

Betonnen bedrijfsvloeren en bedrijfsverhardingen



VNC

Vereniging Nederlandse
Cementindustrie

Auteurs: ir. G.Chr. Bouquet MICT
dr.ir. J.W. Frénay

Eindredactie: ing. H.H. Wapperom
Illustraties: H.C. van der Ploeg
Fotografie: Bob de Ruiter

Grafische verzorging: Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch
Prepress: NEROC, Eindhoven B.V.
Druk: HCG Grafagroep, Waalwijk

Oktober 1998

Ondanks de zorgvuldige samenstelling sluit VNC elke aansprakelijkheid uit voor schade die zou voortvloeien uit het gebruik van deze publicatie. Degene die van deze publicatie gebruikt maakt, aanvaardt dit risico.

Woord vooraf

In de sectoren 'nijverheid' en 'handel en verkeer' spelen grondstoffen, halffabrikaten en eindproducten een belangrijke rol. Ze moeten - al dan niet in samenhang met het productieproces - worden getransporteerd of op- en overgeslagen. Hiervoor zijn doelmatige voorzieningen nodig in de vorm van bedrijfsvloeren en -verhardingen voor productie, transport en op- en overslag van goederen. Bedrijfsvloeren bevinden zich **binnen** gebouwen en bedrijfsverhardingen **buiten** deze gebouwen. Voor een efficiënte bedrijfsvoering moeten die vloeren en verhardingen op het gebruiksdoel zijn afgestemd. Daarom mogen ze geen sluitpost op de begroting vormen, anders ontstaan er vrijwel zeker problemen: bedrijfsstagnatie, slijtage van transportmiddelen, onveilige situaties en voortijdig onderhoud.

Doel van deze publicatie is om ontwerpers en aannemers van bedrijfsvloeren en verhardingen behulpzaam te zijn bij het maken van een duurzaam ontwerp dat aan alle functionele eisen van de opdrachtgever voldoet: in technische én economische zin.

In deze publicatie behandelen we de op 'staal' gefundeerde bedrijfsvloeren binnen gebouwen en de bedrijfsverhardingen buiten gebouwen, zoals toegepast in het midden- en kleinbedrijf.

We bespreken oplossingen in ter plaatse gestort beton, die veelal door gespecialiseerde vloerenbedrijven of door betonwegenbouwbedrijven worden gerealiseerd. Ook aanleg en nazorg krijgen bijzondere aandacht.

's-Hertogenbosch, oktober 1998

De auteurs

Inhoudsopgave

Kenmerken bedrijfsruimten	3	
Beknopt overzicht van de markt voor bedrijfsruimten, onderscheiden in bedrijfshallen en opslagruimten enerzijds en fabrieksgebouwen anderzijds.		
Functionele eisen aan bedrijfsvloeren en -verhardingen	5	
De functionele eisen waarmee bij het ontwerp en de uitvoering rekening moet worden gehouden.		
Opbouw vloerconstructie	13	
De algemene opbouw van betonvloeren. Informatie over de ondergrond en de vervormingen van de vloeren onder invloed van temperatuur en krimp.		
Afwerkvloeren	20	
De meest gangbare soorten cement- en kunststofgebonden vloerafwerkingen.		
Ontwerpaspecten	24	
Overzicht van de verschillende vloertypen met daarbij de uitgangspunten en randvoorwaarden.		
Voegdetaillering	30	
De voegdetaillering met bijzondere aandacht voor voegpatronen en voegvulmateriaal.		
Belastingen	35	
De belastingen waarmee bij de dimensionering rekening moet worden gehouden.		
Betoneigenschappen	41	
Enkele specifieke eigenschappen van beton en staalvezelbeton.		
Dimensioneren van vloeren en verhardingen	45	
Het met behulp van de computer dimensioneren van vloeren en verhardingen.		
Uitvoeringsaspecten	51	
De voorbereiding van de uitvoering, het bestellen van betonmortel, betonstorten en afwerken alsmede de benodigde nabehandeling van betonoppervlakken. Het hoofdstuk eindigt met enkele kanttekeningen betreffende arbeidsomstandigheden.		
Literatuur	57	
Bijlagen		
1	Vlakheidseisen conform NEN 2743	60
2	Gebruikseisen en uitvoeringsaspecten voor afwerkvloeren	64
3	Krimpspanningen in elastisch ondersteunde betonvloeren	65
4	Details bedrijfsverhardingen	69
5	Eisen aan vloeistofdichte betonvloeren en betonverhardingen	71
6	Overlagen van betonnen bedrijfsvloeren en -verhardingen	75
7	Opbouw vloeren voor koel- en vriescellen	78
8	Verhardingsklassen betonwegenbouw	82
Trefwoorden	83	
Belangrijke adressen	85	

Kenmerken bedrijfsruimten

‘Confectie’ en ‘maatwerk’

De sector bedrijfsruimten is zeer heterogeen samengesteld. Globaal onderscheiden we de ‘confectie’ van bedrijfshallen en opslagruimten en het ‘maatwerk’ van fabrieksgebouwen.

Nieuwbouw van bedrijfsruimten is sterk geconcentreerd; circa zeventig procent gebeurt in de drie randstedelijke provincies Noord- en Zuid-Holland en Utrecht alsmede in de provincies Noord-Brabant en Gelderland.

Het totale marktvolume, uitgedrukt in bruto-vloeroppervlak (bvo) van de verleende bouwvergunningen, bedroeg in 1996 ongeveer 4,7 miljoen m².

Kenmerken bedrijfsruimten

Bij de opzet van bedrijfshallen en opslagruimten is tegenwoordig multifunctionaliteit hét sleutelwoord. Dergelijke gebouwen zijn in principe geschikt voor verschillende soorten gebruikers en worden zowel in opdracht als voor de ‘vrije’ markt gebouwd, veelal op initiatief van een projectontwikkelaar of belegger. Ondanks het gestandaardiseerde karakter zijn er diverse verschijningsvormen: uiteenlopend van solitaire gebouwen zonder kantoorruimte tot complexen van geschakelde ruimten met allerlei kantoorfaciliteiten. Hoewel de schaal van de complexen nogal uiteen kan lopen, zijn de units waaruit ze zijn opgebouwd meestal kleinschalig. Behalve de ‘general purpose’ bedrijfsruimten zijn er ook specifieke ‘tailor made’ toepassingen, zoals voor drukkerijen, ijzergieterijen, archieven en koel- en vriescellen.



Fabrieksgebouwen zijn veelal uniek en op een bepaalde gebruiker toegesneden. De schaal ervan kan sterk variëren, evenals de uitvoering. Bijna altijd worden fabrieksgebouwen in opdracht van de gebruiker gebouwd. Door het specialisme dat van een uitvoerend bouwbedrijf wordt verwacht, komen veel opdrachten buiten de ‘vrije’ markt om tot stand. Bij verkoop door de eerste gebruiker komen fabrieksgebouwen vaak wel voor de vrije verhuur of verkoop op deze markt beschikbaar.

In tabel 1 hebben we de belangrijkste kenmerken per soort bedrijfsruimte samengevat.

Tabel 1:
Kenmerken bedrijfsruimten

Soort bedrijfsruimte	Kenmerken
Bedrijfshallen en opslagruimten	<ul style="list-style-type: none"> • geschikt voor diverse gebruikers • ondanks uiteenlopende schaalgrootte vaak opgebouwd uit kleine units • zowel ‘in opdracht’ als voor de ‘vrije’ markt • soms met, soms zonder kantoorruimte
Fabrieksgebouwen	<ul style="list-style-type: none"> • veelal klant-specifiek • uiteenlopende schaalgrootte en uitvoeringswijze • meestal ‘in opdracht’ • vaak met enige kantoorruimte

Functionele eisen aan bedrijfsvloeren en -verhardingen

Normen en eisen

De eisen waaraan betonnen bedrijfsvloeren, waaronder monoliete vloeren en cementgebonden dekvloeren, en betonnen bedrijfsverhardingen moeten voldoen, zijn omschreven in Nederlandse normen. De belangrijkste normen in dit verband zijn:

- NEN 5950 (VBT 1995): technologische eisen, waaronder samenstelling betonspecie en sterkte [1];
- NEN 6722 (VBU 1988): eisen betreffende de uitvoering, zoals algemene eisen betreffende vlakheid (art. 8.6) [2];
- NEN 2741: eisen betreffende cementgebonden dekvloeren [3];
- NEN 2743: eisen betreffende monoliete betonvloeren [4].

Bedrijfsvloeren en -verhardingen moeten, afhankelijk van het soort gebruik, kwalitatief veelzijdig zijn ten aanzien van alle voorkomende 'belastingen'.

Naar gelang van de wijze van gebruik en de bouwsituatie, kunnen we de te stellen eisen onderscheiden in:

1. Bouwkundige eisen: thermisch (isolatie), akoestisch
2. Mechanisch eisen: druk-, trek- en hechtsterkte, slijtvastheid
3. Chemische eisen: zuren, basen, zouten, oliën
4. Additionele eisen: vlakheid en evenwijdigheid, ruwheid, stroefheid (nat/droog), stofvrijheid, porositeit, elektrische geleidbaarheid, toxiciteit, reuk, wel/geen voegen, laagdikte, eigen gewicht, esthetische eisen.

Van de bovengenoemde eisen lichten we de meest voorkomende (en bediscussieerde) hieronder beknopt toe.

Druksterkte

Onder sterkte verstaan we de weerstand tegen opgelegde vervormingen (door krimp en kruip, temperatuur en zettingsverschillen) en tegen uitwendige belastingen (statisch, mobiel). De sterkte wordt getoetst aan de hand van kubussen conform artikel 10 van de VBT 1995.

Volgens artikel 5.1 van NEN 2743 moet de betonsterkteklasse ten minste B 25 zijn. Voor betonverhardingen adviseren we ten minste B 35, in verband met de vorstdooizoutbestandheid.

Behalve de draagkracht van de vloer, waarbij buigende momenten veroorzaakt door geconcentreerde lasten (stellingpoten) meestal maatgevend zijn voor de vloerdikte, moet het vloeroppervlak ook sterk genoeg zijn om contactdrukken onder statische lasten en wiellasten te kunnen opnemen. Bij voertuigen of transportmiddelen met (zeer) kleine wieltjes van staal, polyamide of Vulkollan kunnen zeer hoge contactdrukken optreden in de orde van 5 tot 15 N/mm²!

Van groot belang voor de bedrijfsvloer en -verharding is dat de sterkte van het (gebruiks)oppervlak (toplaag) overal een hoge kwaliteit heeft. Onder kwaliteit verstaan we o.a. de slijtvastheid en de bestandheid tegen hoge contactdruk. Om die vereiste kwaliteit van de toplaag te garanderen moeten er in vergelijking tot de onderliggende vloer, hogere eisen worden gesteld aan de mengsamenstelling om de voor de verwerking vereiste consistentie te bereiken en waterafscheiding uit te sluiten. Ook de juiste materiaalkeuze

en verwerkingsmethode zijn erg belangrijk. Voor verdere informatie verwijzen we naar het hoofdstuk 'Uitvoeringsaspecten'.

Slijtvastheid

Bij vloeren waarop in een hoge frequentie mobiele belastingen voorkomen, is de slijtvastheid uitermate belangrijk. Een niet-behandeld oppervlak, in de meest algemene zin van het woord, zal mogelijk snel 'slijtschade' vertonen met een desastreus gevolg voor de bedrijfsvoering.

Zowel NEN 2741, alhoewel bijzonder summier, als NEN 2743 besteedt aandacht aan de slijtvastheid. In NEN 2743 wordt ervan uitgegaan dat de vloer voldoende slijtvast is wanneer bij de opgegeven (strooilaag)-klasse (art.4) voldoende strooimateriaal van de juiste samenstelling (art.5.2) wordt toegepast. Het strooimateriaal bestaat over het algemeen uit gebroken natuursteenproducten, al dan niet gelardeerd met metallurgische producten met een maximale korrelgrootte van 3 mm conform de kromme van Fuller.

Een indicatie voor voldoende slijtvastheid van betonvloeren is het gemeten gemiddelde massaverlies bij toepassing van de zandblaasproef conform NEN 2875 [5] of bij de Amsler-proef conform NEN 2874 [6], waar in NEN 2743 naar wordt verwezen.

In de praktijk zijn de volgende maximale waarden haalbaar:

- monolietvloer: massaverlies < 20 g.
- strooilaagdekvlloor: massaverlies < 16-17 g.
- pantserdekvlloor: massaverlies < 10-12 g.

Vlakheid en evenwijdigheid

Een in het algemeen sterk onderschatte eis is de noodzakelijke vlakheid van de vloer ofwel de toegestane onvlakheid (tabel 2).

De onvlakheid van een vloer wordt bepaald door drie eigenschappen:

1. Kromming

De peilmaat onder een rei, een maat voor de kuilen en bulten.

2. Evenwijdigheid

Het hoogteverschil tussen twee punten, ofwel de scheefstand in een vloeroppervlak.

3. Scheluwte

De driedimensionale aspecten van een vloeroppervlak, oftewel de mate waarin een rechthoekig vlak wordt verwrongen.

Tabel 2
Vlakheidseisen voor verschillende
soorten bedrijfsvloeren

Gebruik	Laagstapelmagazijn	Hoogstapelmagazijn
Bulkopslag	NEN 2743, klasse III DIN 18202, Zeile 2	NEN 2743, klasse II DIN 18202, Zeile 3
Brede-gangenmagazijn	NEN 2743, klasse II DIN 18202, Zeile 3	NEN 2743, klasse I DIN 18202, Zeile 4
Smalle-gangenmagazijn	DIN 15185 NEN 2741, tabel 2a-2b	DIN 15185 NEN 2741, tabel 2a-2b

Opm.

Brede gangen: breedte ca. 3,0 m, gang waarin heftruck voor de stelling kan draaien.

Smalle gangen: breedte ca. 1,8 m.

Laagstapelmagazijn: stapelhoogte < 6 m

Hoogstapelmagazijn: stapelhoogte > 6 m.

Afhankelijk van de toepassing stellen we meer of minder hoge eisen aan de vlakheid en evenwijdigheid van het vloeroppervlak waarop de bedrijfsactiviteiten plaatshebben. Met betrekking tot de vlakheid moeten we daarom onderscheid maken tussen vloeren:

- waarop in elke willekeurige richting zal worden gereden (balkopslag); en
- waarop alleen sporend in gangpaden zal worden gereden (bijv. hoogstapelmagazijnen), rekening houdend met de breedte van de gangpaden, hoe de heftruck zijn goederen afzet, en de hoogte van het afzetten.

Ook een combinatie van beide bovengenoemde vormen van gebruik is mogelijk, dus een stellingengebied en een afzetgebied.

Beknopte toelichting op een vijftal normen.

De vlakheidseisen conform tabel 2b van NEN 2741 zijn gelijkwaardig aan de eisen voor hoogstapelmagazijnen in DIN 15185 [7] en rapport TR 34 met supplement [8]. De vlakheidseis in tabel 2a van NEN 2741 is niet geschikt voor vloeren in hoogstapelmagazijnen.

DIN 15185 is specifiek ontwikkeld voor heftrucks in magazijnen met een smalle-gangensysteem. Voor een brede-gangensysteem kunnen we ook andere normen toepassen, zoals de NEN 2743 en DIN 18202 [9].

DIN 18202 geeft eisen met betrekking tot toleranties in de bouw en niet specifiek over bedrijfsvloeren, behalve Zeile 2, 3 en 4 waarin eisen worden gegeven voor vloeren in algemene zin. Volgens de DIN 18202 moet de gaping onder een aluminium rei worden gemeten, waarbij geen rekening wordt gehouden met de scheefstand van de rei ten opzichte van het horizontale vlak. Deze meetmethode wijkt in dit opzicht af van die volgens NEN 2741 en NEN 2743. Het resultaat van de meetmethode volgens de DIN 18202 is minder streng dan die van de NEN 2741 en NEN 2743. Voor monolitisch afgewerkte betonvloeren worden in artikel 6.2 van NEN 2743 vlakheidseisen genoemd. In artikel 9.2 wordt de wijze van toetsing beschreven. Voor de vlakheid van cementgebonden dekvloeren verwijzen we naar artikel 5.3 van NEN 2741.

Voor een toelichting op NEN 2743 verwijzen we naar bijlage 1.

Medio 1998 zal ontwerp-NEN 2747 verschijnen. Daarin zijn alle eisen voor de vlakheid van vloeren opgenomen, waaronder ook die uit de NEN 2741 en 2743.

Supervlakke vloeren vereisen al snel een aparte dekvloer die op de draagvloer wordt aangebracht. Gespecialiseerde bedrijven gebruiken speciale meetinstrumenten (foto 1 & fig. 2) om de vlakheid van supervlakke vloeren van hoogbouwmagazijnen te kunnen controleren.

Voor overige normen betreffende vlakheid verwijzen we naar [10-12]. In [13] wordt een overzicht gegeven van de normen en meetmethoden.

