Low</td> <td>0.001 - 0.01</td> </tr> <tr> <td>PK2</td> <td>Low</td> <td>0.01 - 0.1</td> </tr> <tr> <td>PK3</td> <td>Moderate</td> <td>0.1 - 1.0</td> </tr> <tr> <td>PK4</td> <td>High</td> <td>1.0 - 10</td> </tr> <tr> <td>PK5</td> <td>Very High</td> <td>10 - 100</td> </tr> <tr> <td>PK6</td> <td>Ultra High</td> <td>&gt; 100</td> </tr> </tbody> </table> <p>Richtwaarden permeabiliteitsklassen [28]</p>	Permeability Class		$kT$ ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )	PK0	Negligible	< 0.001	PK1	Very Low	0.001 - 0.01	PK2	Low	0.01 - 0.1	PK3	Moderate	0.1 - 1.0	PK4	High	1.0 - 10	PK5	Very High	10 - 100	PK6	Ultra High	> 100
Permeability Class		$kT$ ( $10^{-16} \text{ m}^2$ )																							
PK0	Negligible	< 0.001																							
PK1	Very Low	0.001 - 0.01																							
PK2	Low	0.01 - 0.1																							
PK3	Moderate	0.1 - 1.0																							
PK4	High	1.0 - 10																							
PK5	Very High	10 - 100																							
PK6	Ultra High	> 100																							
<b>Bijkomende info</b>	Boeken/cursussen: [2], [21] Richtlijnen/artikels: [18], [29], [30]																								



<b>Toepassing</b>	Bepaling eigenschappen wapeningsstaal
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test op wapeningsstaal
<b>Labo / In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	EN 15630-1 (2019): Steel for the reinforcement and prestressing of concrete – Test methods – Part 1: Reinforcement bars, rods and wire (ISO 15630-1:2019)
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoering en interpretatie
<b>Werkingsprincipe</b>	Een axiale trekbelasting wordt uitgeoefend op een wapeningsstaaf tot breuk van het element. Aan de hand van de meetresultaten kan het spannings-rekdiagram opgesteld worden waaruit de volgende materiaalkarakteristieken bepaald kunnen worden: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elasticiteitsmodulus</li> <li>- Vloei grens</li> <li>- Treksterkte</li> <li>- Breukrek</li> </ul>

Hieruit kan ook afgeleid worden of het om warmgewalst of koudvervormd wapeningsstaal betreft, zie onderstaande.

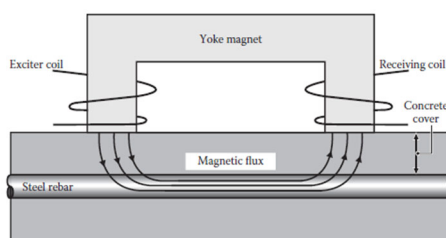


Spanning-rekdiagram van warmgewalst (a) en koudvervormd (b) wapeningsstaal [54]

<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Het proefstuk en de testapparatuur dient te voldoen aan de vereisten gegeven in de norm.</li> <li>- De testapparatuur dient volgens de instructies van de fabrikant worden klaargezet en de nodige invoerparameters van het proefstuk worden ingevoerd in de bijhorende software</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Een axiale trekbelasting wordt uitgeoefend tot breuk van het proefstuk</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uit het spannings-rekdiagram kunnen de materiaaleigenschappen worden bepaald.</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2]</p> <p>Richtlijnen/artikels: [8]</p> <p>Instructievideo's/Webinars: [31]</p>



<b>Toepassing</b>	Bepaling betondekking en locatie wapeningstaven
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (elektromagnetisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	Geen EN-normering
	Merkblatt B 02: Merkblatt zur zerstörungsfreien Betondeckungsmessung und Bewehrungsortung an Stahl- und Spannbetonbauteilen, April 2014
	BS 1881-204: Testing Concrete - Part 204: Recommendations on the Use of Electromagnetic Covermeters
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering en interpretatie
<b>Werkingsprincipe</b>	De werking van de pachometer is gebaseerd op het principe dat het opgewekt elektromagnetisch veld wordt beïnvloed door de aanwezigheid van wapening. De sonde van het toestel bevat een inductiespoel waarmee een elektromagnetisch veld wordt opgewekt (zie figuur). Deze sonde wordt op het betonoppervlak geplaatst. Door het opgewekte elektromagnetisch veld ontstaan er in het wapeningsstaal wervelstromen ('eddy current'), die de inductiestroom door terugkoppeling beïnvloeden. Door geïntegreerde elektronica is het mogelijk deze auto-inductie te onderscheiden van de initieel aangelegde spanning. Uit de grootte van de terugkoppelinductiespanning worden de positie en de diameter van de wapening afgeleid. De diameter wordt standaard op 10 mm ingesteld voor het uitvoeren van de metingen indien geen indicatie bekend is. Bij voorkeur wordt de diameter destructief gevalideerd en de werkelijke waarde ingevoerd (het is mogelijk dit achteraf ook in de software aan de passen).



Principeschets elektromagnetische wapeningsdetectie [15]

Dit meetprincipe houdt een aantal beperkingen in:

- Staven worden enkel evenwijdig aan de rijrichting van het toestel gedetecteerd.
- Staven die 'in de schaduw' van andere staven liggen, kunnen niet worden gedetecteerd. Zo kan er dus ook maar één wapeningslaag gedetecteerd worden.
- Staven die te dicht naast elkaar liggen worden mogelijk als één enkele staaf aanzien. Indien hier de diameter wordt gevraagd, is het resultaat een overschatting.

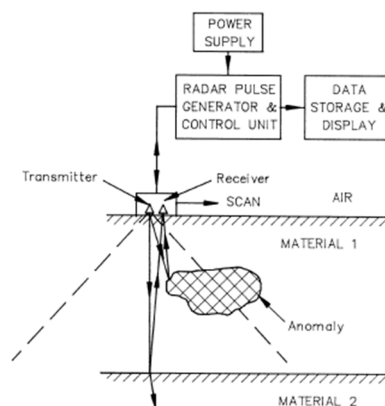
---

<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Kalibratie toestel en uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kalibreer het toestel volgens de instructies van de fabrikant</li> <li>- Lokaliseer de staven of voer een line scan uit. Meerdere linescans kunnen ook in een grid patroon worden uitgevoerd en samengebracht worden.</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Raadpleeg de resultaten op het toestel zelf of via bijhorende software op een computer</li> <li>- De afstand tussen het oppervlak van de sensor en de (bovenkant) van de wapeningsstaaf wordt bepaald. Indien er afwerkingslagen aanwezig zijn, dient hiermee worden rekening gehouden bij de verdere verwerking resultaten.</li> </ul> <p>Opmerkingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meetbereik tot maximaal 100 mm diepte, detecteert enkel bovenste wapeningslaag.</li> <li>- Onnauwkeurige meting indien dicht gewapend element.</li> <li>- Opmeting staafdiameter is slechts een indicatie.</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2], [3], [20], [21]  Richtlijnen/artikels: [8], [18], [32], [33]  Instructievideo's/Webinars: [14], [34]</p>

---



<b>Toepassing</b>	Detecteren wapening (meerdere lagen), holtes, scheuren, gelaagdheid
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (elektromagnetisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering, gevorderde expertise voor interpretatie resultaten
<b>Werkingsprincipe</b>	Een ground penetrating radar (GPR), ook bodemradar genoemd, is een toestel die vanaf een oppervlak objecten tot op enige diepte kan registreren. Een radar-techniek (Radio Detection And Ranging) kan met behulp van hoogfrequente elektromagnetische golven veranderingen in de structuur detecteren. Zo kunnen verschillende lagen onderscheiden worden en wapening en holtes gedetecteerd.



Principeschets GPR [2]

#### Werkingsprincipe van C-thrue IDS GeoRadar

De GPR genereert hoogfrequente elektromagnetische signalen (2 GHz) die via een transmissie antenne doorheen het beton worden gestuurd. Reflecties en brekingen van de radargolf zullen optreden bij raakvlakken tussen verschillende materialen en het signaal dat terugkeert naar de oppervlakte-antenne kan geïnterpreteerd via de software.

Bijkomend is dat de C-thrue twee antennes elk met een andere polarisatie (HH en VV) bevat. Deze gelijktijdige dubbele polarisatie maakt het mogelijk om dieper gelegen objecten te identificeren via de radarbeelden. Bij een enkele polarisatie is deze data vaak niet terug te vinden in de radarbeelden en wordt alle energie gereflecteerd door de eerste laag en bevinden de onderliggende lagen zich in de schaduw van de eerste (onvoldoende penetratie van de pulsen). De tweede polarisatie is loodrecht gericht op de eerste, waardoor onderliggende objecten via deze oriëntatie wel inzichtelijk gemaakt kunnen worden. De objecten worden met andere woorden op een andere manier 'belicht', waardoor ze alsnog zichtbaar worden.

---

**Praktische werkwijze**

## Vorbereiding:

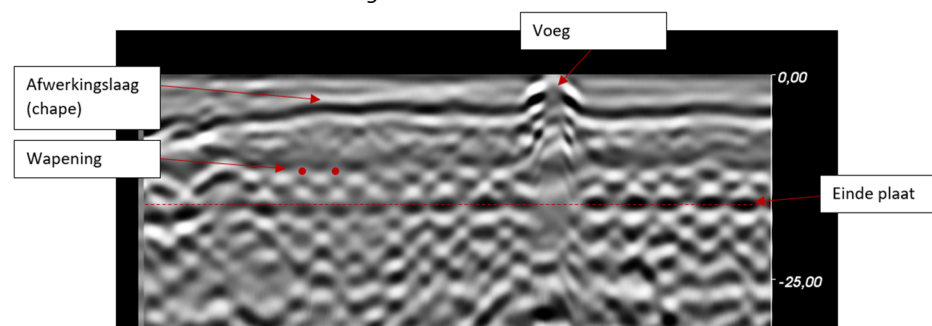
- Zet een raster uit wanneer een volledig beeld van een zone verkregen dient te worden

## Uitvoeren metingen:

- Voer een line scan uit door met de radar over het oppervlak te rijden. Meerdere linescans kunnen ook in een grid patroon worden uitgevoerd en samengebracht worden. Selecteer hiervoor de gewenste uitvoeringsmodus op het toestel.

## Analyse resultaten:

- Raadpleeg de resultaten op het toestel zelf of via bijhorende software op een computer. Wapeningsstaven worden herkend aan de parabool op het radarbeeld.

*Voorbeeld resultaat radar-meting:***Bijkomende info**

Boeken/cursussen: [2], [20], [15]  
Richtlijnen/artikels: [18], [35]–[40], [41]  
Instructievideo's/Webinars: [42]

---



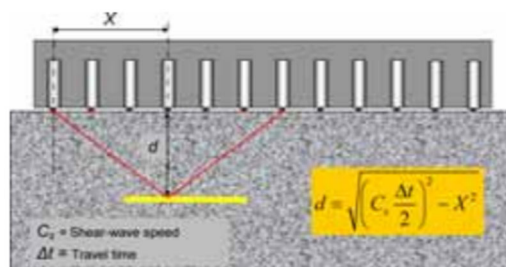
<b>Toepassing</b>	Detectie wapening, holtes, scheuren, totale dikte plaat via ultrasone geluidsgolven
<b>NDT/SDT/DT</b>	Niet-destructieve test (akoestisch)
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering, gevorderde expertise voor interpretatie resultaten
<b>Werkingsprincipe</b>	Ultrasone tomografie is een techniek waarbij er via ultrasone geluidsgolven (25 – 85 kHz) een beeldvorming van een interne structuur worden gemaakt. Deze geluidsgolven vallen buiten het menselijk gehoorbereik en "doorstralen" het te onderzoeken element. De golven gaan doorheen het element en worden gereflecteerd wanneer er een overgang tussen materialen met andere elastische eigenschappen is. Hierdoor worden wapeningsstaven en holtes gedetecteerd en de dikte van het element bepaald.

#### *Werkingsprincipe beschreven van MIRA tomograaf van Germann Instruments*

De MIRA tomograaf is gebaseerd op de ultrasone pulsecho-methode met behulp van zend en ontvangstransducers in een "pitch-catch"-configuratie. Hierbij zendt één transducer een spanningsgolfpuls uit en ontvangt een tweede transducer de gereflecteerde puls. De tijd ( $\Delta t$ ) vanaf het begin van de puls tot de aankomst van de echo wordt gemeten (zie figuur). Als de golfsnelheid  $C$  bekend is, kan de diepte ( $d$ ) van de reflecterende interface worden berekend (de vergelijking gaat ervan uit dat de twee transducers dicht bij elkaar liggen).

$$d \approx C * \Delta t / 2$$

De MIRA bevat vier rijen met elke 12 transducers. Deze transducers werken achtereenvolgens als zender en ontvanger. In ongeveer 3 seconden wordt met behulp van een signaalverwerkingstechniek (SAFT: Synthetic Aperture Focusing Technique) een 2D-beeld van de doorsnede op de testlocatie gevormd (B-scan).



Principe MIRA tomograaf [43]



De golfsnelheid is afhankelijk van vele parameters zoals: vochtigheid, samenstelling en ouderdom beton, oppervlakte behandeling (ruw – glad), etc. Er is een lineair verband tussen de dikte en de golfsnelheid doorheen het materiaal. De golfsnelheid is een cruciale parameter om de dikte van het element te bepalen. Het toestel bepaald zelf de golfsnelheid, maar indien meer nauwkeurigheid gewenst is, is een destructieve validatie nodig. De golfsnelheid dient echter voor het uitvoeren van de scan worden ingesteld, en kan nadien niet meer aangepast worden. Indien de dikte van de plaat nauwkeurig bepaald dient te worden, is een kalibratie nodig aan de hand van een boring doorheen de plaat.