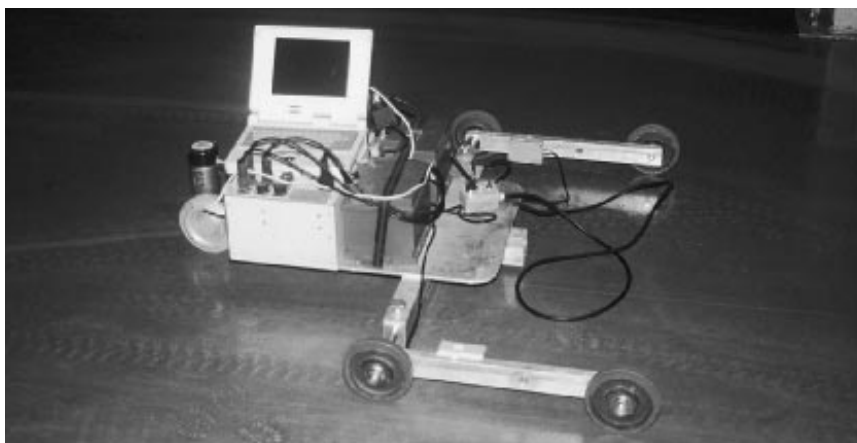
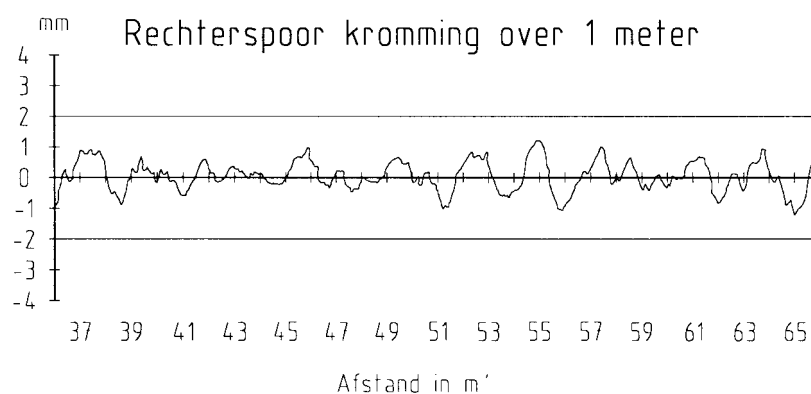
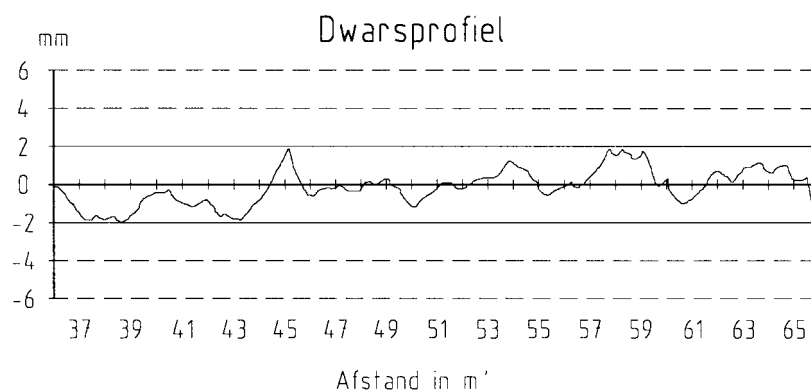
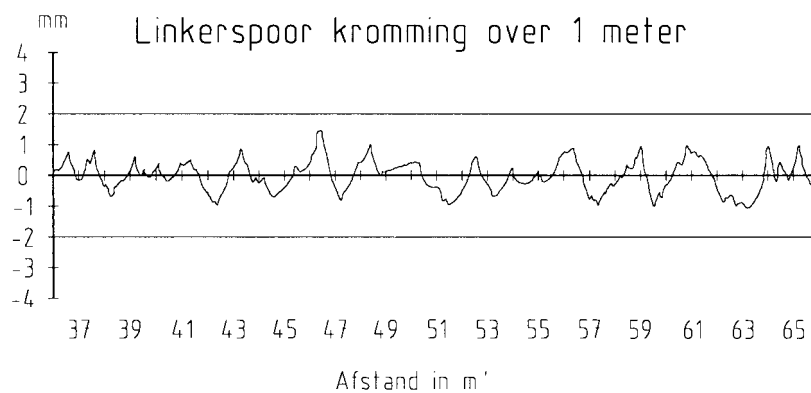


Foto 1:
Clinograph® voor het meten van de vlakheid van rijsporen in hoogstapelmagazijnen
(foto: Buro Vloeradvies, Nieuwersluis)

Figuur 2:
Meetgrafiek van de Clinograph®
(fig.: Buro Vloeradvies, Nieuwersluis)



Ruwheid

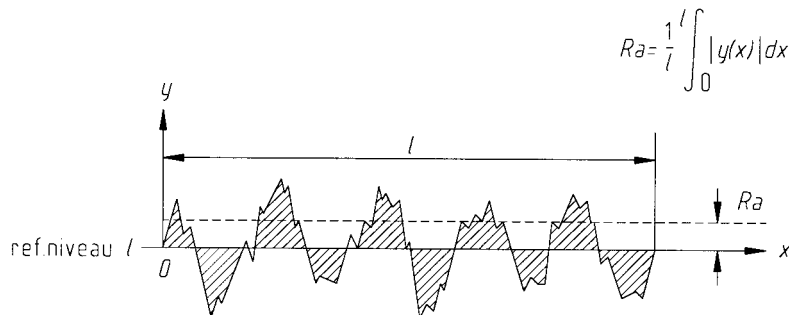
De ruwheid¹⁾ kan worden uitgedrukt in de gemiddelde ruwheidshoogte (Ra in mm) conform NEN 3632 [15], zoals toegelicht in figuur 3.

De ruwheidshoogte kan worden gemeten met de Perthometer® (foto 4). De ruwheid is van invloed op de mate waarin vocht en vuil 'in' het

¹⁾ De gemiddelde ruwheidshoogte is gedefinieerd als het rekenkundig gemiddelde van alle absolute afwijkingen van het ruwheidsprofiel tot de middellijn over een bepaalde meetlengte [14]

vloerooppervlak achterblijven (hygiëne). De ruwheid zegt niets over de stroefheid van het vloerooppervlak. Een vlakke grindweg hoeft niet stroef te zijn, maar is wel erg ruw.

De textuurdiepte wordt gemeten met de zandvlekmethode conform bijlage C van NEN 2743. Deze diepte is geen maat voor de stroefheid maar voor de betonwegenbouw van belang in verband met de geluidproductie.



Figuur 3:
Definitie van gemiddelde
ruwheidshoogte Ra



Foto 4:
Instrument om de ruwheid te meten
(Perthometer®)

Stroefheid

De stroefheid²⁾ van een oppervlak kunnen we uitdrukken in een Leroux-getal op een schaal van 0 tot 100%. De bepaling ervan gebeurt met de stroefheidsmeter volgens Leroux, conform NEN 2873 [16] (foto 5).

De gewenste stroefheid van een vloer kunnen we bereiken door de keuze van het basismateriaal, het toevoegen van instrooi- of toeslagmateriaal in de oppervlakteafwerking of door het aanbrengen van een speciale toplaag. Vooral bij intern transport (zowel rijdend als lopend), gecombineerd met het voorkomen van vloeistoffen op de vloer, is een voldoende mate van stroefheid, ook op langere termijn, van belang. Een indicatie voor voldoende stroefheid is dat het Leroux-getal bij oplevering ten minste 63 bedraagt en, bij gebruik, een kleinste gemeten waarde van ten minste 58. De stroefheid van vloeren verandert bij gebruik. Gebleken is dat na twee jaar gebruik van monoliet afgewerkte vloeren bij vloerklasse MM (zie NEN 2743) de stroefheid afneemt, terwijl de stroefheid bij vloerklasse MS.25 juist toeneemt.

Betonoppervlakken van bedrijfsvloeren worden in verband met de vereiste stroefheid veelal voorzien van een 'bezemstreek' (foto 6).

²⁾ De stroefheid is gedefinieerd als de procentuele vermindering van de stijghoogte van een slinger (Leroux-apparaat) als gevolg van de wrijving van die slinger over een te beproeven oppervlak. De stroefheid wordt uitgedrukt in % !

Foto 5:
Stroefheidsmeter volgens
slingerprincipe van Leroux
(NEN 2873)

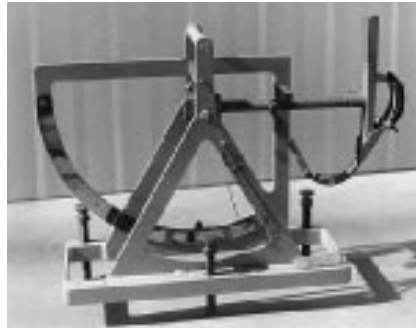


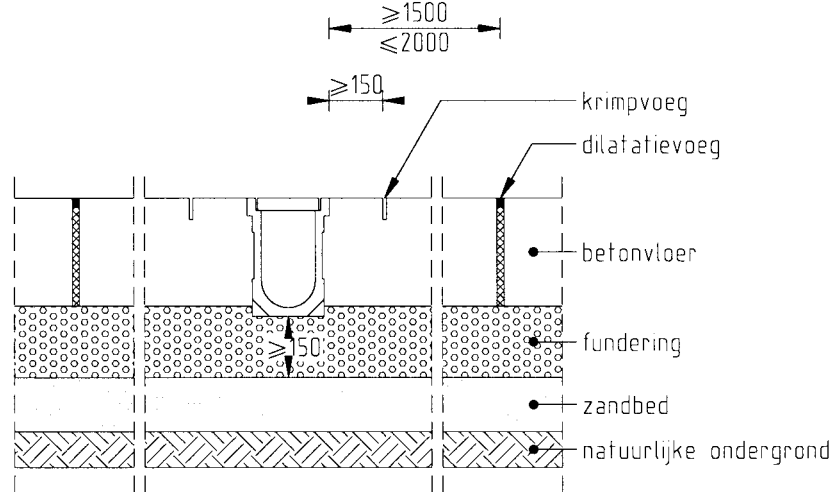
Foto 6:
Oppervlak van dwarsgeveegd
betonoppervlak van een
bedrijfsverharding

Waterafvoer

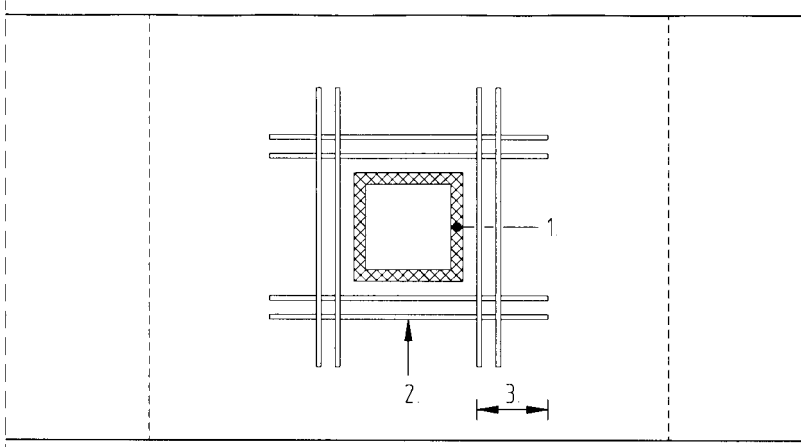
Afhankelijk van het soort bedrijfsproces is afvoer van (condens)-water noodzakelijk, in verband met onder meer hygiëne (bijv. slachterijen, voedingsindustrie) en beloop-/berijdbaarheid. Voor betonverhardingen is een afschot van minimaal 0,5 à 1,0% gewenst, met een maximum van circa 2%. Bij intensief bereiden verhardingen met veel 'sporend' verkeer kunnen we overwegen om een voegloze vloer te maken dan wel de voegen te vullen. In figuur 7 hebben we een doorsnede gegeven van een afvoergoot in een elastisch ondersteunde bedrijfsvloer/-verharding. Figuur 8 laat voorbeelden zien van de plaatsing van putten in een bedrijfsverharding.

Voor de afwatering van grote oppervlakken wordt veel gebruik gemaakt van lijnvormige afwateringselementen (foto 9). Hoe we een put in bedrijfsverhardingen kunnen opnemen toont foto 10.

Figuur 7:
Doorsnede polyesterbetonnen
afvoergoot in een bedrijfs-
verharding



*Figuur 8:
 Detaillering van een put
 in een bedrijfsverharding
 a. in het midden van een plaat
 b. langs een dwarsvoeg
 c. in een hoek van de plaatrand
 en de dwarsvoeg*



1. min. 25mm dilatatie ruimte (bijv. PS-hardschuim)
2. wapening min. $2\phi 10$ onder en boven per putzijde (betondekking min. 30mm)
3. laslengte min. 250mm

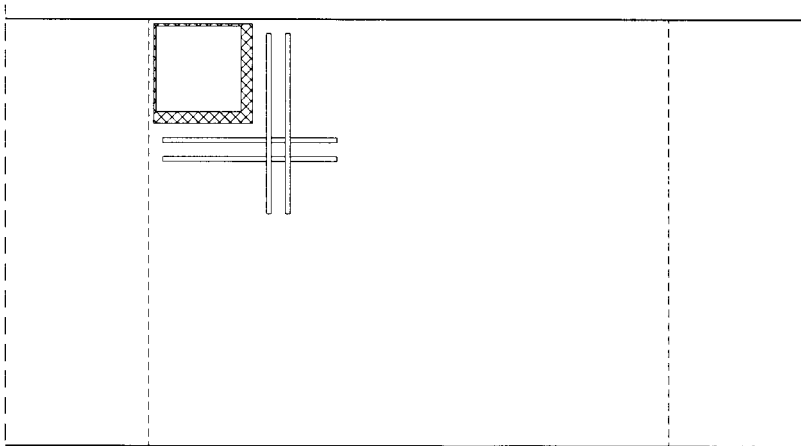
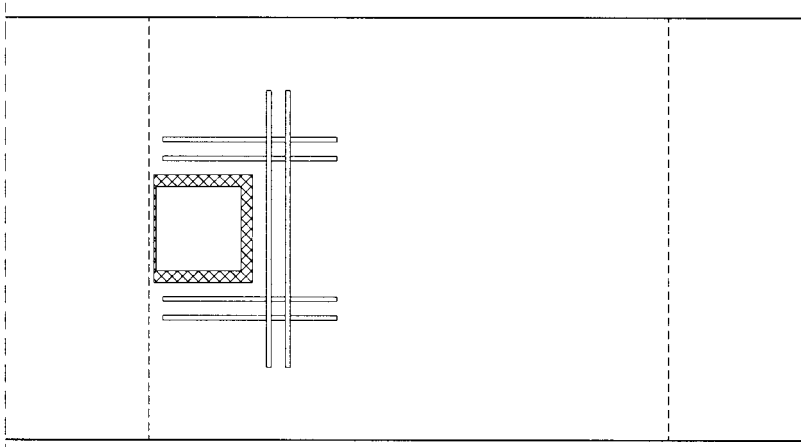


Foto 9:
Element voor lijnafwatering
in bedrijfsverharding



Foto 10:
Inspectieput in een
bedrijfsverharding

Vloeistofdichtheid

Bij het be- of verwerken van milieugevaarlijke (vloeistof)stoffen moeten we de bodem veelal een duurzame bescherming geven (zie verder bijlage 6 'Eisen aan vloeistofdichte betonvloeren en betonverhardingen').

Bij vloeistofdichte verhardingen, zoals bij benzinstations, moeten alle voegen vloeistofdicht worden afgesloten (foto 11). Voor nadere informatie over vloeistofdichte betonvloeren en -verhardingen verwijzen we naar de NIBV/PBV-tabel 'Constructies en materialen', bijlage van de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten - NRB [17].

Foto 11:
Vloeistofdichte verharding met
koudgietbare voegvulmassa
bij een tankstation



Chemische bestendigheid

Soms kan het vloeroppervlak in contact komen met chemicaliën of oplossingen hiervan, zoals zuren, alkaliën, zouten, suikers, minerale of organische oliën. Met die omstandigheden moet de ontwerper bij de keuze van de soort en de samenstelling van beton rekening houden. Voor de duurzaamheid van beton in agrarische milieus verwijzen we naar [18].

Elektrisch geleidend vermogen

De slechte geleidbaarheid van beton komt goed van pas bij inductiegeleiding van intern transport. Om in geval van elektronische apparatuur aan de eisen (aarding, geleiding, doorgangswaarde en vonkontlading) te kunnen voldoen, moeten we een speciale coating of vloerafwerking aanbrengen die is voorzien van geleidend materiaal. In ruimten met explosiegevaarlijke gas-, damp-, nevel- of stofmengsels is er altijd een kans op ontstekingsgevaar. De gevolgen van elektrostatische op- of ontladingen kunnen dan zeer groot zijn. Tabel 3 geeft een overzicht van de eigen weerstand van verschillende soorten vloersystemen.

Tabel 3
Elektrisch geleidende vloersystemen

Soort vloer	Eigen weerstand (Ohm)
elektrisch geleidende vloer	$2,5 \cdot 10^4 - 1,0 \cdot 10^6$
antistatische vloer	$10^6 - 10^9$
elektrisch zwevende vloer	instelbaar

Bron: Sika B.V., Maarssen

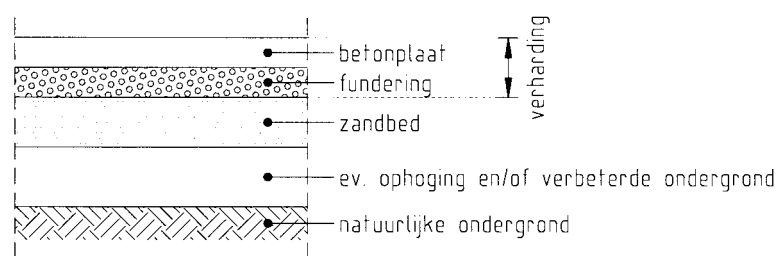
Opbouw vloerconstructie

Van onder naar boven bestaat een vloerconstructie uit:

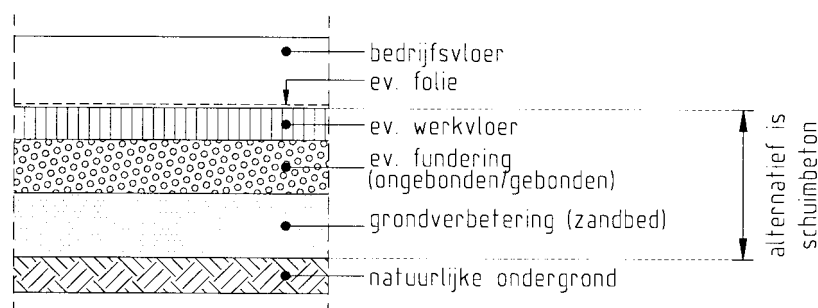
- natuurlijke ondergrond, eventueel met grondverbetering (bijv. zandbed);
- fundering (gebonden of ongebonden, optioneel);
- werkvloer (optioneel);
- folie, eventueel te combineren met een waterkerende laag (optioneel);
- bedrijfsvloer van beton;
- slijtlaag (optioneel);
- afwerklaag (coatings etc., optioneel).

De figuren 12 en 13 laten de principe-opbouw zien van een bedrijfsverharding en een bedrijfsvloer.

Voor bijzondere omstandigheden, zoals bij koel- en vriescellen, is een isolatie onder de vloer vereist. Informatie hierover is opgenomen in bijlage 7 en in [19].



Figuur 12:
Schematische opbouw van een bedrijfsverharding



Figuur 13:
Laagsgewijze (principe)-opbouw van een bedrijfsvloer

Ondergrond

Belangrijk is dat de draagkracht over het hele vloeroppervlak gelijkmatig is. Onregelmatigheden veroorzaakt door bijvoorbeeld oude funderingsresten of gedempte sloten, kunnen leiden tot zettingsverschillen en scheurvorming. Daarom moet de ontwerper hieraan voldoende aandacht besteden.

Bij een goede draagkrachtige ondergrond brengen we soms ook een grondverbeteringslaag aan in de vorm van een 200 tot 500 mm dik, goed verdicht zandpakket, ter vervanging van de toplaag van teelaarde. Dit pakket compenseert onregelmatigheden in de dichtheid van de aanwezige natuurlijke ondergrond.

Voor de aan het zandpakket te stellen eisen verwijzen we naar CUR Aanbeveling 36 [20] en naar [21].

Het vochtige zandbed in lagen van 150 à 200 mm moeten we trillend verdichten tot een conusweerstand $q_c > 5 \text{ N/mm}^2$ op 0,3 m beneden de bovenkant van het zandbed. De onvlakheid van het afgewerkte zandbed mag maximaal 15 mm bedragen, gemeten onder een rei van 2 m.

Op basis van de resultaten van het grondonderzoek - meestal een boorprofiel en enkele sonderingen - kunnen we met tabel 4 de draagkracht

van de ondergrond classificeren. In deze tabel hebben we voor belastingen (geconcentreerd) bij iedere draagkrachtklasse een indicatie gegeven van het beddinggetal k_0 van de (natuurlijke) ondergrond onder Nederlandse omstandigheden.

Tabel 4
Draagkracht van de (natuurlijke) ondergrond [22]

Draagkracht klasse	Soort ondergrond	Conuswst. q_c (N/mm ²)	Beddinggetal K_o (N/mm ³)	Elast.mod. E_{dyn} (N/mm ²)	CBR-waarde (%)
1	veen	0,1- 0,3	0,01-0,02	10 - 35	1 - 2
2	klei	0,2- 2,5	0,02-0,04	15 - 60	3 - 8
3	leem	1,0- 3,0	0,03-0,06	50 - 100	5 - 10
4	zand	3,0-25,0	0,04-0,10	70 - 200	8 - 18
5	grind-zand	> 10,0-30,0	0,08-0,13	120 - 300	15 - 40

CBR = California Bearing Ratio [23, 24]

Opm.

veen: grondwaterstand 1 m - mv of hoger;

klei: grondwaterstand 1,5 m - mv of hoger;

leem: leemhoudende gronden of losgepakt zand met hoge grondwaterstand;

zand: niet-zettingsgevoelige zandgronden;

grind-zand: zettingsvrije, grofkorrelige gronden met grind en grof zand.

In geval van langeduur en/of gelijkmatig verdeelde belastingen is de

k -waarde ten minste een factor 3 kleiner ($k/3$); zie ook de verhouding E_{stat}/E_{dyn} .

Voor de ondergrond geldt verder:

E_{dyn} (N/mm²) = 10 CBR-waarde (%) en $E_{stat} = E_{dyn}/b$

(veen $b = 10$; klei $b = 7,5$; leem $b = 5$; zand $b = 2,5$; grind $b = 1,5$).

Het maken van betonverhardingen op ondergronden met draagkrachtklasse 1 is zonder speciale maatregelen niet aan te bevelen. Bij deze grondslag raden we in geval van een bedrijfsvloer ten eerste aan een paalfundering te overwegen. Bij bedrijfsverhardingen kunnen we onder deze omstandigheden ook overwegen om een lichtgewicht schuimbetonfundering toe te passen [25, 26].

Bij bedrijfsvloeren op ondergronden met geringe of matige draagkracht (klasse 2 of 3) is de keuze tussen een fundering 'op staal' of op palen vooral afhankelijk van de toelaatbare zettingen en zettingsverschillen.

Fundering

Tenzij er een goed draagkrachtig zandbed aanwezig is en de permanente belastingen niet te hoog zijn, adviseren we een afzonderlijke funderingslaag. Een fundering leggen we vooral aan bij buitentoepassingen, waarmee we beogen [20]:

- de draagkracht bij mechanische aanleg te vergroten;
- randbekistingen en wapeningssupporten tijdens de aanleg te ondersteunen;
- de lastspreiding te bevorderen en de doorbuiging (hoogteverschillen) bij voeg- en randbelastingen door voertuigen te beperken;
- een optimale vlakheid te bereiken om de betonnen bedrijfsvloer met minimale laagdiktevariaties te kunnen storten.

Bij (buiten)toepassingen heeft de fundering ook een drainerende functie en moeten we rekening houden met vorstvrije aanleg.

Voor de fundering gebruiken we korrelig materiaal met een voldoende haakweerstand, een juiste korrelopbouw en draagvermogen [21], bijvoorbeeld hoogovenslakken 0/40, beton- of menggranulaat. Het materiaal verdichten we door te trillen en/of te walsen. Na tien walovergangen moet de verdichting zo groot zijn dat geen voetafdrukken meer ontstaan bij belopen. De onvlakheid van de afgewerkte fundering mag maximaal 15 mm bedragen, gemeten onder een rei van 2 m.

Het kan bij zware belastingen op de vloer/verharding economisch aantrekkelijk zijn om een gebonden fundering toe te passen van

bijvoorbeeld schraalbeton of schuimbeton. Hierbij speelt ook de projectgrootte (aantal m²) een rol. De minimale funderingsdikte bedraagt meestal 150 tot 200 mm.

Voor eisen voor funderingsmaterialen verwijzen we naar hoofdstuk 31 van de Standaard RAW-Bepalingen 1995 [21]:

- ongebonden funderingsmaterialen: par. 51 t.m. 57;
- gebonden funderingsmaterialen: par. 51 t.m. 57;
- schraalbeton: par. 31.3.

Controle van buigtrekspanningen kunnen we bij cementgebonden funderingen meestal achterwege laten, gezien de gunstige belastingafdracht die inherent is aan de relatief stijve betonvloeren en -verhardingen.

Om reflectiescheuren in de betonverharding te voorkomen wordt het schraalbeton of de gestabiliseerde laag, ter plaatse van voegen, ‘ontspannen’ door middel van kerven (foto 14). In tabel 5 staan de elasticiteitsmoduli van enkele veel toegepaste funderingsmaterialen.

Voor eigenschappen en toepassing van secundaire materialen (asfaltgranulaat, betongranulaat, menggranulaat, metselwerkgranulaat, brekerzand en zeefzand) verwijzen we naar [10] en de CROW-brochures ‘Cementgebonden materialen in de wegenbouw’ (verschijnt oktober 1998).



Foto 14:
Gekerfd voegenpatroon in een fundering van schraalbeton

Funderingsmateriaal	E_{dyn} (N/mm ²)
Ongebonden/licht gebonden	
metselwerkgranulaat	100 - 200
menggranulaat	150 - 400
betongranulaat	300 - 600
steenmengsels (natuurlijk gesteente)	300 - 400
hydraulisch menggranulaat	400 - 800
fosfor- en hoogovenslak	400 - 1000 ¹⁾
Gestabiliseerd	
asfaltgranulaatcement:	
- koude recycling in situ	1500 - 2000 ²⁾
- koude recycling in plant	2000 - 4000 ²⁾
Gebonden	
zandcement	5000 - 7000 ⁴⁾
schuimbeton ($\rho = 500 - 1200$ kg/m ³)	650 - 6000 ³⁾
schraalbeton	6000 - 8000 ⁵⁾

Tabel 5
Elasticiteitsmodulus E_{dyn} van verschillende funderingsmaterialen

1) hoogste waarde na binding.

2) gescheurd: lage waarde; gekerfd: hoge waarde.

3) waarden in ongescheurde toestand.

4) waarden gekerfde toestand; gescheurd circa 2000 N/mm².

5) waarden gekerfde toestand; gebeukt circa 2000 N/mm².

Bij bedrijfsterreinen kan afname van de draagkracht optreden door indringing van water in de fundering. Daarom adviseren we om als hoogte tussen de bovenkant van de betonverharding en de hoogst bekende grondwaterstand minimaal 0,50 m aan te houden.

Fundering van schuimbeton

In aanmerking komt schuimbeton met een volumieke massa van ten minste 500 à 600 kg/m³. Vóórdat we het schuimbeton aanbrengen (foto 15), moeten we het zandbed vochtig maken of afdekken met folie om wateronttrekking tegen te gaan. Bij slappe ondergrond brengen we soms eerst een kunststof geotextiel aan, voordat we de schuimbetonspecie gieten. Het voordeel van schuimbeton is dat het de functie van fundering en isolatie in zich combineert. Dat kan van belang zijn bij verwarmde of gekoelde bedrijfsruimten.

Andere voordelen zijn samengevat [22]:

- relatief lage volumieke massa;
- het in het werk gegoten schuimbeton (foto 15) sluit naadloos aan op de ondergrond en is aan de bovenzijde vlak en waterpas;
- snelle aanleg met weinig personeel;
- gebonden materiaal (samenhang).

Foto 15:
Schuimbeton als ophoogmateriaal
bij slappe ondergrond



De fundering moet qua evenwijdigheid¹⁾ (vlakheid) de bovengelegen bedrijfsvloer redelijk benaderen. Soms storten we op het zandbed of de (ongebonden) fundering een 30 tot 50 mm dikke werkvloer van schraalbeton of schuimbeton. We doen dit als we voldoende vlakheid en ondersteuning willen verkrijgen voor wapeningsupporten.

Voor toepassing van schuimbeton onder wegen en terreinverhardingen verwijzen we naar de CROW-ontwerphandleiding [25]. Voor eigenschappen van schuimbeton verwijzen we naar CUR-rapport 181 [26]. De CUR-Aanbeveling 59 [28] geeft richtlijnen voor de vervaardiging en beproeving.

Betonvloer of -verharding

Op de vlakke funderingslaag of op de werkvloer brengen we het beton voor de bedrijfsvloer aan, nadat eventueel eerst de wapeningsnetten of voorspanelementen zijn gesteld. Bij machinale verwerking van de betonspecie kunnen we kiezen voor een 'vaste' bekisting of een zogenoemde glijdende bekisting via bijvoorbeeld een slipformpaver. Voor een

¹⁾ Onder evenwijdigheid wordt in NEN 2892 [27] verstaan, het hoogteverschil tussen twee of meer meetpunten ten opzichten van een streefoppervlak.

slipformpaver gebruiken we aardvochtige betonspecie: deze toepassing blijkt veelal economisch bij oppervlakten vanaf 1000 à 1500 m².

Bij krimp en temperatuurvariaties veranderen de vloerafmetingen. Er ontstaat dan wrijving in het grensvlak aan de onderzijde van de betonvloer, waardoor grote trekkrachten in de vloer kunnen ontstaan. De grootte van de wrijving is afhankelijk van de cohesie τ_0 en de wrijvingscoëfficiënt μ_0 in combinatie met de normaalkracht op het grensvlak (tabel 6). In CUR Aanbeveling 36 [20] zijn de cohesie en de wrijvingscoëfficiënt voor verschillende soorten ondergrond gegeven.

Bij vloeren en verhardingen met voegen raden we aan om de betonspecie, zonder folie, direct op het goed ingewaterde zandbed/fundering te storten. Hierdoor bereiken we dat alle krimpvoegen zo veel mogelijk gelijkmatig doorscheuren. Bij voegloze vloeren adviseren we om een dubbele laag PE-folie (elk 0,15 à 0,20 mm dik) op het zandbed/fundering aan te brengen om daarmee de wrijving te reduceren.

Soort ondergrond	τ_0 (kN/m ²)	μ_0 (kN/m ²)
zand met 2x folie	2	0,3
zand met 1x folie	5	0,5
veen (zonder folie)	10	0,5
klei (zonder folie)	10	0,65
zand (zonder folie)	10	0,8
steenfundering	15	1,2
betonoverlaging (niet hechtend)	25	2,5

Tabel 6

Cohesie τ_0 en wrijvingscoëfficiënt μ_0 tussen betonvloer en ondergrond [20]

Opm.

wrijving vloer/ondergrond: $\tau = \tau_0 + \mu_0 (p_{eg} + \psi \cdot p_c)$

$p_{eg} = \gamma_b h$ (kN/m²), met $\gamma_b = 24$ kN/m³ en $h =$ vloerdikte (m)

$p_c =$ veranderlijke belasting (kN/m²) met $\psi = 0,8$ (momentaan-factor)

Om een glad oppervlak voor de folie te creëren, moeten we de 'top' van grof funderingsmateriaal (bijvoorbeeld 0-40 mm) inwassen met fijn materiaal (bijvoorbeeld zand 0/4).

Reductie van de wrijving is vooral bij (uitgestrekte) voegloze vloeren erg belangrijk. Immers, de betonvloer wil bij afkoelen en opwarmen vervormen, wat zo 'spanningsvrij' mogelijk moet gebeuren. Dit speelt ook direct na aanleg, als beton (door de hydratatie warmte van de cementbinding) uitzet en later door afkoeling samentrekt en (door vochtverlies) krimpt. De kadertekst 'Vervormingen door temperatuur en krimp' geeft nadere uitleg.

Zettingen

Door zettingsverschillen kan een vloer- of verhardingsconstructie onvlakheden (gaan) vertonen. Toelaatbare onvlakheden hangen samen met de gebruikseisen (bijvoorbeeld reachtrucks in magazijnen) en niet zozeer met het materiaal- en constructiegedrag van de vloer.

Afhankelijk van het zettingsgedrag van de ondergrond worden drie geotechnische categorieën onderscheiden zoals aangegeven in tabel 7.

Zettingsgevoeligheid	Zettingsverschil per 5 m lengte
1. weinig	< 10 mm
2. matig	10 - 50 mm
3. zeer	50 - 150 mm

Tabel 7

Categorieën zettingsverschillen [29]

Beton en zettingsverschillen

In gebieden met een zettingsgevoelige ondergrond zijn secundaire zettingen (zogenoemde restzettingen) meestal niet te voorkomen. Deze zullen zettingsverschillen veroorzaken na aanleg van de vloer of verharding. Als we van vloertypen met voegen het zettingsgedrag in één richting beschouwen, dan zullen de krimpvoegen als scharnieren fungeren. De mogelijke 'spanningsloze' rotatie in deze voegen bedraagt circa 0,01 rad. Zettingsverschillen moeten worden overbrugd, zonder dat significant hogere trekspanningen in de vloer optreden. Vuistregel is dat deze additionele spanningen lager moeten blijven dan ongeveer 10% van de gemiddelde waarde van de buigtreksterkte van het beton. Uit praktijkmetingen aan ongewapende verhardingen is afgeleid dat we voor een plaat met lengte l als grenswaarde voor de zetting mogen aanhouden: $w_{\text{toel}} = 75 \text{ à } 100 \cdot 10^{-5} l^2 + 0,01 \cdot l$ [m], waarin l = plaatlengte. Door geringe plaatkromming worden de zettingen van de ondergrond gevolgd, zodat de plaat gelijkmatig ondersteund blijft. Hieruit blijkt dat ook bij relatief zettingsgevoelige ondergrond, vloerconstructies van ongewapend beton zettingsoverbruggend zijn. Er hoeft dus geen scheurvorming op te treden tijdens de ontwerplevensduur. Een verklaring hiervoor is dat er door kruip (ϕ) van beton een reductie zal plaatshebben op het elastisch berekende buigende moment (M_0) als gevolg van de zetting. Voor dit gereduceerde moment geldt: $M_\infty = M_0 (1 - \epsilon^\phi) / \phi$. Bij gewapende vloeren zal de scheurvorming beheerst moeten plaatshebben, waardoor de optredende scheurwijdte in de bruikbaarheidsgrenstoestand lager blijft dan de maximale scheurwijdte conform artikel 4.3.3 van de VBC 1995 [30].

Vervormingen door temperatuur en krimp

Bij het afkoelen en 'opwarmen' moet een vloer kunnen vervormen. Behalve de temperatuur speelt ook de uitdrogingskrimp van beton een rol. Voor het vervormen zijn twee situaties van belang.

Verschillen in temperatuur- en vochtgehalte over de dikte

Door deze verschillen ondervindt de vloer buigspanningen. Bij het afkoelen mag de vloer niet gaan 'schotelen' (zie figuur 16a). Aan de bovenzijde van de vloerranden treden dan de grootste buigtrekspanningen op. Bij het opwarmen (bijvoorbeeld door zoninstraling) moet 'opbollen' worden voorkomen (zie figuur 16b).

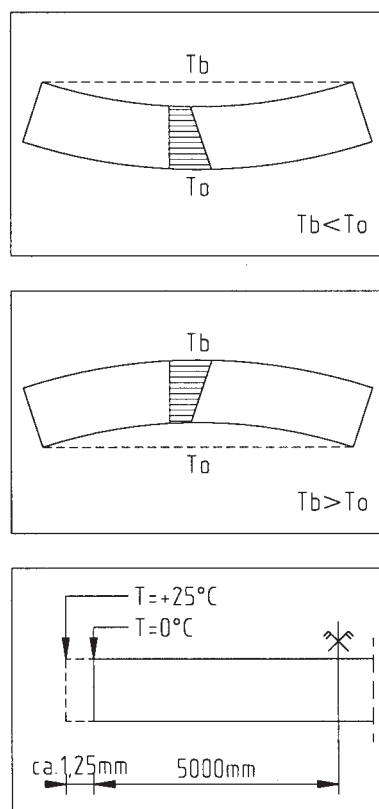
Om deze fenomenen tegen te gaan is een zekere minimumvloerdikte (lees: minimum eigen gewicht ca. $0,15 \cdot 24 = 3,6$ kN/m²) nodig van circa 150 mm voor verhardingen. Bij vloeren in gebouwen adviseren we in dit verband een dikte van circa 120 mm, omdat de gradiënten meestal minder groot zijn dan bij verhardingen onder invloed van het buitenklimaat.