Ook scheuren kunnen gedetecteerd worden, maar er kan niet "onder" de scheur gekeken worden. Eens er een verschil is in elasticiteit, kan er niet dieper in het materiaal "gekeken" worden.

### Praktische werkwijze

Vorbereiding:

- Zet een raster uit wanneer een volledig beeld van een zone verkregen dient te worden

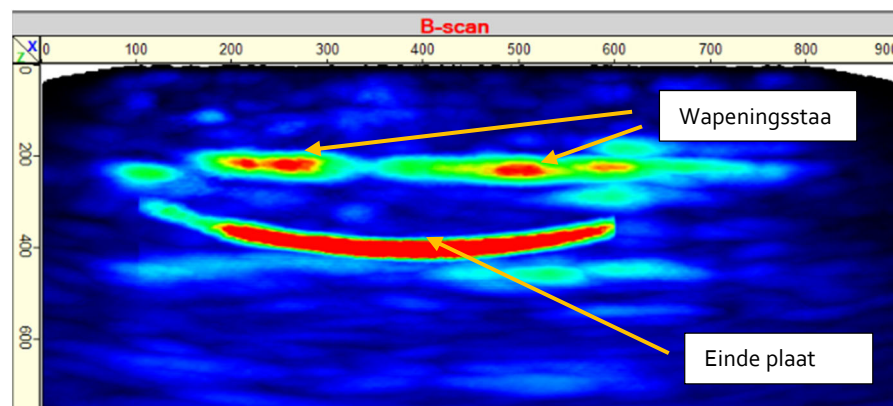
Kalibratie en uitvoering metingen:

- Duw het toestel tegen het oppervlak en druk op knop aan het handvat op de metingen te starten.
- Er kan een enkele metingen worden uitgevoerd, of de metingen kunnen in een gridpatroon worden uitgevoerd waarbij de resultaten aan elkaar gelinkt worden. Selecteer hiervoor de gewenste uitvoeringsmodus op het toestel

Analyse resultaten:

- Raadpleeg de resultaten op het toestel zelf of via bijhorende software op een computer.

Voorbeeld resultaat B-scan met MIRA tomograaf:



Opmerkingen:

- Het is niet mogelijk om "onder" een eerste afwerkingslaag of scheur te kijken
- Geen continue meting, grote oppervlakten scannen is een tijdrovende taak

### Bijkomende info

Boeken/cursussen:

Richtlijnen/artikels: [43], [44]

Instructievideo's/Webinars: [45]



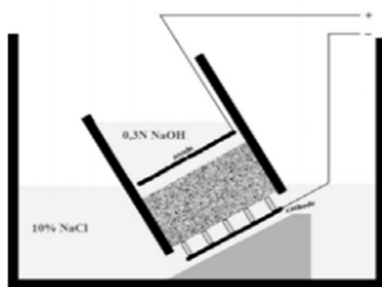
<b>Toepassing</b>	Bepaling chloridegehalte
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test op boorstofmonsters
<b>Labo/ In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	Het boorstof wordt in oplossing gebracht en naarmate een hoger chloridegehalte zal de vloeistof meer rood verkleuren. Met behulp van een colorimeter wordt gemeten hoeveel licht er door de gekleurde oplossing geabsorbeerd wordt, en dit is een maat voor de concentratie van die oplossing.
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meng <math>2,0 \pm 0,1</math> gram boorstof met 25 ml zure oplossing</li> <li>- Filter het opgeloste mengsel</li> <li>- Neem met de gepaste pipet de vloeistof op en spuit dit in een kuvettentest. Bij lage chloridengehaltes wordt 1000 <math>\mu</math>l toegevoegd, bij hoge chloridengehaltes 100 <math>\mu</math>l (omslagpunt: <math>0,087 \text{ m}\%_{\text{beton}}</math>). Indien op voorhand geen indicatie is of er al dan niet chloriden zullen aanwezig zijn, kan de test eerst uitgevoerd worden voor 100 <math>\mu</math>l, en als nodig blijkt aanvullen tot 1000 <math>\mu</math>l.</li> <li>- De vloeistof zal verkleuren naarmate de hoeveelheid chloriden die aanwezig zijn.</li> </ul> <p>Kalibratie toestel en uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stel het bereik in van het meettoestel (afhankelijk van de hoeveelheid toegevoegde oplossing)</li> <li>- Plaats de voorbereide kuvet in het toestel en noteer de bekomen waarde</li> <li>- Kalibreer het toestel tussen elke meting met het ijkingsbuisje</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reken het resultaat dat wordt gegeven in <math>\text{m}\%_{\text{beton}}</math> om naar <math>\text{m}\%_{\text{cement}}</math></li> <li>- Meetresultaten combineren met resultaten betondekking op zelfde locatie</li> </ul> <p>Opmerkingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- De kuvettentesten hebben een beperkte houdbaarheid</li> <li>- Gebruik per test een nieuwe filter/spuit/... om contaminatie te voorkomen</li> <li>- Methode is minder nauwkeurig voor hogere chloridegehaltes (<math>&gt; 0,087 \text{ m}\%_{\text{beton}}</math>)</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	Boeken/cursussen: [2]



<b>Toepassing</b>	Bepaling chloridegehalte
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test op boorstofmonsters
<b>Labo / In situ</b>	Labo, ook testkit voor metingen op locatie beschikbaar
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	Een ionen-gevoelige elektrode meet de elektrische weerstand/geleidbaarheid wat een maat is voor het chloridegehalte van het boorstof dat werd opgelost in een zuur.
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Voeg <math>1,5 \pm 0,1</math> gram boorstof toe aan de ampul met zuuroplossing</li> <li>- Schud de ampul gedurende 5 minuten</li> <li>- Voer de metingen uit 24 uur nadat de monsters zijn klaargemaakt om sneller een stabiele meetwaarde te bekomen</li> <li>- Maak de elektrode klaar voor gebruik</li> </ul> <p>Kalibratie toestel en uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kalibreer de elektrode met de vier kalibratievloeistoffen</li> <li>- Reinig de elektrode tussen elke meting met gedestilleerd water</li> <li>- Plaats de elektrode in de ampul met zuuroplossing en noteer de bekomen waarde in mV</li> <li>- Voer op het einde de kalibratie opnieuw uit en stel de kalibratiecurve op</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reken het resultaat dat wordt gegeven in mV via de kalibratiecurve om naar <math>m\%_{\text{beton}}</math> en nadien naar <math>m\%_{\text{cement}}</math></li> <li>- Meetresultaten combineren met resultaten betondekking op zelfde locatie</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	Richtlijnen/artikels: [4,6]



<b>Toepassing</b>	Bepaling chloridgehalte
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test
<b>Labo / In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	EN 14629 (2007): Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies – Beproevingmethoden – Bepaling van het chloridegehalte in verhard beton  Nordtest method NT Build 208: Concrete, Hardened: Chloride content by Volhard titration
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoerder
<b>Werkingsprincipe</b>	Een titratie is een techniek die wordt toegepast om de concentratie van een stof in een oplossing te bepalen. Door druppelsgewijs een reagens toe te voegen tot het omslagpunt wordt bereikt, kan de onbekende concentratie bepaald worden.
<b>Praktische werkwijze</b>	<p><i>Raadpleeg norm/richtlijn voor gedetailleerde werkwijze</i></p> <p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Drogen fijngemalen boorstofmonsters en 5 gram afwegen (noteer exacte waarde)</li> <li>- Toevoegen (warm/kokend) gedestilleerde water en salpeterzuur</li> <li>- Mengsel goed schudden en laten afkoelen</li> <li>- Mengsel filteren via büchnerfilter</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uitvoeren titratie met zilvernitraat 0,1N</li> <li>- Noteer het resultaat van toegevoegd zilvernitraat in ml (omslagpunt)</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Reken het resultaat om naar <math>m\%_{\text{beton}}</math> via: <math>Cl [m\%_{\text{beton}}] = 3.545 * V * N / m</math>  Waarbij: <math>N = 0,1</math>  <math>V = \text{volume toegevoegde zilvernitraat [ml]}</math>  <math>M = \text{massa boorstof [gram]}</math></li> <li>- Reken het resultaat dat wordt bekomen in <math>m\%_{\text{beton}}</math> om naar <math>m\%_{\text{cement}}</math></li> <li>- Meetresultaten combineren met resultaten betondekking op zelfde locatie</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	Boeken/cursussen: [2]



<b>Toepassing</b>	Bepaling chloride-migratiecoëfficiënt $D_{RCM}$
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test
<b>Labo / In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	Geen EN-normering
	Nordtest method NT Build 492
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	<p>De RCM-test is een versnelde proef waarbij de migratie van ionen geforceerd wordt door een externe elektrische spanning over het met <math>\text{Ca}(\text{OH})_2</math> verzadigde betonmonster aan te leggen. Ten gevolge van het potentiaalverschil tussen de elektroden, migreren de chloride-ionen van de bovenstroomse oplossing (10% NaCl), door het betonmonster, naar de stroomafwaartse oplossing gedurende een bepaalde tijd. Daarna wordt het proefstuk opengespleten en besproeid met <math>\text{AgNO}_3</math> - een indicator voor chloriden. Tenslotte wordt de chloride-penetratiediepte gemeten en op basis van deze waarde wordt de chloride-migratiecoëfficiënt <math>D_{RCM}</math> berekend.</p> <p>Wanneer een restlevensduurvoorspelling m.b.t. chloride-geïnitieerde corrosie wenst gemaakt te worden, kan gebruik gemaakt worden van de RCM-test om hieruit de schijnbare diffusiecoëfficiënt te bepalen.</p> <p><a href="#">Bijkomende toelichting duurzaamheidsaspecten zie bijlage   Balcon-e: Protocol</a></p>
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Klaarmaken betonproefstuk en opstelling volgens beschermen methode in NT Build 492</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Schakel de stroom in en pas indien nodig de spanning aan</li> <li>- Bepaal de duurtijd van de test</li> <li>- Noteer de uiteindelijke stroom en temperatuur alvorens de test te beëindigen</li> <li>- Splijt het proefstuk in twee delen en besproei met zilvernitraat ter bepaling van de chloride-penetratiediepte</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Uitrekenen waarde van de chloride-migratiecoëfficiënt <math>D_{RCM}</math></li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Richtlijnen/artikels: [47]</p> <p>Instructievideo's/Webinars: [48]</p>



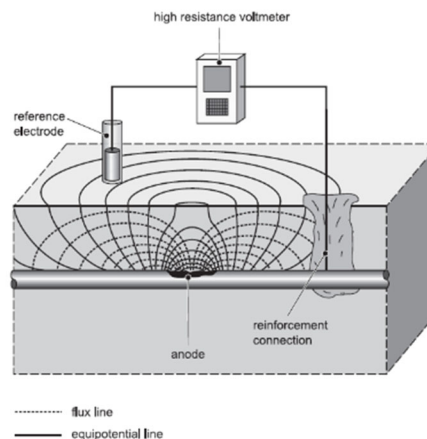
<b>Toepassing</b>	Onderzoek naar carbonatatiecoëfficiënt
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test
<b>Labo / In situ</b>	Labo
<b>Normering</b>	/
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering
<b>Werkingsprincipe</b>	<p>Proefstukken in een carbonatatiekast kunnen op een gecontroleerde wijze blootgesteld worden aan CO<sub>2</sub>. Na een vastgestelde tijdsduur (t) worden de proefstukken in tweeën gespleten en carbonatatiefront (x<sub>c</sub>) bepaald. Hieruit kan de carbonatatiecoëfficiënt (k) bepaald worden via:</p> $k = x_c / \sqrt{t}$ <p>Wanneer de carbonatatiecoëfficiënt gekend is, kan de tijdsduur bepaald worden tot wanneer het carbonatatiefront de wapening zal bereiken.</p> <p><a href="#">Bijkomende toelichting duurzaamheidsaspecten zie bijlage   Balcon-e: Protocol</a></p>
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Instellingen testkamer: zie handleiding leverancier</p> <p>Bepaling carbonatatiefront: zie CARBO<sub>2</sub></p>
<b>Bijkomende info</b>	Boeken/cursussen: [2]



<b>Toepassing</b>	Bepaling carbonatatiefront
<b>NDT/SDT/DT</b>	Destructieve test op boorstof, in boorgat of op doorgesneden kern
<b>Labo / In situ</b>	Labo / In situ
<b>Normering</b>	EN 14630: Producten en systemen voor het beschermen en herstellen van betonconstructies – Beproevingmethoden – Bepaling van de carbonatatie diepte van verhard beton d.m.v. de fenolftaleïne-methode (2007)
<b>Expertise uitvoerder</b>	Eenvoudige uitvoering en interpretatie
<b>Werkingsprincipe</b>	De zuur-base indicator fenolftaleïne verkleurd paars op het beton bij een pH > 9 (alkalische omgeving)
<b>Praktische werkwijze</b>	<p>Vorbereiding:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Kern: splijt de kern in de lengte door en voer de test uit op het doorgesneden vlak</li> <li>- Boorstof: ontleem stapsgewijs boorstof en vang dit op.</li> <li>- Boorgat: voer de test uit in een recent gemaakt boorgat (diameter ≥ 20mm). Opgelet voor contaminatie van het boorgat tijdens het uitvoeren van de meting, zodat geen foutieve nulmeting wordt bekomen</li> </ul> <p>Uitvoeren metingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Besproei het boorstof/de doorgesneden kern of het boorgat met de fenolftaleïne-oplossing.</li> </ul> <p>Analyse resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Meet het carbonatatiefront op. Een paarse verkleuring duidt de niet-gecarbonateerde zone aan (pH &gt; 9). De besproeiende zone waar geen verkleuring optreedt, is het beton reeds gecarbonateerd (pH &lt; 9). De grens tussen de gekleurde en ongekleurde zone is het carbonatatiefront.</li> <li>- Deze resultaten worden vergeleken met de betondekking (op dezelfde locatie) om na te gaan of de wapening al dan niet in de reeds gecarbonateerde zone ligt.</li> </ul>
<b>Bijkomende info</b>	<p>Boeken/cursussen: [2], [20]</p> <p>Richtlijnen/artikels: [8]</p> <p><a href="#">Bijkomende toelichting duurzaamheidsaspecten zie bijlage   Balcon-e: Protocol</a></p>