Verkorten of verlengen van de vloer in zijn vlak

Een 10 m brede vloer, onder extreme omstandigheden ($> 30^\circ\text{C}$) aangelegd, zal bij een omgevingstemperatuur van 0°C ongeveer 3 mm korter worden (zie figuur 16c). In droge ruimten kan de vloer nog 4 tot 5 mm extra verkorten door krimp. Deze verkorting gebeurt geleidelijk over een periode van ongeveer één à drie jaar. Bij grote voegloze vloervelden (vanaf 20×20 m²) zorgt een folie onder de vloer ervoor dat de vloer deze bewegingen kan meemaken. De statische wrijvingscoëfficiënt is dan ongeveer 0,3 tot 0,5 [zie tabel 6]. Voorwaarde is wel dat de

vloer deze bewegingen kan meemaken. De statische wrijvingscoëfficiënt is dan ongeveer 0,3 tot 0,5 [zie tabel 6]. Voorwaarde is wel dat de onderlaag (fundering of isolatiepakket) voldoende vlak is aangelegd. Bij een dikte van ten minste 150 à 160 mm zal zo'n ongewapende vloer niet 'spatten', indien bij temperatuurverhogingen (verhardingen) de uitzetting wordt belemmerd. Bij (voegloze) vloervelden groter dan circa $50 \times 50 \text{ m}^2$ ontstaat een middenzone met een volledig verhinderde vervorming.

Als we geen folie toepassen, dan moeten we voorkomen dat opgelegde vloerbewegingen kunnen leiden tot scheurvorming. Bij een cementgebonden fundering mogen krimp-scheuren niet gaan reflecteren naar de betonverharding. Zorg daarom dat zo'n fundering wordt 'ontspannen', bijvoorbeeld door deze bij aanleg te kerven in het voegpatroon van de verhardingsconstructie. De kerfdiepte bedraagt circa 35 tot 40% van de funderingsdikte. Bij voegloze vloeren is kerven niet nodig.



Figuur 16:
Mogelijke vervormingen van de
betonvloer/verharding:
a = schotelen
b = opbollen
c = axiale lengte verandering

Afwerkvloeren

Een afwerkvloer kan nodig zijn in verband met:

- voldoen aan de vlakheidseisen;
- voldoen aan sterkte-eisen (hoge contactdrukken);
- bestendigheid tegen agressieve stoffen;
- reinigbaarheid (hygiëne, stof);
- begaanbaarheid (slijtvastheid, stroefheid);
- gasdichtheid (bijvoorbeeld koelcellen voor fruit);
- gewenste kleur (lichtreflectie, markering vloervelden);
- geleidingen van transportmiddelen.

In eerste instantie zal moeten worden bekeken of we met de monolietvloer aan de gestelde eisen kunnen voldoen. Het grote voordeel van de monolietvloer is de lage prijs en de snelheid van aanleggen. Nadelen van dit vloertype zijn:

- de relatief grote vlakheidstolerantie (afhankelijk van de wijze van uitvoering);
- de beperking dat de vloer in een overkapte, tochtvrije ruimte dient te worden aangebracht.

Als met een monolietvloer niet aan de vlakheidseisen kan worden voldaan, dan moet een afwerkvloer worden aangebracht.

Kenmerk van afwerkvloeren is dat deze hechtend op de betonnen ondervloer worden aangebracht (vereiste gemiddelde hechtsterkte veelal ca. 1-1,5 N/mm²).

Als veel toegepaste afwerkvloeren onderscheiden we:

- a. Cementgebonden afwerkvloeren:
 - dekvloer (dikte 25-50 mm);
 - gietvloer (dikte 3-30 mm);
 - pantserdekvloer (dikte 40-45 mm);
 - kunststofgemodificeerde cementgebonden dekvloer (dikte 8-25 mm).
- b. Kunstharsgebonden afwerkvloeren:
 - hydrofobeerlaag (dikte > 0,2 mm);
 - coating (dikte 0,15-0,4 mm);
 - gietvloer (dikte 3-5 mm);
 - troffelvloer (dikte 5-15 mm).
- c. Tegelvloeren (dikte 4-20 mm).

Cementgebonden afwerkvloeren

Indien we een ter plaatse gestorte betonvloer niet monolitisch kunnen afwerken, passen we in veel gevallen een cementgebonden dekvloer toe. De keuze van een bepaald dekvloertype hangt vaak af van de te verwachten belastingen.

In tabel 8 hebben we een overzicht gegeven van de eigenschappen van de verschillende soorten cementgebonden dekvloeren in relatie tot de sterkteklassen conform NEN 2741 [3].

	Cementdekvloeren			Pantserdekvloeren	Gietvloeren*)
	D15-D20	D30	D40-D55	D75	D20-D30
Vlakheid	goed	goed	goed	zeer goed	matig
Hardheid	slecht	goed	zeer goed	extreem	slecht
Stroefheid	goed	zeer goed	goed	goed of zeer goed	normaal
Slijtvastheid	slecht	goed	zeer goed	extreem	slecht
Productiecapaciteit p. ploeg p. dag	400m ²	300m ²	200m ²	350m ²	3000m ²
Prijsvergelijking	zeer goedkoop	goedkoop	tamelijk duur	tamelijk duur	goedkoop

*)meestal alleen met bedekking

Als zeer hoge eisen worden gesteld aan vlakheid en sterkte van het vloeroppervlak, zoals bij rijpaden in hoogbouwmagazijnen (foto's 17 en 18) wordt vaak een pantserdekvloer toegepast (sterkte D75, toeslagmateriaal N/S). De opbouw van een pantservloer is als volgt:

- ondergrond bestaande uit een constructievloer waarvan het betonoppervlak moet worden ontdaan van de cementshuid in verband met een goede hechting;
- aanbranden van het betonoppervlak met een cementpap (één deel portlandcement met één deel water, eventueel in combinatie met een hechtprimer);
- onderlaag van de pantserdekvloer bestaande uit een aardvochtige mortel (sterkte D40, dikte circa 30-35 mm) die machinaal wordt verdicht met een vlaktrilplaat;
- nat-in-nat wordt een plastische toplaag aangebracht die, in verband met de vereiste vlakheid, nauwkeurig over geleiders op hoogte wordt afgereid;
- de toplaag (dikte circa 5 mm) is of geheel van slijtvast materiaal gemaakt in klasse D75-S, of ingestrooid met 4 à 5 kg slijtvast materiaal in klasse D75-N;
- het oppervlak bewerken met een pleistermachine (vlinderen) voor verdere verdichting en het bereiken van een glad oppervlak;
- het oppervlak vervolgens afdekken met een kunststoffolie voor een optimaal uithardingsproces (géén verdamping).



Foto 17:
Magazijn met reachtruck
(foto: ABT te Velp)

Foto 18:
Supervlakke dekvloer in een
smalle-gangenmagazijn
(foto: Buro Vloeradvies, Nieuwersluis)



Soms kunnen we met de pantserdekvloer in een specifieke situatie niet aan de eisen voldoen. Dan kunnen we een, veelal duurder, kunstharsgemodificeerde cementgebonden dekvloer toepassen. De hierbij toegepaste mortels bestaan veelal uit bindmiddelen op basis van portlandcement en kunststofdispersies (EP, PU, PMMA), ultrafijne vulstoffen en diverse toeslagmaterialen, eventueel voorzien van staalvezels.

De mortels hebben een zeer hoge druksterkte (100-200 N/mm²) en dekvloeren op basis van deze mortels kunnen na 24 uur (bij 20°C) al in gebruik worden genomen.

Kunstharsgebonden afwerkvloeren

Kunstharsgebonden dekvloeren passen we veelal toe als hoge eisen worden gesteld aan de reinigbaarheid en chemische bestendigheid. Als vloeibare en koud uithardende bindmiddelen worden toegepast voor coatings, giet- en troffelvloeren:

- a. epoxyharsen (EP);
- b. polyurethaanharsen (PU);
- c. polymethyl-methacrylaatharsen (PMMA);
- d. onverzadigde polyesterharsen (UP).

Bij nieuwbouw mogen we het vloeroppervlak waarop een kunststof afwerklaag moet worden aangebracht niet vlinderen. Voor een goede hechting moet het betonoppervlak namelijk 'open' of permeabel zijn, terwijl dit door het polijsten (vlinderen) juist extreem dicht wordt en er geen goede hechting meer mogelijk is.

Hydrofobeerlaag

Deze laag wordt aangebracht op monoliet afgewerkte betonvloeren en cementgebonden dekvloeren om poriën te dichten en de oppervlaktestructuur te verbeteren. Door het hydrofoberen ontstaat een oppervlak dat waterafstotend is en daardoor ook minder vuil opneemt [31]. Voor de aan deze middelen te stellen eisen verwijzen we naar [32].

Voor vloeren en verhardingen moeten we bij voorkeur een hydrofobeermiddel toepassen op basis van silaan of siloxaan. Hiermee is namelijk een diepe indringing mogelijk, waardoor de hydrofobeerlaag minder snel is afgesleten. Het hydrofobeermiddel moeten we aanbrengen op een schoon en droog oppervlak. De applicatie dient tweemaal 'nat in nat' te geschieden, zodanig dat het middel over het betonoppervlak vloeit. Het totale verbruik bedraagt, afhankelijk van de kwaliteit van het betonoppervlak, circa 0,2 à 0,6 l/m². Na het hydrofoberen mogen we het oppervlak gedurende 24 uur niet betreden.

Coating

Een coating (dikte 0,15-0,4 mm) beoogt de poriën volledig af te sluiten en een doorlopende film te vormen. Bij vloeren die slechts licht worden belast, volstaat een zorgvuldige reiniging van de betonnen ondergrond om eventueel vuil en losliggende deeltjes te verwijderen. Als aan het vloeroppervlak hoge eisen worden gesteld, is stralen van de betonnen ondergrond meestal noodzakelijk. Om de hechting van de coating te verbeteren, kan een primer (dikte 0,3-1 mm) uitkomst bieden. Om een ruwe ondergrond te egaliseren passen we in plaats van een primer een egalisatie-hechtdlaag (dikte 0,5-1,5 mm) toe of, bij grotere oneffenheden, een uitvlaklaag (dikte 1,5-4 mm).

Kunstharsgebonden gietvloer

De zelfnivellerende gietvloer wordt gekenmerkt door een hoog gehalte aan EP-hars of een combinatie van EP- en PU-harsen. Dit soort gietvloeren is scheuroverbruggend, zeer slijtvast en heeft een goede chemische bestendigheid.

Troffelvloer

De troffelvloer, op basis van EP-hars, heeft een hoog vulstofgehalte, waardoor een dikte mogelijk is van maximaal 10 à 15 mm. De mortel moet met een troffel of spaan op de juiste hoogte en profilering worden verwerkt. Dit type afwerkvloer is geschikt voor vloeren die extreem zwaar worden belast en waar hoge eisen worden gesteld aan de vlakheid (foto 19). Verder blijkt de troffelvloer zeer slijtvast en bestand tegen veel chemicaliën (o.a. melkzuren).



*Foto 19:
Ultravakke epoxygebonden
troffelvloer (10 mm dik)
voor rijpaden van een
hoogbouwmagazijn met
15 m hoge stellingen
(foto: Fa. Possehl, Oosterhout)*

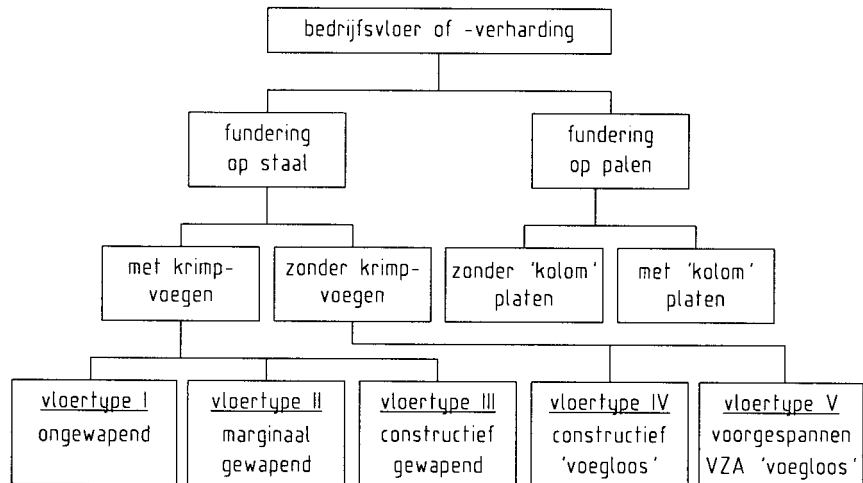
Een overzicht van de gebruikseisen en uitvoeringsaspecten van afwerkvloeren staat in bijlage 3.

Voor nadere informatie over afwerkvloeren verwijzen we naar [33].

Ontwerpaspecten

Bedrijfsvloeren en -verhardingen onderscheiden we in eerste instantie naar het soort fundering: 'op palen' of 'op staal', dat wil zeggen elastisch ondersteund. We behandelen in deze uitgave uitsluitend de op staal gefundeerde vloeren, al dan niet voorzien van krimpvoegen (fig. 20).

Figuur 20:
Indeling bedrijfsvloeren naar type fundering en al dan niet toepassen van krimpvoegen



Vloertypen

De keuze van het vloertype hangt samen met het type bedrijfsvoering. Hierbij gaat het onder meer om de toelaatbaarheid van voegen en om eisen aan vlakheid, chemische bestendigheid, vloeistofdichtheid en vloer-afwerking. Ook spelen voorziene belastingen op de vloer, draagkracht van de natuurlijke ondergrond en beschikbaar budget (economie) een rol.

Bedrijfsvloeren met voegen

Bedrijfsvloeren kunnen we voorzien van voegen (fig. 21, vloertypen I tot III). Vloeren kunnen we ongewapend of gewapend uitvoeren. Als wapening zijn staalvezels of betonstaal (netten) mogelijk. Tabel 9 geeft een overzicht van de vloertypen (met en zonder voegen).

Tabel 9:
Typologie van 'op staal' gefundeerde bedrijfsvloeren

Vloertype	Voegafstand*)	Wapening**)	Scheurwijdte-eis
I ongewapend	6 à 7 m	geen wapening	
II marginaal gewapend	7 à 12 m 7 à 8 m	ondernet min. # Ø 6-150 staalvezels (≥ 30 kg/m ³)	
III constructief gewapend	12 à 20 m	onder $\bar{w}_{0min} = 0,15\%$ evt. ook bovennet	m.k.2: $w_{max} = 0,3$ mm m.k.3-5: $w_{max} = 0,2$ mm
IV constructief gewapend	'voegloos'	onder/boven samen $\bar{w}_{0min} = 0,65\%$	
V voorgespannen 'voegloos'		VZA-kabels en evt.min. # Ø 6-150 of staalvezels***)	

*) plaatafmeting: $l/b = 0,75 - 1,35$

**) \bar{w}_{0min} -waarden voor beton B25;
voor beton B35: $\bar{w}_{0min} = 1,2 \bar{w}_{0min}$, staalkwaliteit FeB 500 HWL

***) eventueel ook bovennet (scheurwijdte beheersing)

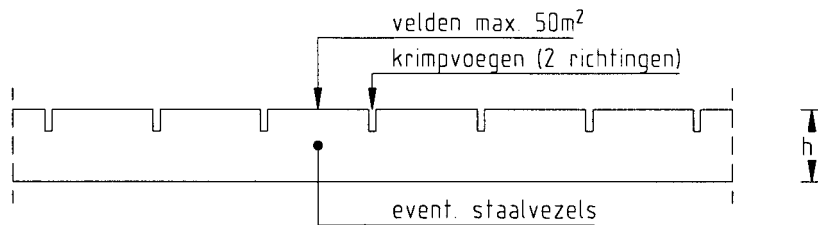
Opmerking: voor toepassingen buiten gebouwen (= betonverhardingen) geldt:

-sterkteklasse ten minste B35

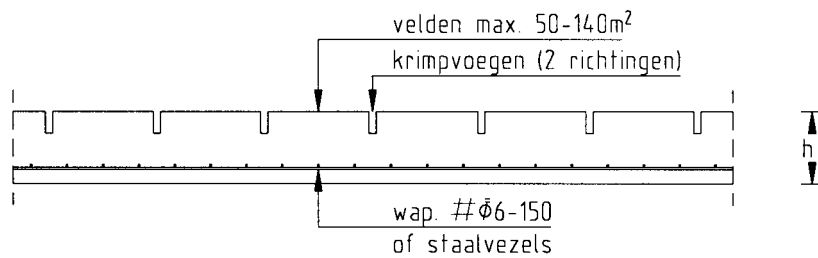
-voegafstanden max. 5,0 -5,5 m. Velden max. 25 à 30 m² voor de vloertypen I en II

Figuur 21:
 Bedrijfsvloeren en -verhardingen:
 typen I t.m. V met positie van de
 krimpvoegen, wapening en
 voorspanning

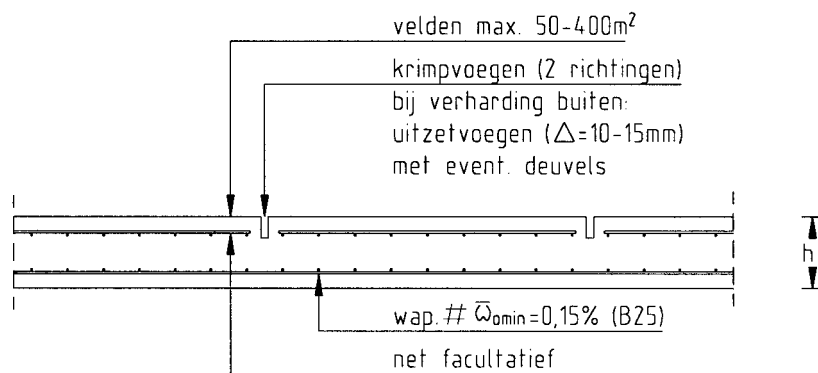
Type I: ongewapend



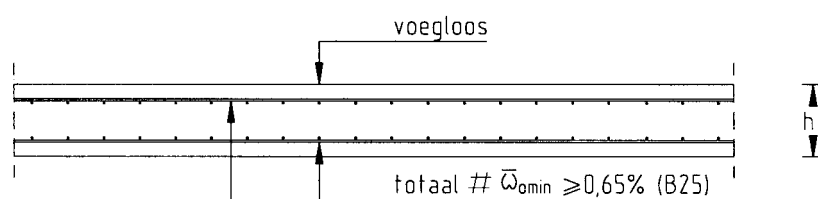
Type II: marginaal gewapend
 (alleen vloeren binnen gebouwen)



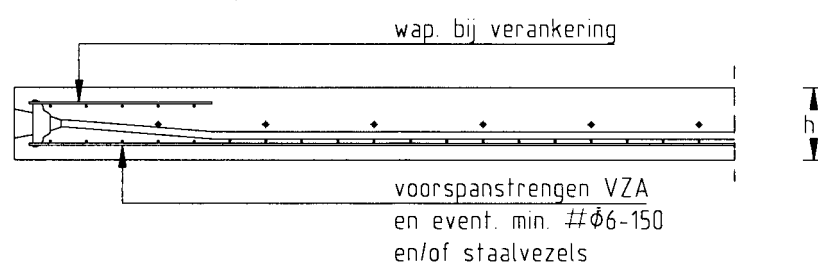
Type III: constructief gewapend



Type IV: constructief gewapend
 ('voegloos')



Type V: gedeeltelijk voorgespannen
 (VZA; 'voegloos')



De voegen vormen de begrenzingen van de vloervelden. De maximumoppervlakte van elk veld varieert tussen 50 en 400 m², afhankelijk van het vloertype. Overigens geldt bij buitentoepassingen een maximumoppervlakte van 25 tot 30 m² voor de vloertypen I en II.