<b>Toepassing</b>	Lokalisatie corrosiehaarden door het meten van potentiaalverschillen tussen de wapening en een referentie-elektrode
<b>NDT/SDT/DT</b>	Semi-destructieve test: verbinding met de wapening nodig
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	Geen EN-normering  ASTM C876 – 15: Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete (2015)  DGZfP Merkblatt B 03: Electrochemical Half-Cell Potential Measurements for the Detection of Reinforcement Corrosion
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoering en interpretatie
<b>Werkingsprincipe</b>	Een halfcel-potentiaalmeting is een semi-destructieve techniek om corrosiehaarden te detecteren. Deze techniek is gebaseerd op het bestaan van een potentiaalverschil tussen plaatsen waar ijzer oxideert (anode: meer negatieve waarden) en plaatsen waar de passivatielaag nog intact is (kathode: minder negatieve of positieve waarden). Het (elektrochemisch) potentiaalverschil wordt opgemeten tussen de wapening en de referentie-elektrode met een voltmeter. De positieve klem van de voltmeter wordt verbonden met de wapening, de negatieve met de referentie-elektrode. De referentie-elektrode wordt verplaatst over het betonoppervlak dat als elektrolyt fungeert. Om een goede geleiding te garanderen wordt het oppervlak bevochtigd. Dit principe wordt schematisch voorgesteld op de figuur. De referentie-elektrode dient een stabiele en reproduceerbare potentiaal bieden. De vaakste gebruikte zijn koper/kopersulfaat ( $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) en zilver/zilverchloride ( $\text{Ag}/\text{AgCl}$ ). De wapening dient continu verbonden te zijn over de geïnspecteerde zone.



Principeschets potentiaalmeting [15]



---

Er zijn verschillende meetsystemen beschikbaar: punt-elektroden voor kleinere zones of wielelektroden om grotere zones te onderzoeken. De resultaten worden meestal gegenereerd in een grid en worden als zo potentiaalmap weergegeven. Hierop kunnen de equipotentiaalijnen worden weergegeven of wordt gewerkt met een kleurschaal om de resultaten weer te geven.

Een meer negatieve potentiaal wordt gemeten wanneer de kans op corrosie verhoogd. Echter, er kan geen vaste grenswaarde bepaald worden wanneer corrosie zal optreden. Om de meetresultaten juist te interpreteren is het dus van belang om de niet de absolute potentiaalverschillen, maar de verschillen tussen de opgemeten potentiaalverschillen van nabijgelegen zones te bekijken. Potentiaalverschillen groter dan 100mV met aangrenzende meetwaarden duiden op een corrosierisico. Een potentiaalmeting kan niet worden gebruikt om te achterhalen of corrosie al daadwerkelijk is opgetreden en om de snelheid van het corrosieproces te achterhalen.

Het resultaat van deze metingen wordt beïnvloed door:

- Een grotere betondekking (of aanwezigheid van afwerkingslagen) leidt tot minder duidelijke resultaten
- Vochtgehalte van het beton (verschillen tussen bepaalde zones)
- Elektrische weerstand van het beton
- Aanwezigheid van scheuren
- Aanwezigheid van chloriden

De meetresultaten van de potentiaalmetingen best gecombineerd met onderstaande meettechnieken om een analyse te kunnen maken.

- Visuele inspectie van de gehele zone
- Destructieve validatie toestand wapening op locatie met meest negatieve potentiaal
- Betondekkingsmetingen
- Bepaling carbonatatie diepte
- Bepaling chloridegehalte
- Resistiviteitsmetingen

Deze techniek is eerder geschikt wanneer de corrosie veroorzaakt wordt door chloriden. Carbonatatie veroorzaakt depassivatie over grotere gebieden en met eerder kleine potentiaalverschillen. Putcorrosie, geïnitieerd door chloriden daarentegen, leidt tot lokale negatievere potentialen in vergelijking met de niet-gedepassifieerde gebieden, zodanig dat de corrosiehaarden duidelijker in kaart kunnen worden gebracht.

---

**Praktische werkwijze**

Vorbereiding:

- Detecteer op een locatie de wapening en verwijder de betondekking zodat er contact met de wapening kan gemaakt worden.
- Controleer de continuïteit van de wapening
- Voer de metingen uit op een proper oppervlak in een grid (richtlijn: 15 cm tussenafstand)
- Bevochtig het oppervlak voor een goede geleiding

Uitvoering metingen:

- Plaats de punt-elektrode op elke punt van het grid en noteer de bekomen waarde of rij met de wiel-elektrode over het grid

Analyse resultaten:

- Raadpleeg de resultaten op het toestel zelf of via bijhorende software op een computer
- Grenswaarden waarbij de kans op corrosie waarschijnlijk wordt geacht worden gegeven in verschillende richtlijnen naargelang de gebruikte referentie-elektrode. Echter, bij de interpretatie van de resultaten zijn het vooral de grote onderlinge verschillen tussen de potentiaalverschillen in nabij gelegen zones die wijzen op corrosie, eerder dan enkel de absolute gemeten waarden.

---

**Opmerkingen/ beperkingen**

Wapening dient continu verbonden zijn vanaf punt waar verbinding wordt gemaakt; aandacht indien er afwerkingslagen/coatings aanwezig zijn

---

**Bijkomende info**

Boeken/cursussen: [2], [3], [20], [21]  
Richtlijnen/artikels: [8], [18], [49]  
Instructievideo's/Webinars: [50]

---

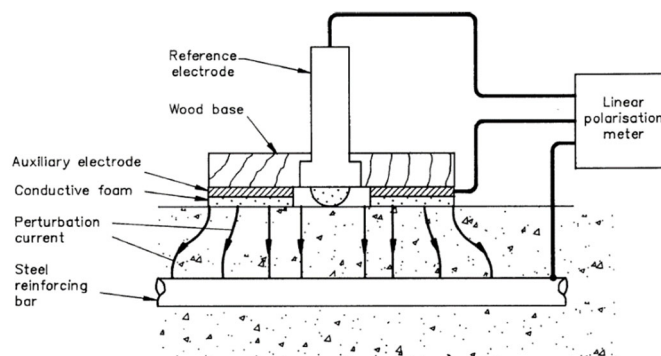


<b>Toepassing</b>	Bepaling snelheid corrosieproces via polarisatieweerstand, waarbij de polarisatieweerstand wordt bepaald via het verband tussen spanningschommelingen en de stroomvariatie
<b>NDT/SDT/DT</b>	Semi-destructieve test: verbinding met de wapening nodig
<b>Labo / In situ</b>	In situ
<b>Normering</b>	Geen EN-normering
	ASTM G59 – 97 (2020): Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance Measurements
<b>Expertise uitvoerder</b>	Gemiddelde expertise uitvoerder, gevorderde expertise interpretatie resultaten
<b>Werkingsprincipe</b>	Een lineaire polarisatiemeting is een techniek waarmee de corrosiesnelheid kan bepaald worden. Uit de polarisatieweerstand kan het verlies in staalsectie (uitgedrukt in mm <sup>2</sup> /jaar) worden bepaald.