Minimumeisen voor de vloertypen I t.m. III zijn verder:

- minimale vloerdikte 120 mm, bij verhardingen minimaal 150 mm;
- lengte-breedteverhouding tussen 0,75 en 1,35 bij rechthoekige velden;
- sterkteklasse B 25 (binnentoepassing); sterkteklasse B 35 of hoger geldt indien we (grotere) temperatuurverschillen en weersinvloeden over de vloerdikte verwachten, zoals bij buitentoepassingen (betonverhardingen).

Ongewapend beton (vloertype I) is het meest eenvoudig en snel te verwerken en daardoor het minst storingsgevoelig in de uitvoering.

Kiezen we voor wapening (vloertypen II en III), dan vergt een zorgvuldiger uitvoering meer aandacht. Dat geldt vooral voor:

- de gelijkmatige ondersteuning en vlakke ligging van netten (belangrijk i.v.m. voldoende betondekking!);
- de bovenwapening bij belaste vrije randen;
- het betonmengsel, dat afgestemd moet zijn op het toevoegen van staalvezels (vloertype II).

Het lichte wapeningsnet bij vloertype II heeft uitsluitend tot doel de vloervelden onderling te koppelen. Hierbij brengen we de wapening niet uitsluitend ter plaatse van de krimpvoegen aan, maar over het hele oppervlak, met als redenen:

- eenvoud bij uitvoering;
- voorkomen van scheurvorming naast het wapeningsnet.

Door beton te voorzien van staalvezels neemt de buigtreksterkte ervan toe (zie ook het hoofdstuk 'Betoneigenschappen'). We kunnen de vloer dan iets dunner uitvoeren in vergelijking met een betonvloer zonder staalvezels.

Bij staalvezelbetonvloeren adviseren we een voegafstand van maximaal 7 à 8 m [20] en bij verhardingen buiten ten hoogste 5,0 à 5,5 m.

Staalvezels vormen geen vervanging van constructieve wapeningsnetten, omdat bij overbelasting veelal geen sprake meer zal zijn van lastverdelende werking. Gebruik van wapeningsnetten wordt eveneens beloond met een kleinere vloerdikte (afname veelal 15 tot 20% ten opzichte van ongewapend beton) en grotere vloervelden. Als gevolg hiervan neemt ook de totale voeglengte af, wat een aanzienlijke reductie van de kosten kan betekenen (aanleg én onderhoud).

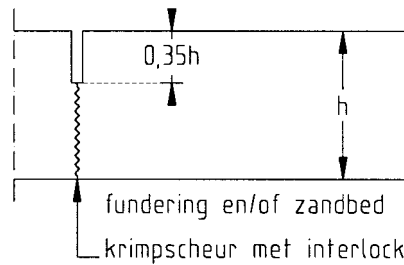
De meest economische keuze - ongewapend of gewapend - hangt sterk samen met de specifieke randvoorwaarden (ondergrond, belastingen, vloeistofdichtheid) van een bouwproject, kosten van materiaal en arbeid en het beschikbare materieel van het uitvoerend bouwbedrijf.

Krimpvoegen maken we door de vloer of verharding in te zagen (foto 22 en fig. 23), meestal binnen 6 tot 36 uur na het storten, afhankelijk van de gemiddelde luchttemperatuur en de mengselsamenstelling. De zaagdiepte is minimaal 35% van de vloerdikte (fig. 24). Bij een 200 mm dikke vloer is de voegafmeting dan circa 3 x 70 mm².

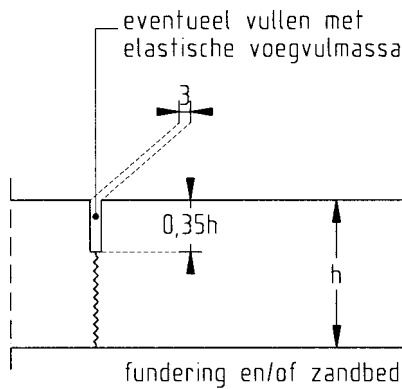
Het bepalen van het juiste zaagtijdstip en de juiste zaagvolgorde is werk voor specialisten! Om vuilophoping tegen te gaan, kunnen we de voeg aan de bovenzijde voorzien van elastisch voegvulmateriaal.



Foto 22:
Zagen van krimpvoegen



Figuur 23:
Krimpvoeg zonder deuvels



Figuur 24: Detail krimpvoeg

In vloeistofdichte vloeren of verhardingen moeten we krimpvoegen opzagen conform art.15.7.2 van [62], voorzien van een rugvulling en afdichten met een voegvulmassa conform [59]. Voor niet-vloeistofdichte buitentoepassingen is dit vaak niet nodig, mits de fundering voldoende erosiebestendig is.

In ongewapend beton vormt zich onder de zaagsnede een krimpscheur. Omdat die scheur ruw is, blijft er voldoende samenhang ('aggregate interlock') tussen de vloervelden, ook na een lange gebruiksperiode. Indien de vloervelden met een lichte wapening bij elkaar worden gehouden (vloertype II), is er ter plaatse van de krimpvoegen ook op de lange termijn voldoende lastoverdracht. Hierdoor zijn grotere voegafstanden (7 à 12 m) mogelijk dan bij een ongewapende vloer (vloertype I). Voor buitentoepassingen is deze voegafstand begrensd op 5,0 à 5,5 m (vloertypen I en II). Bij gebruik van folies onder de betonvloer mag de wrijving niet te gering worden, omdat alle voegen moeten scheuren én de voegwijdte gering moet blijven. In dat geval kunnen we eventueel overwegen om de zaagdiepte iets te vergroten tot bijvoorbeeld 40 à 45% van de vloerdikte.

In een cementgebonden fundering (veelal buiten toegepast, vloertypen I en II) kunnen zich krimpscheuren ontwikkelen. Om 'scheurdoorslag' naar de betonverharding tegen te gaan is een kunststoffolie als tussenlaag vaak onvoldoende effectief. Opties zijn bijvoorbeeld:

- de fundering kort na aanleg kerven tot minimaal 50% van de pakketdikte. Het voegpatroon moet met een tolerantie van maximaal 50 mm corresponderen met dat van de bovenbouw;
- op de funderingslaag binnen één etmaal een bitumineuze 'tussenlaag' (30 à 50 mm) aanbrengen.

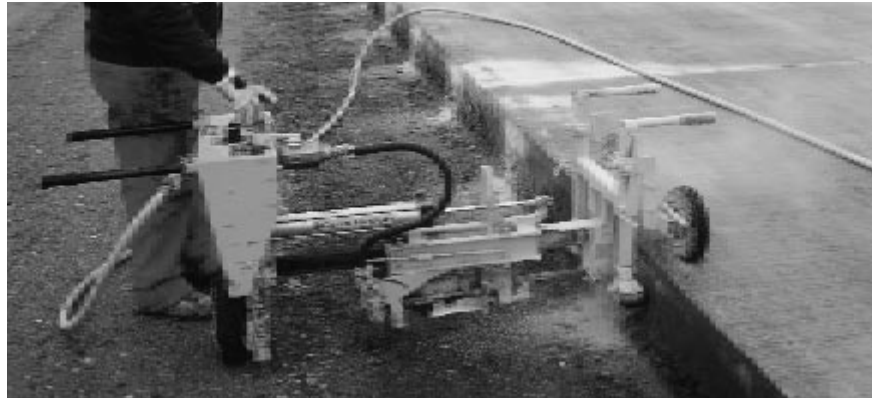
Voor de voegdetaillering verwijzen we naar het volgende hoofdstuk. De foto's 25 t.m. 27 laten enkele handelingen zien tijdens de aanleg van betonverhardingen.

Foto 25:
Intrillen van deuvels voor
krimpdwarsvoeg in een
bedrijfsverharding



Foto 26:
Gestelde deuvels voor
krimpdwarsvoeg in een
bedrijfsverharding

Foto 27:
Boren van een koppelstaaf
(foto: Henk Pijnenburg, Helvoirt)



Bedrijfsvloeren zonder voegen

Willen we geen voegen, dan moeten we de vloer wapenen met één centraal gelegen net. Alternatieven zijn de vloer te voorzien van een boven- en ondernet (vloertype IV), dan wel de vloer voor te spannen (vloertype V). Bij voorgespannen bedrijfsvloeren maken we meestal gebruik van 'voorspanning zonder aanhechting' (VZA). Bij platforms van vliegvelden (aprons) en hangarvloeren zijn in Nederland verschillende toepassingen van 'voorspanning met aanhechting' (VMA) bekend.

Bij het dimensioneren moeten we rekening houden met verhinderde vervorming (krimp, temperatuur, zettingsverschillen), wat veelal leidt tot een onvoltooid scheurenpatroon in de vloer. Hoge eisen (vloeistofdichtheid, zware belastingen) leiden bij vloertype IV al snel tot relatief hoge wapeningspercentages. In dat geval kan het economisch aantrekkelijker zijn om te kiezen voor een voorgespannen vloer/verharding (vloertype V). Het is hierbij gebruikelijk om de vloeren in beide richtingen voor te spannen. Afhankelijk van de sterkteontwikkeling van het beton wordt de vloer binnen 24 à 48 uur afgespannen.

Verder is van belang bij de vloertypen IV en V:

- zorg voor een zo vlak mogelijke ondergrond;
- breng direct onder de vloer folie aan, bijvoorbeeld twee lagen polyethen, elk 0,15 à 0,20 mm dik en minimaal 140 g/m²;
- let op de juiste minimumdekking op het betonstaaf;
- dimensioneer op de toelaatbare scheurwijdte conform artikel 4.3.3 [30];
- minimale dikte 120 mm (binnen) of 150 mm (buiten) bij vloertype IV;
- minimale dikte 140 à 150 mm (binnen/buiten) bij vloertype V.

In tabel 10 hebben we de minimale betondekking, conform artikel 9.2 van de VBC 1995, aangegeven.

Tabel 10
Minimale betondekking van
vloeren en verhardingen met
beton $f'_{ck} \geq 25$ MPa

Milieuklasse	c_{min} bovenzijde	c_{min} onderzijde
milieuklasse 2	25 mm	30 mm
milieuklasse 3-5	30 mm	35 mm

Opm. bij beton met $f'_{ck} < 25$ MPa alle minimale waarden met 5 mm verhogen.

Minimumwapening in voegloze vloeren

Onder invloed van de opgelegde vervorming door krimp en temperatuurdaling na hydratatie ontstaat scheurvorming, waarbij de volledige scheurkracht in het beton wordt overgedragen op het betonstaal. Hieruit volgt dat voor de staalspanning in de scheur geldt:

$$\sigma_{s,cr} = \sigma_{cr} [(1/\bar{\omega}) + n]$$

waarin:

$\sigma_{s,cr}$ = staalspanning in de scheur

σ_{cr} = scheursterkte = gemiddelde korteduur-treksterkte beton:

$$f_{ctm,0} = 1,05 + 0,05 (f'_{ck} + 8)$$

$$n = E_s / E'_b$$

$$E_s = 200000 \text{ N/mm}^2$$

$$E'_b = 22250 + 250 f'_{ck}$$

Door in bovenstaande formule de staalspanning gelijk te stellen aan de vloeispanning: $\sigma_{s,cr} = f_s$ en de scheursterkte gelijk te stellen aan de gemiddelde treksterkte van beton: $\sigma_{cr} = f_{ctm,0}$ kan voor het minimum wapeningspercentage bij beton onder zuivere trek worden geschreven:

$$\bar{\omega}_{min} = 1 / [(f_s / f_{ctm,0}) - n]$$

Voor elastisch ondersteunde voegloze betonvloeren hebben we in tabel 11 de minimum wapeningspercentages gegeven.

Sterkteklasse	B 25	B 35	B 45	B 55	B 65
$\bar{\omega}_{o,min}$	0,65%	0,77%	0,90%	1,02%	1,14%

Opm.: de wapeningspercentages van de totale hoeveelheid wapening (boven- en ondernet), betrokken op de totale hoogte van de betondoorsnede, gelden voor betonstaal FeB 500 ($f_s = 435 \text{ N/mm}^2$)

Tabel 11
Minimum wapeningspercentages bij beton onder trek [34]

Voor de berekening en controle van de scheurwijdte moeten we uitgaan van de situatie dat scheurvorming wordt veroorzaakt door de uitwendige belasting (bijv. puntlast), gevolgd door belasting door opgelegde krimp en temperatuur.

In paragraaf 6.5.2 onder B van [34] wordt een voorbeeldberekening gegeven.

Voegdetailering

Door zorgvuldige detaillering kunnen we randschades bij aansluitingen van vaste wanden, kolommen, putten, goten enz voorkomen. De nieuwe vloer moet gescheiden zijn van de overige bedrijfsvloeren. Veelal brengen we daarom een voeg aan met een breedte van ten minste 3 à 5 mm. Bij betonverhardingen brengen we behalve krimpvoegen (foto's 28 en 29) ook nog uitzetvoegen aan (fig. 30 en 32, foto 31). Deze voegen hebben veelal een breedte van 15 tot 25 mm bij velden van 20 x 20 m². Voor nadere informatie over de detaillering van uitzetvoegen in bedrijfsvloeren verwijzen we naar [35]. Meer informatie over voegvulmateriaal, speciaal van belang bij vloeistofdichte vloeren/verhardingen, is te vinden in paragraaf 6.3 van [29].

Foto 28:
Zagen van krimpvoeg
(foto: Henk Pijnenburg, Helvoirt)

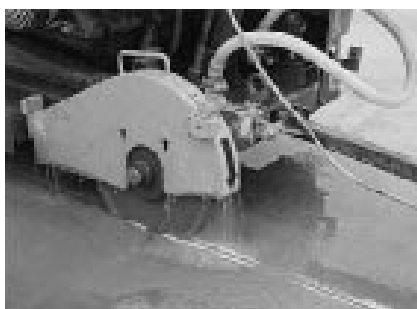


Foto 29:
Krimpdwarsvoeg met krimpscheur

Figuur 30:
Uitzetvoeg zonder deuvels
met voegvulmassa

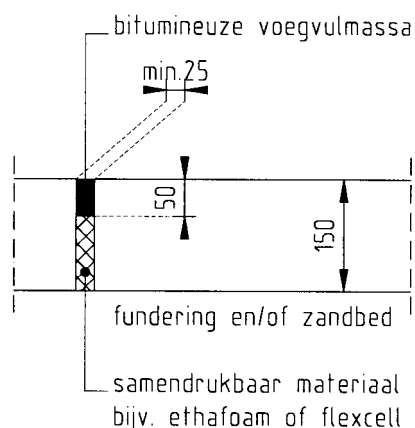
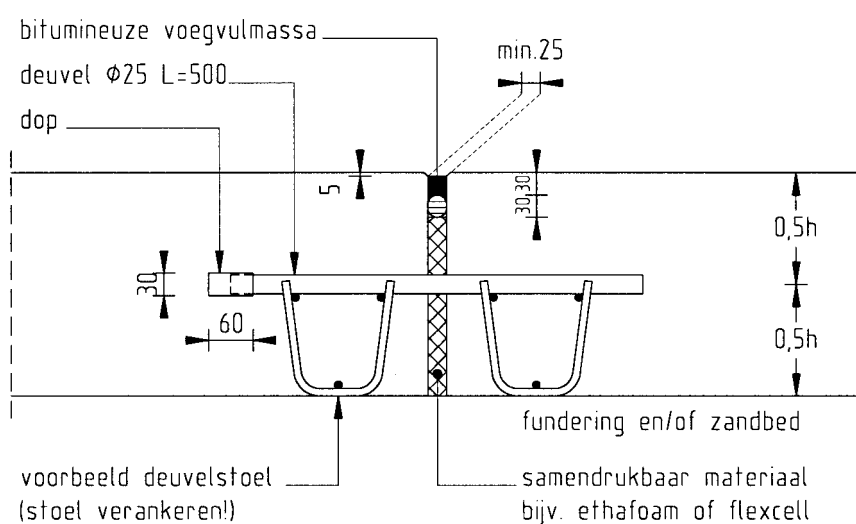


Foto 31:
Flexcell-plaat met afgedopte
deuvels voor een uitzetvoeg

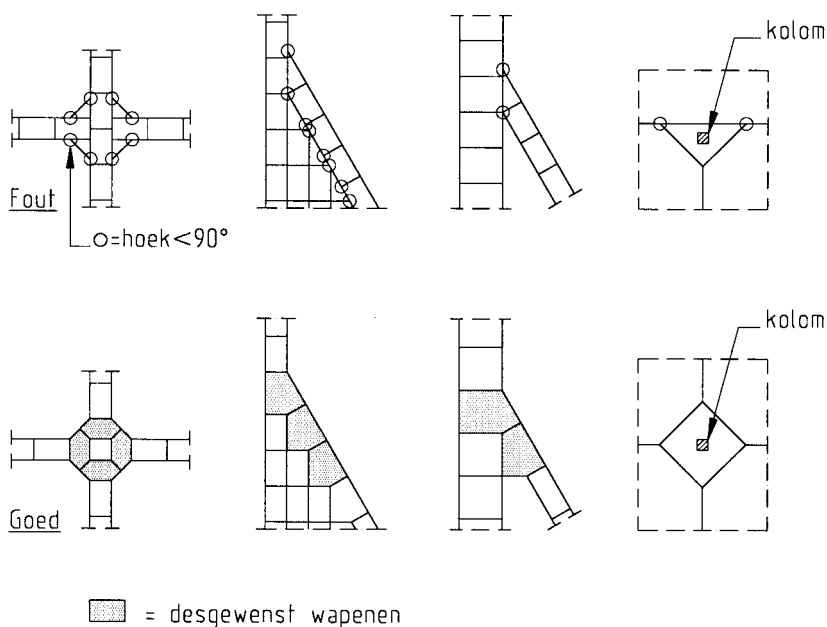
Figuur 32:
Uitzetvoeg met deuvels
en voegvulmassa



Voegpatronen

Voor de plaats en het stramien van de voegen adviseren we de volgende uitgangspunten in acht te nemen:

- bij voorkeur loodrecht op de plaatrand ($> 60^\circ$), zie ook figuur 33;
- niet-rechthoekige of smalle platen ($l \geq 2b$) voorzien van een centraal wapeningsnet, zeker bij buitentoepassingen;
- voegen in rijpaden tussen magazijnstellingen zo veel mogelijk vermijden;
- voegstramien afstemmen op kolomindeling of bouwkundig stramien;
- geen verspringende voegen of T-aansluitingen;
- veldafmetingen en voegafstanden beperken tot de afmetingen zoals gegeven in tabel 9 en figuur 21;
- schuine zaagsneden bij kolommen (fig. 33) dieper inzagen tot 0,6h.
- let op de werkvolgorde in verband met bereikbaarheid van het zaagblad bij voegeinden.



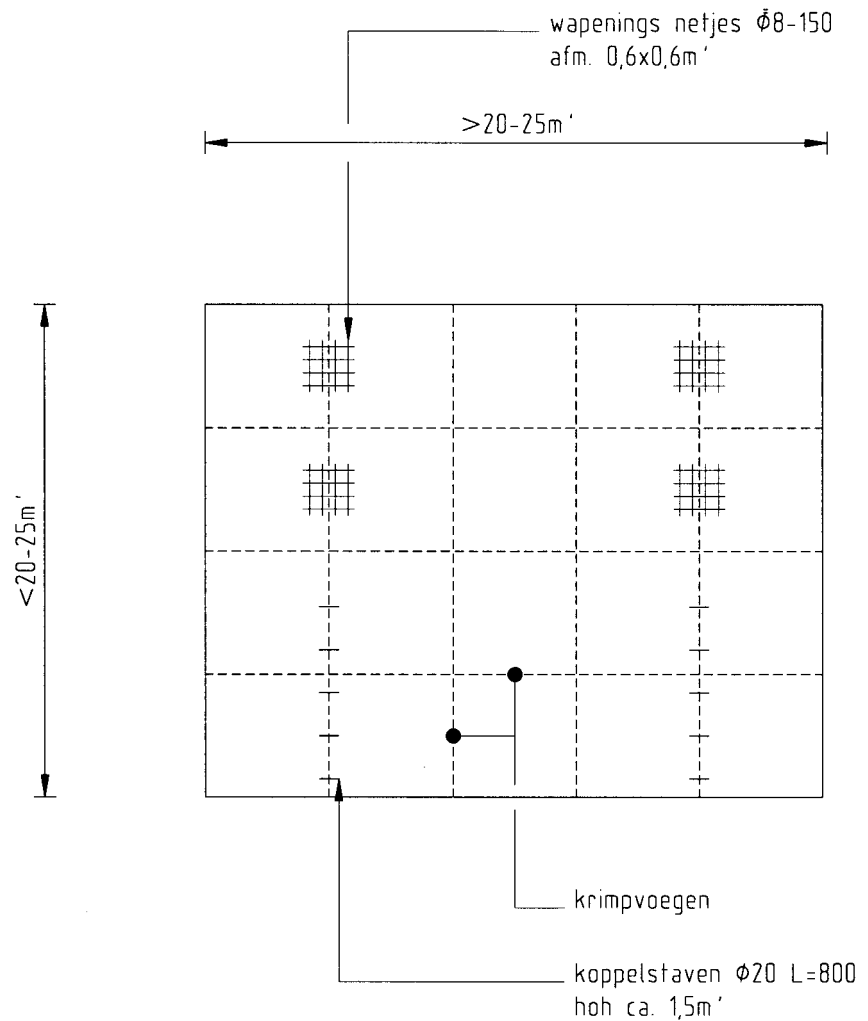
*Figuur 33:
Voorbeeld van voegpatronen
waarbij scherpe hoeken zoveel
mogelijk zijn vermeden*

Bij een goed ontwerp en een juiste uitvoering ontstaat er nagenoeg geen hoogteverschil over de voeg, ook niet na een gebruiksduur van vele jaren. In het in het hoofdstuk 'Dimensioneren van vloeren en verhardingen' uitgewerkte rekenvoorbeeld voor de bedrijfsvloer gaat het om maximaal 9000 equivalente 100 kN-aslasten¹⁾ tijdens de gebruiksduur (waarvan 20% verkeer over de maatgevende voeg); de maximum aslast is ook niet extreem hoog. In die gevallen is deuken niet nodig. Eventueel kunnen we de lastoverdracht verbeteren met een ondernet (vloertype II in figuur 19). Als voegen te wijd worden, kunnen voegranden schade ondervinden van voertuigen met kleine massieve banden. Om dit te vermijden kunnen in het ontwerp speciale voegovergangsconstructies, bijvoorbeeld van metaal of (slijtvast) kunststof worden aangelegd. Als de vloerconstructie langs de buitenomtrek onvoldoende is opgesloten, worden de buitenste voegen wel gekoppeld, bijv. met wapeningsnetjes (bijvoorbeeld per plaatveld $\# \varnothing 8-150$, $0,6 \times 0,6 \text{ m}^2$, op 50 à 60 mm boven onderkant vloer) of via

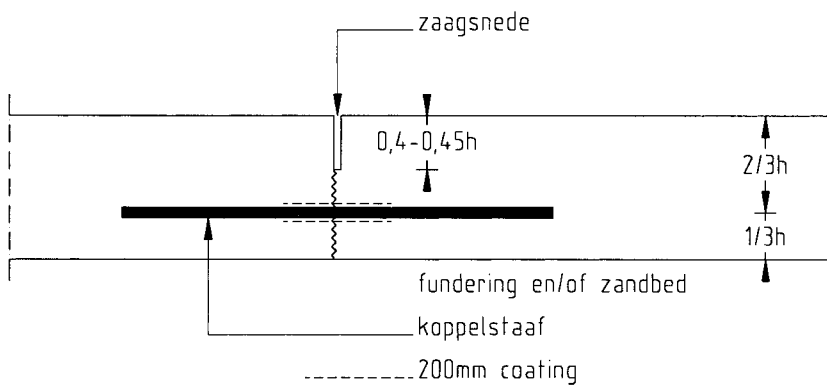
¹⁾ Aslast A (kN) is equivalent verondersteld met een aantal 'equivalente 100 kN-aslasten': $N_{eq} = (A/100)^4$.

koppelstaven. Dat is alleen nodig bij intensief transport en/of sterk wisselende (lucht)temperaturen. Dit speelt vooral bij buitenverhardingen (fig. 34).

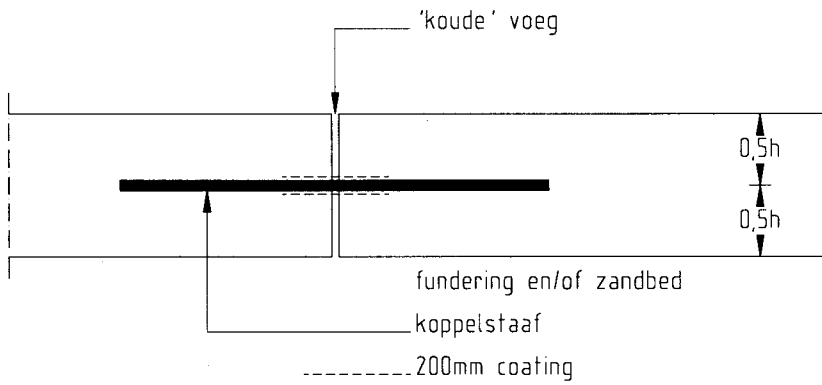
Figuur 34:
Verankering van de buitenste voegen bij een verhardingslengte groter dan 20 à 25 m



Om de voegwijdte te beperken en zo lastoverdracht te verzekeren, voorzien we die (een of twee) buitenste voegen van koppelstaven (fig. 35 en 36, foto 37). Overweeg bij intensief en/of sterk sporend verkeer om voegen te voorzien van gladstalen deuvels, bijvoorbeeld bij de toegang tot het bedrijfsterrein (fig. 38 en 39). Uiteraard is een voldoende stijve fundering dan ook van belang. Bereden randen van ongewapende vloeren of verhardingen moeten een grotere dikte hebben om de optredende spanningen te kunnen opnemen (fig. 40).



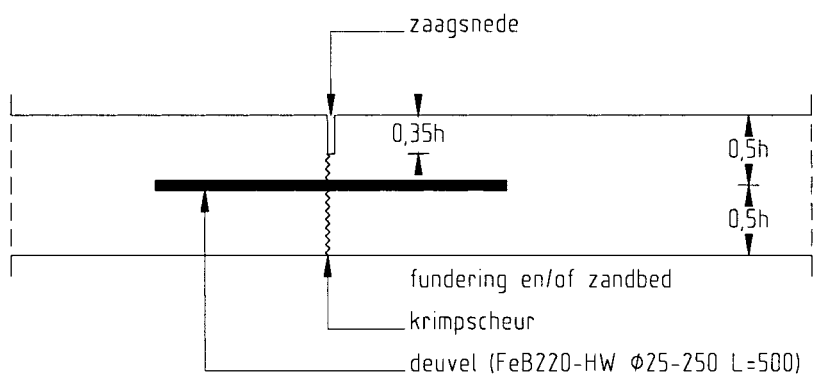
Figuur 35:
Krimpvoeg met ingetrilde
koppelstaaf



Figuur 36:
Constructievoeg zonder
profiel met ingelijmde
koppelstaaf

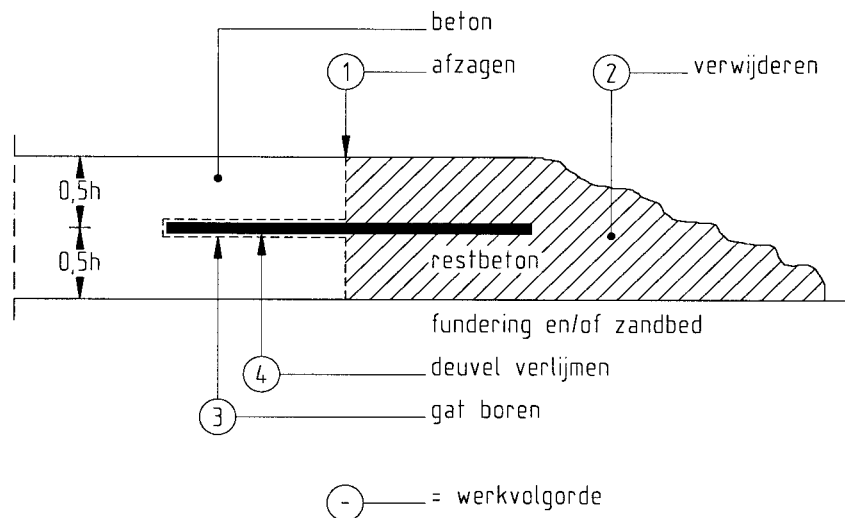


Foto 37:
Constructielangsvoeg met
koppelstaven in bedrijfsverharding;
op de voorgrond een constructie-
dwarsvoeg met deuvels

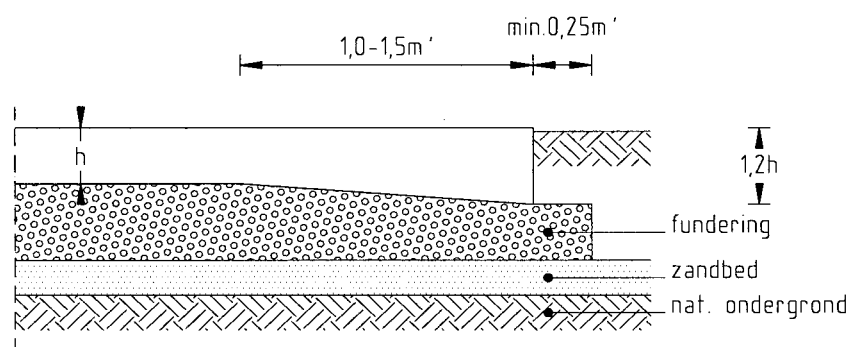


Figuur 38:
Krimpvoeg met deuvels

Figuur 39:
Constructievoeg bij machinale uitvoering



Figuur 40:
Detaillering bereden
vrije plaatrand van een
ongewapende
betonverharding (buiten)



Lastoverdrachtfactor

De mate waarin dwarskrachten in voegen en scheuren in elastisch ondersteunde vloeren worden overgedragen, wordt uitgedrukt met de door Teller & Sutherland ontwikkelde lastoverdrachtfactor W . Deze is als volgt gedefinieerd: $W = [2u_o / (u_o + u_b)] 100\%$ Hierin is u_o de zetting van de onbelaste plaatrand en u_b de zetting van de belaste rand. Bij een puntlast (wiellast) F geldt voor de overgedragen belasting V_o op de aangrenzende onbelaste plaat: $V_o = \frac{1}{2} W (F/100)$. Een W van 80% betekent dat $\frac{1}{2} W = 40\%$ van de (wiel)last, op de aangrenzende onbelaste plaat wordt overgedragen. Deze belastingoverdracht geldt voor de doorbuiging van de plaatranden. Uit onderzoek is gebleken dat voor de berekening van de buigtrekspanning in de plaatrand er geen lineaire relatie is tussen W en F . Voor de spanningsberekening geldt de gereduceerde belasting op de plaatrand: $F_r = F(1,01 - 10^{-2} \cdot e^{xw})$, waarbij $x=0,0393$ De lastoverdrachtfactor W moet bij bereden voegen in computerberekeningen worden opgegeven. In tabel 12 geven we een indicatie van de W -factor bij krimp-, constructie- en uitzetvoegen.

Tabel 12
Indicatie van de
lastoverdrachtfactor bij
krimp-, constructie-
en uitzetvoegen.

Type voeg	Nadere specificatie	W
krimpvoeg	zonder deuvels	30 - 40%
	met deuvels	60 - 80%
constructievoeg	zonder profiel	ca. 20%
	met profiel	30 - 40%
uitzetvoeg	zonder deuvels	0%
	met deuvels	30 - 80% ¹⁾

¹⁾ sterk afhankelijk van de voegwijdte.

Belastingen

Bij het ontwerp van op staal gefundeerde bedrijfsvloeren/verhardingen moeten we letten op twee kenmerkende belastingsoorten:

1. in het vlak van de vloer: normaalkracht (trek), veroorzaakt door (gedeeltelijk) verhinderde opgelegde vervorming als gevolg van temperatuurverschillen over de vloerdikte (afkoeling na hydratatie, zoninstraling of nachtelijke afkoeling) en uitdrogingskrimp. Volgens [20] moeten we een krimpgradiënt altijd in rekening brengen bij bedrijfsvloeren;
2. loodrecht op het vlak van de vloer: buigende momenten veroorzaakt door:
 - (gedeeltelijk) verhinderde opgelegde krommingen als gevolg van vocht- en/of temperatuurgradiënten over de vloerdikte (schotelen, opbollen, figuur 15, zie ook de kadertekst 'Vervormingen door temperatuur en krimp') op pag 20;
 - (uitwendige) belastingen op de vloer. De belastingen bestaan voornamelijk uit permanent aanwezige puntlasten (poten magazijnstellingen), mobiele puntlasten (voertuigen met lucht- of volrubberbanden) en gelijkmatig verdeelde belastingen.

Temperatuur

Bij opgelegde vervorming door temperatuur kunnen we globaal twee situaties onderscheiden:

1. een positieve temperatuurgradiënt ($T_{\text{boven}} - T_{\text{onder}} > 0$), al dan niet in combinatie met een gemiddelde temperatuurverhoging;
2. een negatieve temperatuurgradiënt, al dan niet in combinatie met een gemiddelde afkoeling.

De onder punt 1. beschreven situatie is veelal maatgevend: hierbij is sprake van trekspanningen aan de onderzijde van de plaat in combinatie met trekspanningen veroorzaakt door uitwendige belastingen.