De stroom doorheen de corroderende wapening is een maat voor snelheid van het corrosieproces. De werkelijke massa (in gram) van een metaal dat door corrosie ( $m$ ) wordt verbruikt op tijdstip  $t$  (in seconden) nadat de corrosie is begonnen, kan worden bepaald met behulp van Faraday's elektrolyse wet:

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{z \cdot F}$$

waarbij  $M$  de molaire massa van het metaal is (g),  $I$  de corrosiestroom (A),  $z$  de ionische lading van een ion van het metaal (elektronen verwijderd tijdens de ionisatie,  $e^-$ ) en  $F$  is de Faraday-constante (96,485 C/mol). In het geval van wapeningsstaal is  $z = 2$  en  $M = 56$  gram.



Principeschets polarisatiemeting [19]

De opstelling van de meting wordt weergegeven op bovenstaande figuur. Er wordt een referentie-elektrode op het betonoppervlak geplaatst en contact gemaakt met de wapening. De elektrische stroom wordt opgemeten door het opleggen van kleine spanningsvariaties van ongeveer 10 mV.

---

Hieruit kan de polarisatieweerstand  $R_p$  en de corrosiestroom  $I_{corr}$  bepaald worden:

$$I_{corr} = B / R_p$$

$I_{corr}$  = corrosiestroom

$$R_p = \Delta E / \Delta I$$

B = constante tussen 25 (actieve toestand) en 50 (passieve toestand);  
meest gebruikte waarde is 26 mV

De snelheid van het verlies van de diameter van de stalen staaf  $x$  ( $\mu\text{m}/\text{jaar}$ ) kan bepaald worden via:

$$x = \frac{11 \cdot 10^6 \cdot B}{R_p \cdot A}$$

waarbij A de oppervlakte van de doorsnede van de wapeningsstaaf ( $\text{cm}^2$ ). Deze vergelijking veronderstelt uniforme corrosie over het gehele oppervlak van de wapeningsstaaf.

Deze meting is gevoelig aan voorvocht- en dichtheidsvariaties en zal ook afhangen van de weersomstandigheden. Daarom kan het raadzaam zijn om ze op verschillende dagen uit te voeren en de gemiddelde en karakteristieke waarden te beschouwen.

---

### Praktische werkwijze

Vorbereiding:

- Detecteer op een locatie de wapening en verwijder de betondekking zodat er contact met de wapening kan gemaakt worden.
- Controleer de continuïteit van de wapening
- Voer de metingen uit op een proper oppervlak in een grid
- Bevochtig het oppervlak voor een goede geleiding
- Kalibeer het toestel volgens de instructies van de fabrikant indien van toepassing

Uitvoering metingen:

- Stel parameters in via de monitor die van toepassing zijn voor de meting
- Verbind de monitor met de sonde en de wapening
- Druk de sonde tegen het oppervlak
- Noteer de bekomen resultaten / resultaat opslaan in het geheugen van de monitor

Analyse resultaten

- Raadpleeg de resultaten op het toestel zelf of via bijhorende software op een computer

---

### Bijkomende info

Boeken/cursussen: [3], [20], [21]  
Richtlijnen/artikels: [18], [51], [52]  
Instructievideo's/Webinars: [53]

---

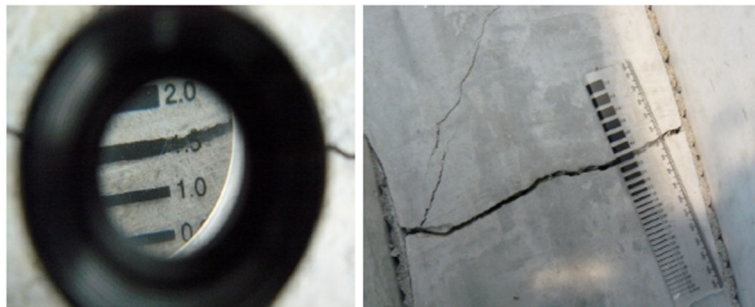
---

## Bijkomende hulpmiddelen bij het uitvoeren van een betononderzoek

Naast de technieken opgesomd in Tabel 2 worden nog enkele bijkomende hulpmiddelen beschreven die gebruikt kunnen worden tijdens een betononderzoek.

- Scheurlatje

*Een scheurlatje, al dan niet in combinatie met een scheurmicroscop, is een hulpmiddel om op een eenvoudige en snelle wijze de breedte van een scheur te bepalen. De breedte van de scheur wordt vergeleken met de aanduidingen op het doorzichtige latje, zodat de scheurbreedte bepaald kan worden.*



Scheurlatje

- Plooiometer

*Een plooiometer is een eenvoudig hulpmiddel om afstanden op te meten, zoals bijvoorbeeld de betondekking bij blootliggende wapening of de totale dikte van de balkonplaat.*

- Laser afstandsmeter

*Bij een onderzoek is het van belang om de plaats van de onderzochte meetlocaties nadien te kunnen achterhalen. Een laser afstandsmeter kan gebruikt worden om de afstand van vb. een boorgat tot de gevel op te meten.*



Positie wapening opmeten met plooiometer



Laser afstandsmeter

## ZIP level



### Toepassing

De ZIP level is een toestel waarmee hoogteverschillen kunnen worden opgemeten. Door het verschil tussen de boven- en onderzijde op te meten, kan de totale dikte van een balkonplaat bepaald worden op niet-destructieve wijze. Het bepalen van de totale dikte is immers niet altijd een evidente zaak om te bepalen met een meetlat door de aanwezigheid van een opstand of de balustrade. Daarnaast kan ook de helling van het balkon worden nagegaan ter controle van de waterafvoer.

### Praktische werkwijze

Vorbereiding:

- De ZIP level bestaat uit een Base Unit (BU) en een Measurement Module (MM) die verbonden zijn door een koord. De BU wordt geplaatst op een stabiele positie. Belangrijk is dat de positie van BU niet wijzigt tijdens het uitvoeren van de meting.
- De metingen kunnen in een straal van 60m en met een hoogteverschil van maximaal 12m rondom de BU worden uitgevoerd.
- Stel de gewenste nauwkeurigheid in voor het uitvoeren van de meting.

Uitvoeren metingen:

- Het koord wordt voldoende afgerold om de metingen te kunnen uitvoeren. Het koord mag niet gekneld worden, dit zou een foutieve meting opleveren.
- De MM wordt op een locatie naar keuze geplaatst en het nulpunt (ZERO) wordt ingesteld.
- Daarna wordt de MM geplaatst op de andere posities en het hoogteverschil wordt afgelezen ten opzichte van het referentiepunt.