Onder temperatuurgradiënt wordt verstaan: $(T_{\text{boven}} - T_{\text{onder}})/h$

Krimp

Bij krimp omschrijft artikel 6.1.5 van de CUR Aanbeveling 36 twee situaties:

1. de volledige krimpverkorting ϵ'_r conform artikel 6.1.6 van de VBC 1995;
2. een combinatie van een gemiddelde krimp en een gradiënt:
 - bovenzijde plaat: $0,9 \epsilon'_r$
 - onderzijde plaat: $0,6 \epsilon'_r$

Geconcentreerde lasten

Magazijnstellingen kunnen met hun staanders en bij stellinghoogtes tot circa 14 m zeer hoge geconcentreerde puntlasten op de vloer veroorzaken (foto 41). We moeten rekening houden met staanderbelastingen van 100 à 150 kN met een contactoppervlak van circa 10 000 mm² (eq. straal $a = 56$ mm, $\sigma_{\text{con}} = 10 - 15$ N/mm²). Deze belastingen komen echter zelden op de plaatrand voor, zijn niet dynamisch van aard en geven daarom vrijwel nooit aanleiding tot schade. Bij staanders op een onderlinge afstand van minder dan 1 à 1,5 m (circa 1,5 à 2x de stijfheidsstraal)¹⁾ ontstaat onderlinge beïnvloeding, wat verhoging van de buigtrekspanning (onder de staander) tot gevolg zal hebben.

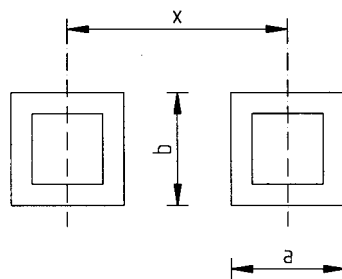
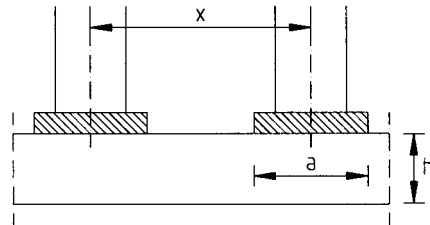
¹⁾ De stijfheidsstraal is een maat voor de grootte van het gebied waarbinnen de belasting wordt afgedragen naar de ondergrond.

Vuistregel: als de hart-op-hart afstand (x) van twee standers gelijk aan of kleiner is dan tweemaal de vloerdikte ($x \leq 2h$), dan mogen we volgens het rapport TR34 [8] een gecombineerd contactoppervlak in rekening brengen zoals aangegeven in figuur 42. Op bedrijfsverhardingen kunnen ook zeer geconcentreerde puntlasten voorkomen (foto 43 en 44).

Foto 41:
Puntlasten veroorzaakt door stellingpoten



Figuur 42:
Gecombineerde equivalente contactoppervlak van dicht bij elkaar staande magazijnstanders conform [8]



als $x < 2h$:
gecombineerd opp. = $(a+x) \cdot b$

Foto's 43 en 44:
Voorbeelden van puntlasten



Mobiele lasten

In tabel 13 hebben we voor bedrijfsverhardingen, waarbij veelal de mobiele belastingen maatgevend zijn, de belastingklassen aangegeven, met daarbij het aantal vrachtwagens per etmaal (van belang voor de vermoeiing van beton!) en het hefvermogen van vorkheftrucks.

De foto's 45 t.m. 48 geven voorbeelden van belastingen op bedrijfsvloeren en -verhardingen.

Tabel 14 geeft informatie voor de dimensionering van verschillende soorten bedrijfswegen.

Belastingklasse	Frequentie	Max. wiellast vrachtwagens
	Aantal/etmaal	F_{\max} (kN)
1. licht	< 20	< 60
2. matig	< 50	60 - 75
3. gemiddeld	100 - 500	75 - 90
4. zwaar	> 1000	90 - 100

Opm. De maximale voor-aslast van vorkheftrucks is circa tweemaal het hefvermogen + aandeel eigen gewicht.



Tabel 13
Indeling mobiele belastingen
in belastingklassen

Foto 45: - 48:
Mobiele puntlasten op
een bedrijfsverharding

Monoliet afgewerkte betonvloer
in een hangar te Schiphol

Ongewapende betonverharding
op een bedrijfsterrein

Ongewapende betonverharding
voor vrachtplatform op
Maastricht Airport

Wegtype	Verhardingsklasse	Max. aslast (kN)	Breedte (m)	Aantal voertuigen (etmaal/richting)
industrieweg	3 ¹⁾	160	6,00 - 6,50	80 - 400
bedrijfsweg	3	160	4,50 - 5,50	80 - 400
	4	140	4,50 - 5,50	10 - 80
toegangsweg	4	140	3,50 - 4,50	10 - 80
	5	120	3,50 - 4,50	< 10
ontsluitings- en kavelweg	5	120	3,00 - 3,50	< 10

Opm. indeling verhardingsklassen conform [29].

¹⁾ dwarsvoegen in verhardingsklasse 3 moeten altijd worden verdeuveld. In de verhardingsklassen 4 en 5 zijn deuvels alleen nodig in geval van speciale eisen m.b.t. vloeistofdichtheid of hele zware voertuigen.

Tabel 14
Richtlijnen voor verschillende
soorten bedrijfswegen [29]

Volgens [20] mogen we voor de berekening van bedrijfsvloeren uitgaan van veiligheidsklasse 1 met $\psi = 0,8$ voor de berekening van de momentane waarde van de gelijkmatig verdeelde veranderlijke belasting. Voor de in rekening te brengen belastingen op bedrijfsvloeren verwijzen we naar hoofdstuk 4 van [20]. Zijn mobiele belastingen (o.a. heftrucks) maatgevend, dan kunnen we voor het dimensioneren van bedrijfsvloeren en bedrijfsverhardingen van ongewapend en marginaal gewapend beton (vloertype I en II) gebruikmaken van het programma VENCIN [36].

Heftrucks

Een veel gebruikt transportmiddel om lasten horizontaal en verticaal te verplaatsen, is de vorkheftruck. Het hefvermogen van de vier- of meerwielige heftrucks loopt uiteen van circa 0,5 tot 50 ton (5-500 kN). Tabel 15 geeft een overzicht van de wiellast bij de verschillende hefvermogens. De foto's 49 t.m. 51 geven voorbeelden van de verschillende soorten heftrucks die veel worden toegepast.

Tabel 15

Wiellasten van heftrucks bij verschillende hefvermogens [22]

Soort belasting	Twee wielen per as				Vier wielen per as			
	5	10	20	30	50	70	90 - 300 à 400	500
hefvermogen (kN)	5	10	20	30	50	70	90 - 300 à 400	500
eigen gewicht (kN)	10	25	40	50	75	90	130 - 400 à 500	600
truck+max.lading (kN)	15	35	60	80	125	160	220 - 700 à 900	1100
max voor-aslast (kN)	13	31	54	72	113	144	198 - 630 à 810	990
max.wiellast (kN)	6	15	27	36	28	36	50 - 158 à 202	248

Foto 49:

Vorkheftruck in bedrijf op een monoliet afgewerkte betonvloer



Foto 50:

Reachtruck in bedrijf



Foto 51:

Het gebruik van vorkheftrucks en stapelcontainers vereist een hoge mate van vlakheid van de bedrijfsverharding



Bedrijfsverharding containerterminal

Bij containerterminals onderscheiden we de volgende belastinggevallen:

- heftruck (4-wiels vooras) plaatst container naast of op reeds aanwezige containers;
- interactie van belasting van naast elkaar geplaatste containers (belasting van 2, 3 of 4 'corner castings');
- interactie van belasting van gestapelde containers met belastingen veroorzaakt door transport langs deze containers.

40 ft-container¹⁾: max. gewicht 30 ton (300 kN) op vier 'corner castings' elk 29.000 mm²)

stapelhoogte	1-hoog	2-hoog	3-hoog	4-hoog	5-hoog
nom. puntlast	75 kN	150 kN	225 kN	300 kN	375 kN
reductie ²⁾	0%	10%	20%	30%	40%
eff. max. puntlast	75 kN	135 kN	180 kN	210 kN	225 kN
max. contactdruk	2,6 MPa	4,7 MPa	6,2 MPa	7,2 MPa	7,8 MPa

- 1) afmetingen 40 ft-container: L=12,19; B=2,44; H=2,44 m;
20 ft-container (toelaatbaar totaalgewicht 20 ton): L=6,06, B=H gelijk aan 40 ft-container.
2) BPF-Manual, The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries. British Port Federation (BPF), London, 1989 [37].

Tabel 16
Belastingen bedrijfsverhardingen
voor container-terminals

Wielast van 'Automated Guided Vehicles' (AGV) op de bedrijfsverharding van ECT te Rotterdam:

- max. wielast: 112,5 kN
- eigen gewicht: 150 kN
- bandenspanning: 8 bar
- aantal voertuigpassages per jaar: 62500 leeg, 62500 vol (totaal 125 000 p/l)

Voor de overslag van containers vervoert de AGV de containers vanaf de havenkade. Vervolgens plaatst een straddlecarrier (SC) de containers op het overslagterrein. Deze sc beweegt zich in de gangpaden tussen de gestapelde containers.

Contactoppervlakken van wielen

Bij de berekening van de minimaal benodigde vloerdikte is behalve de maximale wielbelasting ook de grootte van het contactoppervlak van belang. Omdat het contactoppervlak in werkelijkheid verschillende vormen kan hebben (rechthoekig, elliptisch etc.) is het gebruikelijk om te rekenen met een equivalente straal (a) van een cirkelvormig contactoppervlak. In tabel 17 hebben we voor een aantal veel voorkomende bandtypen de bijbehorende equivalente straal gegeven.

Type band	Equivalente straal contactoppervlak a (mm)
luchtband met spanning p	$a = \sqrt{(1000 F/\pi p)}$
luchtband (normaal)	$a = 10\sqrt{(2,8 F + 51)}$
luchtband (breedband)	$a = 8,5\sqrt{(2,8 F + 51)}$
luchtband (massief)	$a = 4\sqrt{(2,8 F + 51)}$

17:
Equivalente straal van cirkelvormige
contactoppervlakken

Opm.
Wielast F (kN), bandspanning (contactdruk) p (N/mm²).
Equivalente straal: $a = \sqrt{(\Delta/\pi)}$, Δ =contactoppervlak (mm²).
Luchtband met spanning p : $\Delta = 1000F/p$.
Gemiddelde bandspanning van vrachtwagens:
-normaal: $p \approx 0,7$ N/mm²
-breedband: $p \approx 0,9$ N/mm²

De contactdruk en het contactoppervlak van harde stalen of kunststof wielen kunnen we berekenen met één van de formules van Hertz:

$$p_{\max} = [F/4,28 \cdot D^2 \cdot (2 \cdot E_w \cdot E'_b / (E_w + E'_b))^2]^{0,333}$$

waarbij:

p_{\max} = maximale contactdruk [N/mm²]

F = wielast [N]

D = diameter wiel [mm]

E_w = E -modulus wiel

- kunststof: $E = 1000-4500$ N/mm²

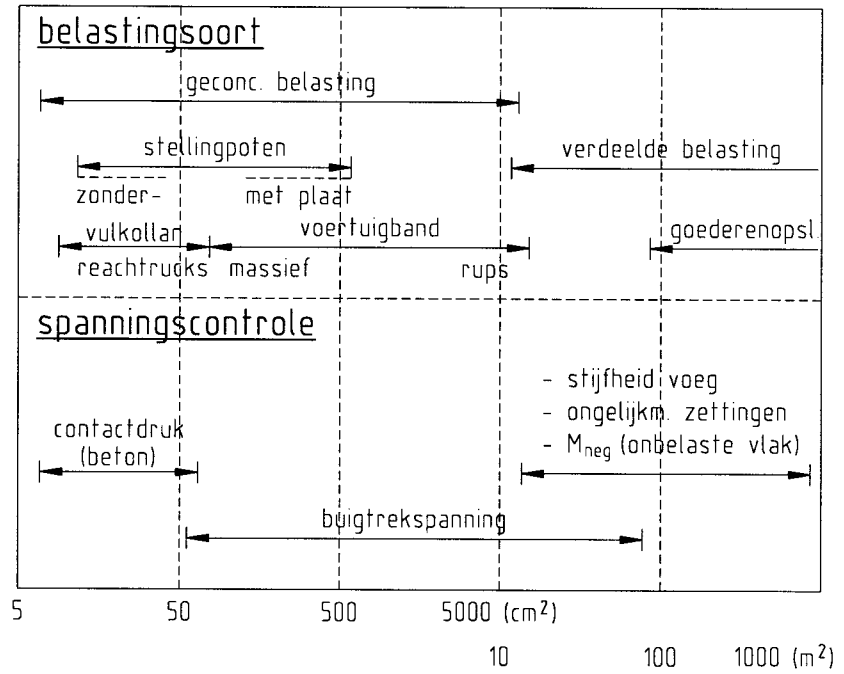
- staal: $E = 2 \cdot 10^5$ N/mm²

E'_b = E -modulus beton of E -modulus van de dekvloer (indien van toepassing)

Met de gemiddelde contactspanning $p = p_{\max}/1,5$ is het contactoppervlak te berekenen (zie de opmerking onder tabel 17).

Figuur 52 geeft een overzicht van de relatie tussen de grootte van contactoppervlakken en de vereiste ontwerpcontroles.

Figuur 52:
Globale relaties tussen
contactoppervlak en vereiste
ontwerpcontroles voor
bedrijfsvloeren (voor één puntlast)



Betoneigenschappen

Sterkteklasse

Vooral met het oog op de duurzaamheid, is de betonsterkteklasse voor bedrijfsvloeren ten minste B 25 en voor bedrijfsverhardingen ten minste B 35. Het getal in deze aanduiding komt overeen met de vereiste karakteristieke kubusdruksterkte in N/mm² (1 N/mm² = 1MPa) na 28 dagen verharden onder vastgestelde, geconditioneerde omstandigheden [1].

De sterkteklasse geeft de betonsterkte aan waarvan is uitgegaan bij het dimensioneren van de betonverharding. Het is dus van groot belang dat we met het mengsel deze sterkte in het werk bereiken.

De betonsterkte wordt gecontroleerd met kubussen.

Milieuklasse

De VBT 1995 onderscheidt vijf milieuklassen waaraan het beton in de gebruikperiode kan worden blootgesteld:

- 1: droog milieu;
- 2: vochtig milieu;
- 3: vochtig milieu in combinatie met dooizouten;
- 4: zeewatermilieu;
- 5: agressief milieu.

Afhankelijk van de milieuklasse worden aan het betonmengsel eisen gesteld met betrekking tot:

- de maximale watercementfactor;
- het minimum cementgehalte;
- de cementsoort, in specifieke gevallen;
- indien noodzakelijk het gewenste minimum luchtgehalte.

Een overzicht van de eisen die aan de betonsamenstelling worden gesteld in verband met duurzaamheid, is gegeven in tabel 7 van de VBT 1995.

Voor betonverhardingen moeten we uitgaan van de volgende milieuklassen:

- Voor verhardingen waarop 's winters geen zouten worden gestrooid, bijvoorbeeld kavelwegen, moeten we de mengselsamenstelling afstemmen op milieuklasse 2. Er is dan geen voorkeur voor een cementsoort.
- Voor verhardingen waarop 's winters wél zouten worden gestrooid - dit zijn bijna alle wegen - moet het betonmengsel voldoen aan de eisen van milieuklasse 3. Hoewel niet voorgeschreven, verdient de toepassing van portlandvliegascement (CEM II/B-V) of portlandcement (CEM I) de voorkeur.
- Voor vloeistofdichte verhardingen en sommige verhardingen in de agrarische sector moeten we uitgaan van milieuklasse 5b of 5d (agressief milieu). In het algemeen kunnen we daarbij volstaan met beton op basis van cement CEM I en CEM II. Alleen in specifieke gevallen dienen we cement met een hoge sulfaatbestandheid te verwerken. Deze situatie doet zich onder meer voor bij verhardingen voor kuilvoeropslag in de agrarische sector.

Buigtreksterkte van ongewapend beton

De dimensionering van elastisch ondersteunde vloeren en verhardingen van ongewapend beton en staalvezelbeton is gebaseerd op het toetsen van de maximaal optredende buigtreksterkte aan de rekenwaarde van de buigtreksterkte: $\sigma_{\max} \leq f_{\text{brd}}$

In de inleiding van de VBC 1995 (blz.12, punt 1.2e) is aangegeven dat in de VBC 1995 geen rekenregels (o.a. buigtreksterkte) zijn opgenomen voor elastisch ondersteunde platen.

Bij de VNC-dimensioneringsmethode 1992 wordt uitgegaan van de gemiddelde (28-daagse) korteduur-buigtreksterkte (exclusief reductie door vermoeiing) voor een betonplaat met dikke h in m :

$$f_{\text{brd}} = 1,4 (1,05 + 0,05 f'_{\text{ck}}) (1,6 - h)$$

Deze sterkte is voor de dimensionering van wegen/verhardingen van ongewapend beton acceptabel, omdat:

- plaatselijk geconcentreerde lasten, al dan niet in combinatie met temperatuur, vrijwel altijd maatgevend zijn;
- in de VBC 1995 sprake is van een éénassige treksterkte, terwijl bij geconcentreerde lasten op platen sprake is van een tweedimensionaal draagmechanisme, ook na radiale scheurvorming;
- herverdeling mogelijk is als gevolg van de meervoudige draagweg;
- de scheurwijdte zeer beperkt is dankzij de alzijdige opsluiting, met als gevolg een grote reststerkte door 'interlock';
- er vanwege de elastische ondersteuning geen sprake is van 'bezwijken' in de zin van de VBC (concentratie van de reactiekracht);
- er een reductie in rekening wordt gebracht als gevolg van vermoeiing (al ca. 30% bij 10^4 lastherhalingen).

Bovenstaande formule wordt niet alleen toegepast in de VNC-dimensioneringsmethode 1992, maar is ook in CROW-verband getoetst en goedbevonden [38].

Voor statische belastingen (permanent/langdurig aanwezig) geldt de gemiddelde langeduurbuigtreksterkte:

$$f_{\text{brd}\infty} = (1,05 + 0,05 f'_{\text{ck}}) (1,6 - h)$$

In tabel 18 hebben we een overzicht gegeven van de korte- en langeduurbuigtreksterkte van een vloer of verharding van beton met sterkteklassen B 25 t.m. B 45.