Analyse resultaten:

- **OPGELET!** Bij het resultaat van het hoogteverschil dient rekening gehouden te worden met de positionering van de MM. Als de dikte van de balkonplaat bepaald wordt door de onderzijde van de MM aan de bovenzijde van het balkon te plaatsen en nadien wordt de MM met de bovenzijde tegen de onderkant van de plaat gehouden, dient de hoogte van de MM in rekening worden gebracht bij het resultaat.

### Werkingsprincipe

Het werkingsprincipe van de ZIP level is gebaseerd op het drukverschil dat ontwikkeld wordt op de vloeistof in het koord tussen de BU en MM. Via het drukverschil dat door de zwaartekracht wordt ontwikkeld omwille van het netto hoogteverschil tussen de BU en MM kan het hoogteverschil bepaald worden. Het koord tussen de BU en MM is gevuld met een speciale vloeistof en verzegeld met een gas om luchtbelvorming te vermijden.

### Bijkomende info

[www.ziplevel.com](http://www.ziplevel.com)

---

## Literatuurlijst

- [1] T. C. Liu *et al.*, "Guide for Evaluation of Concrete Structures Prior to Rehabilitation Reported by ACI Committee 364," 1999.
- [2] J. Bungey, M. Stephen, and M. Grantham, *Testing of concrete in structures*. Taylor & Francis, 2006.
- [3] B. Craeye, *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*. Odisee Hogeschool, 2020.
- [4] D. Breyse, J. Balayssac, and S. Biondi, "Recommendation of RILEM TC249-ISC on non destructive in situ strength assessment of concrete," *Mater. Struct.*, vol. 52, no. 71, 2019.
- [5] H. Y. Qasrawi, "Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted," *Cem. Concr. Res.*, vol. 30, no. 5, pp. 739–746, May 2000, doi: 10.1016/S0008-8846(00)00226-X.
- [6] E. Quagliarini, F. Clementi, G. Maracchini, and F. Monni, "Experimental assessment of concrete compressive strength in old existing RC buildings: A possible way to reduce the dispersion of DT results," *J. Build. Eng.*, vol. 8, pp. 162–171, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.jobe.2016.10.008.
- [7] A. Jain, A. Kathuria, A. Kumar, Y. Verma, and K. Murari, "Combined use of non-destructive tests for assessment of strength of concrete in structure," in *Procedia Engineering*, Jan. 2013, vol. 54, pp. 241–251, doi: 10.1016/j.proeng.2013.03.022.
- [8] WTCB, "TV 231 : Herstelling en bescherming van beton," vol. 2007, no. September 2007, p. 66, 2008.
- [9] K. Ali-Benyahia, Z. M. Sbartaï, D. Breyse, M. Ghrici, and S. Kenai, "Improvement of nondestructive assessment of on-site concrete strength: Influence of the selection process of cores location on the assessment quality for single and combined NDT techniques," *Constr. Build. Mater.*, vol. 195, pp. 613–622, 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.032.
- [10] GGB-BBG, "Instructievideo: Résistance à la compression des cubes - Druksterkte van Kubussen," 2020. <https://www.youtube.com/watch?v=amzweuPw3gA>.
- [11] M. Breccolotti, M. F. Bonfigli, and A. L. Materazzi, "SonReb concrete assessment for spatially correlated NDT data," *Constr. Build. Mater.*, vol. 192, pp. 391–402, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.10.134.
- [12] D. Breyse, "Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods," *Constr. Build. Mater.*, vol. 33, pp. 139–163, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.12.103.
- [13] B. Craeye, H. van de Laar, J. van der Eijk, W. Gijbels, and L. Lauriks, "On-site strength assessment of limestone based concrete slabs by combining non-destructive techniques," *J. Build. Eng.*, vol. 13, no. September 2018, pp. 216–223, 2017, doi: 10.1016/j.jobe.2017.08.006.
- [14] B. Craeye, "Webinar: Niet-destructieve meettechnieken voor betonconstructies," 2015. <https://www.youtube.com/watch?v=keZcNLE7YCO&feature=youtu.be>.
- [15] M. Raupach and T. Büttner, *Concrete Repair to EN 1504*. 2014.
- [16] S. Al-Sabah, S. N. Alam Sourav, and C. McNally, "The post-installed screw pull-out test: Development of a method for assessing in-situ concrete compressive strength," *J. Build. Eng.*, vol. 33, no. May 2020, p. 101658, 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101658.
- [17] V. M. Malhota and N. J. Carino, *Handbook on nondestructive testing of concrete*, vol. 35, no. 5. 2004.
- [18] ACICommittee, "228.2R-13: Report on Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures," 2013. doi: 10.14359/51686889.
- [19] WTCB, "TV 210: Vocht in gebouwen," no. December, 1998.
- [20] J. Broomfield, *Corrosion of steel in concrete - Understanding, investigation and repair*, Second edi. Taylor & Francis, 2007.
- [21] T. Dyer, *Concrete Durability*. CRC Press ; Taylor & Francis Group, 2014.
- [22] ACI, "201.1R: Guide for Conducting a Visual Inspection of Concrete in Service." p. 19, 2008.

- [23] R. Polder, "Test methods for on site measurement of resistivity of concrete," *Mater. Struct.*, vol. 15, pp. 125–131, 2001, doi: 10.1007/bf02480599.
- [24] R. Polder, R. Weydert, and M. Raupach, "RILEM TC 154-EMC: Electrochemical techniques for measuring metallic corrosion: test methods for on site measurement of resistivity of concrete," *Mater. Struct.*, vol. 33, no. 234, pp. 603–611, 2000.
- [25] O. Sengul, "Use of electrical resistivity as an indicator for durability," *Constr. Build. Mater.*, vol. 73, pp. 434–441, 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.077.
- [26] PCTE, "Resipod tutorial," 2012. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=KYeiU46Drfo&ucbcb=1>.
- [27] A. Akhlaghi and G. Tronca, "Webinar: Resistivity measurements for quality inspection of new structures," 2015. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=UfRF5aXFyYQ&ucbcb=1>.
- [28] MaterialsAdvancedServices, "PermeaTORR," 2021. <http://www.m-a-s.com.ar/eng/product.php>.
- [29] M. Romer, "RILEM TC 189-NEC "Comparative test - Part I - Comparative test of penetrability methods".- Materials & Structures," *Mater. Struct.*, vol. 38, pp. 895–906, 2005.
- [30] R. Torrent, "Non-Destructive Air-Permeability Measurement: from Gas-Flow Modelling to Improved Testing." *Microdurability 2012, Amsterdam*, 2012.
- [31] MaterialsScience, "Tensile Test," 2013. <https://www.youtube.com/watch?v=D8U4G5kpcpM>.
- [32] L. F. Luco *et al.*, "Comparative test - Part II - Comparative test of 'Covermeters,'" *Mater. Struct. Constr.*, vol. 38, no. 284, pp. 907–911, 2005, doi: 10.1617/14432.
- [33] T. Gijsbers, "Niet destructief onderzoek aan bestaande betonconstructies," 2012. <https://www.cementonline.nl/artikel/meten-is-weten-of-toch-niet>.
- [34] Proceq, "Cover Meter & Rebar Detector - Proceq Profometer 6," 2014. <https://www.youtube.com/watch?v=NKcMPIJjkaY&t=71s>.
- [35] Y. El Masri and T. Rakha, "A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections," *Constr. Build. Mater.*, vol. 265, p. 120542, 2020, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120542.
- [36] J. Hugenschmidt and R. Mastrangelo, "GPR inspection of concrete bridges," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 28, no. 4, pp. 384–392, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2006.02.016.
- [37] J. Hugenschmidt, A. Kalogeropoulos, F. Soldovieri, and G. Prisco, "Processing strategies for high-resolution GPR concrete inspections," *NDT E Int.*, vol. 43, no. 4, pp. 334–342, 2010, doi: 10.1016/j.ndteint.2010.02.002.
- [38] J. Hugenschmidt, "Ground penetrating radar for the evaluation of reinforced concrete structures," *Non-Destructive Eval. Reinf. Concr. Struct. Non-Destructive Test. Methods*, pp. 317–333, 2010, doi: 10.1533/9781845699604.2.317.
- [39] L. Jiao, Q. Ye, X. Cao, D. Huston, and T. Xia, "Identifying concrete structure defects in GPR image," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 160, p. 107839, 2020, doi: 10.1016/j.measurement.2020.107839.
- [40] X.-Q. He, Z.-Q. Zhu, Q.-Y. Liu, and G.-Y. Lu, "Review of GPR rebar detection," *Progress Electromagn. Res. Symp.*, pp. 804–813, 2009.
- [41] H. Liu, C. Lin, J. Cui, L. Fan, X. Xie, and B. F. Spencer, "Detection and localization of rebar in concrete by deep learning using ground penetrating radar," *Autom. Constr.*, vol. 118, no. December 2019, p. 103279, 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103279.
- [42] IDS\_GeoRadar, "Instructievideo: C-thru - See Thru Concrete Structures and Reveal True Data that Lead to Optimal Decision-Making," 2018. <https://www.youtube.com/embed/CX8RLN5TSS4>.
- [43] GermannInstruments, "MIRA," 2021. <http://germann.org/products-by-application/ flaw-detection/mira>.
- [44] K. Hoegh and L. Khazanovich, "Concrete pavement joint diagnostics using ultrasonic tomography," *Transp. Res. Board 91st Annu. Meet.*, 2012.
- [45] A. Beeldens, "Webinar: De ultrasone tomograaf: een niet destructieve methode als hulp bij auscultatie van betonwegen," 2014.

- 
- <https://www.youtube.com/watch?v=VGxHrdJel8&feature=youtu.be>.
- [46] GermannInstruments, "RCT and RCTW," 2021. <http://germann.org/products-by-application/chloride-content/rct-and-rctw>.
- [47] P. Spiesz and H. Brouwers, "Analysis of the theoretical model of the Rapid Chloride Migration test," *8th fib PhD Symp. Kgs. Lyngby, Denmark*, pp. 6–11, 2010, [Online]. Available: <http://sts.bwk.tue.nl/josbrouwers/publications/Conference62.pdf>.
- [48] GermannInstruments, "PROOVEit ASTM 1202, ASTM1760 & NT BUILD 492," 2015. [https://www.youtube.com/watch?v=qB5T2bY2\\_qo](https://www.youtube.com/watch?v=qB5T2bY2_qo).
- [49] A. Ouglova, "The influence of cover delamination on the assessment of the corroding rebar in concrete, using the half-cell potential mapping method," pp. 103–113, 2006, doi: 10.1617/2912143780.010.
- [50] R. Eskandari, A. Akhlaghi, and G. Tronca, "Webinar: Corrosion analysis with the Profometer," 2016. <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=-QIWdiUAoc&t=1554s&ucbcb=1>.
- [51] D. Bjegovic, I. Stipanovic, M. Skazlic, K. Feric, and I. Barbalic, "Case study - Corrosion monitoring in marine environment in Croatia," pp. 1–11, 2002.
- [52] R. Bäßler, A. Burkert, T. Frølund, and O. Klinghoffer, "Usage of GPM-portable equipment for determination of corrosion stage of concrete structures," *NACE - Int. Corros. Conf. Ser.*, pp. 1–13, 2001.
- [53] GermannInstruments, "GalvaPulse," 2021. <http://germann.org/products-by-application/half-cell-potential/galvapulse>.
- [54] BetonLexicon, "Warm- en koudgewalst staal," 2021. <https://www.betonlexicon.nl/W/Warm--en-koudgewalst-staal>.



---

## Referenties overgenomen figuren

Foto sclerometer (p8): overgenomen van:

[https://www.proceq.com/uploads/tx\\_proceqproductcms/import\\_data/files/OriginalSchmidt\\_Operating%20Instructions\\_Multilingual\\_high.pdf](https://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OriginalSchmidt_Operating%20Instructions_Multilingual_high.pdf)

Foto's pull-of en pull-out (p9): overgenomen van: Craeye, *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*. Odisee Hogeschool, 2020.

Foto vochtmeter (p10): overgenomen van: Craeye, *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*. Odisee Hogeschool, 2020.

Foto's wapeningsdetector (P15): Overgenomen van Proceq (<https://www.proceq.com/compare/rebar-detection-and-cover-measurement/>) en Hilti ([https://www.hilti.nl/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_7127](https://www.hilti.nl/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127))

Foto GPR (p19): Overgenomen van Hilti ([https://www.hilti.nl/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_7127](https://www.hilti.nl/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127))

Foto RCM (p26): overgenomen van: P. Spiesz and H. Brouwers, "Analysis of the theoretical model of the Rapid Chloride Migration test," *8th fib PhD Symp. Kgs. Lyngby, Denmark*, pp. 6–11, 2010, [Online]. Available: <http://sts.bwk.tue.nl/josbrouwers/publications/Conference62.pdf>.

Foto carbnatatiekast (p27) : overgenomen van: <https://www.memmert.be/product-categorie/klimaatkasten/>

Foto potentiaalmetingen (29): overgenomen van: Craeye, *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*. Odisee Hogeschool, 2020.

Foto scheurlatje (p33): overgenomen van: Craeye, *Betonschade: van waarneming tot duurzaam herstel*. Odisee Hogeschool, 2020.

Foto laser afstandmeter (p33): overgenomen van: <https://cdn.toolstation.be/images/160916-BE/800/28087.jpg>

foto ZIPlevel (p34): overgenomen van: [https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71GFRJbYQgL.AC\\_SL1445.jpg](https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/71GFRJbYQgL.AC_SL1445.jpg)



## Balcon-e

Diagnose, beoordeling en duurzaam herstel van uitkragende betonnen balkons