Tabel 18
Materiaalgegevens beton

Eigenschap	Sterkteklasse beton			
	B 25	B 35	B 45	
elasticiteitsmodulus	korte duur (N/mm ²)	28 500	31 000	33 500
	lange duur ¹⁾ (N/mm ²)	10 300	12 600	14 400
karakteristieke kubusdruksterkte f'_{ck} (N/mm ²)	25	35	45	
rekenwaarde druksterkte f_b (N/mm ²)	15	21	27	
gemiddelde buigtreksterkte f_{brd^2} (N/mm ²)	3,22 (1,6- h)	3,92 (1,6- h)	4,62 (1,6- h)	
gemiddelde buigtreksterkte $f_{\text{brd}\infty^3}$ (N/mm ²)	2,30 (1,6- h)	2,80 (1,6 h)	3,30 (1,6- h)	

Opm.:

1) $E'_{\text{b}\infty} = E'_b / (1 + 0,75\phi)$, met $\phi=2,35$ (B 25), $\phi=1,95$ (B 35) en $\phi=1,75$ (B 45)

2) volgens de VNC-dimensioneringsmethode 1992 (korte duur): $f_{\text{brd}} = 1,4(1,05+0,05 f'_{\text{ck}})(1,6-h)$

3) gemiddelde buigtreksterkte (lange duur): $f_{\text{brd}\infty} = (1,05+0,05 f'_{\text{ck}})(1,6-h)$

Buigtreksterkte van staalvezelbeton

Door toevoeging van staalvezels aan het beton, krijgt het beton een nascheursterkte. Deze eigenschap kunnen we in rekening brengen door de buigtreksterkte van ongewapend beton te vermenigvuldigen met een factor: $1,0 + (R_{1,5} - 0,3)/0,7$ waarbij $R_{1,5} \geq 0,3$.

De factor $R_{1,5}$ is een buigtaaiheidswaarde die afhankelijk is van de hoeveelheid staalvezels (kg/m^3) en het type vezel (vorm en l/d waarde), zoals blijkt uit tabel 19. Bij bijvoorbeeld $R_{1,5} = 0,65$ neemt de buigtreksterkte met een factor 1,5 toe.

Dan kunnen we voor de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte van staalvezelbeton schrijven:

$$f_{\text{bsd}} = 1,4(1,05 + 0,05f_{\text{ck}}^2)(1,6 - b)[1,0 + (R_{1,5} - 0,3)/0,7]$$

Evenals voor ongewapend beton kunnen we voor de verhouding tussen korte- en langeduursterkte van staalvezelbeton de waarde 1,4 aanhouden, dat wil zeggen: $f_{\text{bsd}\infty} = f_{\text{bsd}} / 1,4$

Vezeltype	Dosering (kg/m^3)				
	20	25	30	35	40
RL-45/50-BN	0,38	0,46	0,53	0,60	0,66
RC-65/60-BN	0,50	0,58	0,66	0,73	0,80
RC-80/60-BN	0,56	0,65	0,74	0,80	0,86

Tabel 19
Buigtaaiheidswaarden $R_{1,5}$
van Dramix®-vezels
volgens CUR-Aanbeveling 35

Opm.

de $R_{1,5}$ -waarden blijken volgens de proeven van N.V.Bekaert binnen de grenzen B 25-B 45 onafhankelijk te zijn van de sterkteklasse van het beton.

45/50 betekent: l/d -vezel = 45, l (vezellengte) = 50 mm.

Vermoeiing van beton

Het effect van de materiaalvermoeiing kunnen we in drie stappen kwantificeren:

1. Bij een constante temperatuurgradiënt worden de extreme buigtrekspanningen in het beton verdeeld per aslastgroep:

- $\sigma_{\text{min}} = \sigma_{\text{temp}}$ (temperatuurgradiënt j)
- $\sigma_{\text{max}} = \sigma_{\text{temp}} + \sigma_{\text{verkeer}}$ (aslastgroep i)

We houden geen rekening met spanningen door krimpgradiënten; hieromtrent geeft de CUR Aanbeveling 36 nadere informatie.

2. De kortstondige, herhaalde spanningswisselingen worden geschematiseerd tot een sinusoïdaal in de tijd verlopend 'signaal'. Het maximum aantal aslastherhalingen N_{failure} in relatie tot de grootte van de belastingswisseling ($\sigma_{\text{max}} - \sigma_{\text{min}}$) volgt uit de UEC-vermoeiingsrelatie [39]:

$$\log N_f(i,j) = 12,903(0,995 - \sigma_{\text{max}}/f_{\text{brd}})/(1,0 - 0,7525 \sigma_{\text{min}}/f_{\text{brd}})$$

waarbij $N_f(i,j)$ het aantal voorziene aslastherhalingen tot breuk is in aslastgroep i bij temperatuurgradiënt j .

Bovenstaande σ - N_f relatie is als volgt horizontaal 'afgesneden':

- voor een klein aantal wisselingen ($N_f < 10^2$): $\sigma_{\text{max}}/f_{\text{brd}} \leq 0,833$ (korteduurbelasting);
- voor een groot aantal wisselingen ($N_f > 10^6$ - 10^7): $\sigma_{\text{max}}/f_{\text{brd}} \geq 0,5$.

N_f wordt beschouwd als een gemiddelde (50%-) waarde voor het aantal wisselingen tot breuk. In de σ - N_f relatie is het effect van spreiding in N_f (door variatie in uitvoering van de beproevingsmethoden en materiaaleigenschappen van het beton) verdisconteerd. Voor de 5%-ondergrens en 5%-bovengrens wordt een breedte aangehouden van $\log N_f \pm 1,25$ of in spanningstermen $\sigma_{\text{max}}/f \pm 0,08$.

3. Volgens de beschadigingshypothese van Palmgren-Miner moet tijdens de ontwerplevensduur van de betonvloer of verharding gelden:

$$M = \sum_{i=1}^p \left\{ \sum_{j=1}^q [n(i,j) / N_f(i,j)] \right\} < 1,0$$

waarin:

p = aantal aslastgroepen;

q = aantal temperatuurgradiënt-groepen;

$n(i,j)$ = het aantal lastwisselingen van een bepaalde aslastklasse i gedurende de ontwerplevensduur, waarbij in de betonvloer/verharding een bepaalde temperatuurgradiënt j aanwezig is;

$N(i,j)$ = het toelaatbare aantal lastwisselingen van dezelfde aslastklasse i gedurende de ontwerplevensduur, waarbij in de betonvloer/verharding dezelfde temperatuurgradiënt j aanwezig is.

Hierbij wordt ervan uitgegaan dat een aslastgroep met n_i wisselingen een beschadiging veroorzaakt ter grootte van (n_i / N_{fi}) .

Dimensioneren van vloeren en verhardingen

Software voor bedrijfsvloeren en -verhardingen

Om de minimaal vereiste constructiedikte snel en correct te kunnen berekenen, zijn onder meer de volgende rekenprogramma's beschikbaar:

- a. VENCIN: VNC-methode voor de dimensionering van Industriële betonvloeren en -verhardingen (foto 53) [36]. De belangrijkste uitgangspunten van VENCIN zijn:
- alleen geschikt voor ongewapende bedrijfsvloeren/verhardingen met voegen en plaatafmetingen van maximaal 5,0 x 5,5 m²;
 - mobiele belastingen in combinatie met positieve temperatuurgradiënten zijn maatgevend voor de vloerdikte;
 - berekening van de (resterende) buigtreksterkte van het beton met een vermoeiingsberekening. De berekening start met de gemiddelde korteduur-buigtreksterkte conform de VNC-dimensioneringsmethode 1992: $f_{brd} = 1,4 (1,05 + 0,05f'_{ck})(1,6 - h)$;
 - geen aparte zettingscontrole mogelijk (ongewapend betonverhardingen kunnen 'scharnieren' in de voegen).
 - in het programma is de volgende relatie gebruikt voor k-waarde en E-modulus van de ondergrond:
 $\log k_0 = 0,73688 \log E_{dyn} - 2,82055$.
 - de wegstijfheid wordt niet gecontroleerd, dit speelt bij sterk sporend verkeer

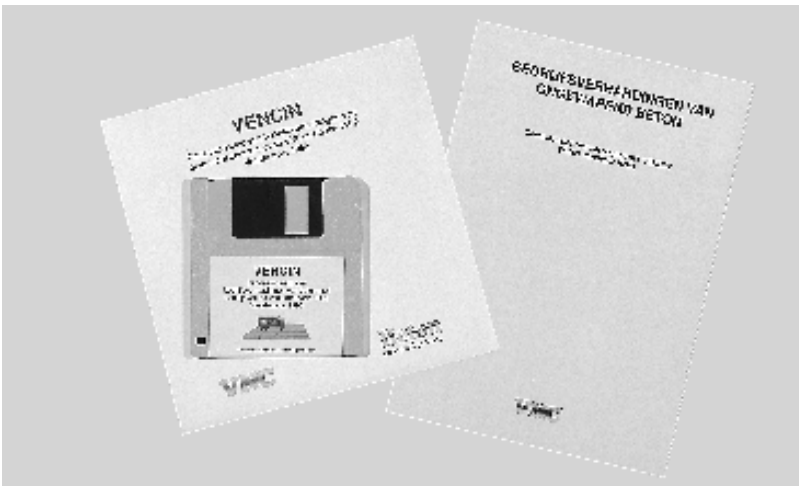


Foto 53:
Software VENCIN voor de dimensionering van elastisch ondersteunde, ongewapende bedrijfsvloeren en -verhardingen met voegen

- b. FLOOR: Software voor elastisch ondersteunde betonvloeren en betonverhardingen [40]. De belangrijkste uitgangspunten van FLOOR zijn:
- gebaseerd op (de aangepaste versie van) CUR-Aanbeveling 36;
 - geschikt voor de berekening van alle vloertypes: ongewapend beton, staalvezelbeton en gewapend beton (fig. 21), met of zonder voegen;
 - voegloze vloeren/verhardingen kunnen worden berekend met voorspanning;
 - het samengestelde beddinggetal k van de Winkler-fundering wordt berekend door opgave van laagdikte en elasticiteitsmodulus van het zandbed en de daarop eventueel aanwezige fundering;
 - berekening krachtsverdeling op basis van de theorie van Westergaard in het plaatmidden, plaatrand en plaathoek;

- voor wiellasten wordt bij opgave van de soort band (lucht, breedband, massief of hard) het bijbehorende contactoppervlak berekend;
- geconcentreerde lasten kunnen op een willekeurige plaats op de plaat worden gezet, waarbij de respons wordt berekend in het plaatmidden en de plaatrand;
- het programma berekent ook spanningen tengevolge van krimp en temperatuurveranderingen (afkoeling en positieve gradiënt);
- zettingscontrole is mogelijk.

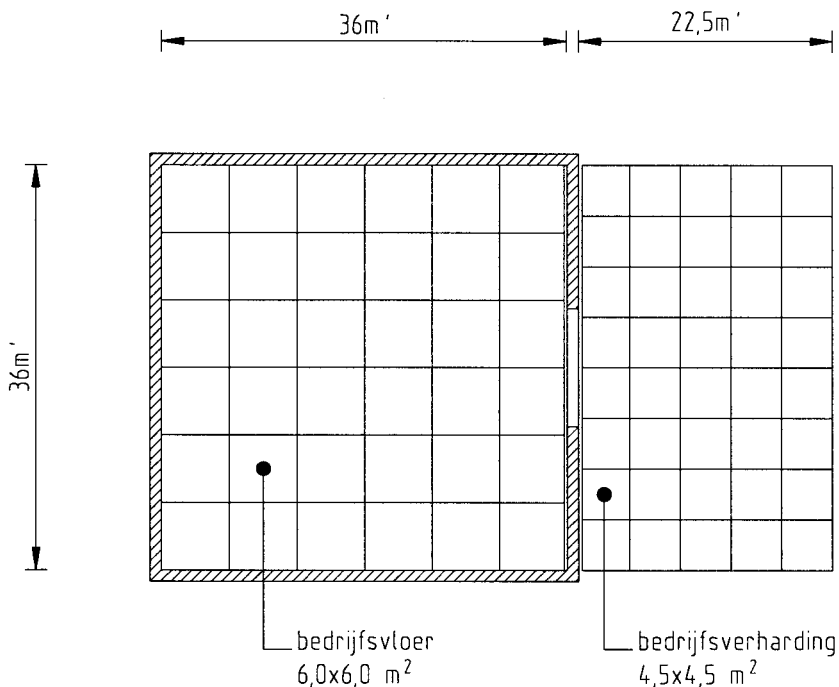
Bij sterk sporend verkeer moeten we ook de voegstijfheid controleren.

- c. UECSLAB: Software voor de dimensionering en evaluatie van elastisch ondersteunde ongewapende betonverhardingen [41]. De belangrijkste uitgangspunten voor UECSLAB zijn:
- gebaseerd op de door CROW-werkgroep 'Uniforme Evaluatiemethoden Cementbetonverhardingen' (UEC) uitgewerkte (her)dimensioneringsmethode [39];
 - berust op Van Cauwelaerts plaat-funderingsmodel, waarbij de fundering naar believen als Winkler (met beddinggetal k) of Pasternak met schuiflaag onder de plaat (met glijdingsmodulus G) kan worden gemodelleerd. Voor $G=0$ verkrijgt men een Winkler-fundering zoals door bijv. Westergaard wordt gebruikt;
 - plaatmodel met enkelvoudige plaatrand, waarbij de belasting(en) op door de gebruiker te kiezen posities kan worden aangebracht;
 - de respons (horizontale en verticale spanningen en verplaatsingen) kunnen op alle plaatsen worden opgevraagd;
 - primair ontwikkeld voor ongewapende, cementbetonnen vliegveldverhardingen, maar ook goed toepasbaar voor zelf te definiëren belastingen op bedrijfsverhardingen;
 - geschikt voor het terugrekenen van plaatparameters uit niet-destructieve valgewichtdeflectiemetingen (draagkrachtbepaling);
 - geschikt voor de berekening van spanningen en verplaatsingen van door de gebruiker te definiëren rechthoekige belastingen;
 - het temperatuurspectrum en -gradiënt kan door de gebruiker zelf worden samengesteld;
 - vermoeiingsrelatie (w.o de UEC-relatie [39]) kan door de gebruiker zelf worden gedefinieerd.
- d. KOLA: Programma dat op basis van de eindige-elementenmethode (EEM) nauwkeurig krachten in elastisch ondersteunde platen kan berekenen [42]:
- plaelementen met variabele dikte mogelijk;
 - variabele stijfheid van de ondergrond, met keuze tussen Winkler- en Pasternak-model;
 - contactelementen aanwezig waarmee de simulatie van een loslatende bedding mogelijk is;
 - opgave van zettingen en voorgeschreven verplaatsingen is mogelijk;
 - groot aantal soorten belastingen mogelijk: puntlasten, niet constante lijnlasten, niet constante gelijkmatig verdeelde belastingen, temperatuurbelastingen (temperatuurvariatie en gradiënt);
 - voor de berekening van de krachtsverdeling keuze uit de platen theorie van Kirchhoff en van Reissner;
 - bij gewapende platen ook berekening van de benodigde hoeveelheid wapening;
 - gebruikersvriendelijke menu- en/of commandogestuurde invoer;
 - uitvoer in de vorm van spanningstrajectoriën, iso-lijnen, grafieken en in getalvorm;

De op KOLA gebaseerde variant 'Concrete Pavement' (KOLA-CP) berekent van de krachtsverdeling en vervormingen van rechthoekige betonplaten die met deuvels in de voegen zijn gekoppeld.

Voorbeeldberekening met programma VENCIN

Het voorbeeld betreft een bedrijfshal waarin stukgoed met een maximaal gewicht van circa 2 ton per eenheid wordt opgeslagen. De afmetingen van de ongewapende vloer en verharding alsmede de platafmetingen zijn weergegeven in figuur 54.



Figuur 54:
Bovenaanzicht bedrijfsvloer en verharding met voegpatronen volgens het rekenvoorbeeld met programma VENCIN

Geotechnische randvoorwaarden

Voor het project is grondonderzoek verricht bestaande uit sonderingen met kleefmantel en plaatbelastingmetingen ($\varnothing = 300$ mm). Uit het onderzoek blijkt dat de bouwkavel een circa 2 m dik kleipakket heeft met een matige draagkracht (q_c - gemiddeld 2,1 MN/m²). Uit de plaatbelastingmetingen volgt een draagkrachtindex van 8,9% ($\varnothing = 300$ mm). Hieruit volgt een CBR-waarde van $0,45^{1)} \times 8,9 = 4\%$. Op basis hiervan is het grondmechanisch advies om voor de ondergrond uit te gaan van beddinggetal $k_0 = 0,03$ N/mm³.

Algemene randvoorwaarden gebruik

De vloer en verharding worden gedurende 250 dagen per jaar gebruikt, met een ontwerplevensduur van 25 jaar.

Nadere randvoorwaarden bedrijfsvloer (binnen)

- mobiele belasting bestaande uit twee-assige heftrucks, op massief rubberbanden, met een nuttig hefvermogen van maximaal 2,5 ton: maximum vooraslast is 60 kN (zie tabel 15);

¹⁾ De CBR-waarde is gebaseerd op een plaat $\varnothing 760$ mm.
Er geldt: $k_{760} = 0,45 \cdot k_{300}$ (zie ook [22]).

- gemiddeld circa twintig voertuigen per etmaal, waarvan 20% sporend rijdt over de maatgevende dwars- en langsvoegen;
- maximaal 10% van de voertuigbewegingen rijdt op de vrije rand;
- maximale temperatuurgradiënt is $0,02^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ over de vloerdikte;
- zie voor de overige gegevens en uitgangspunten tabel 20.

Nadere randvoorwaarden bedrijfsverharding (buiten)

- mobiele belasting bestaande uit vrachtverkeer met gemiddeld drie assen en een maximale aslast van 140 kN;
- gemiddeld circa 25 voertuigen per etmaal, waarvan 20% sporend rijdt over de maatgevende dwars- en langsvoegen;
- maximaal 10% van de voertuigbewegingen rijdt op de vrije rand;
- maximale temperatuurgradiënt is $0,05^{\circ}\text{C}/\text{mm}$ over de vloerdikte;
- zie voor de overige gegevens en uitgangspunten tabel 20.

Tabel 20
Overzicht invoergegevens en
rekenresultaten volgens VENCIN

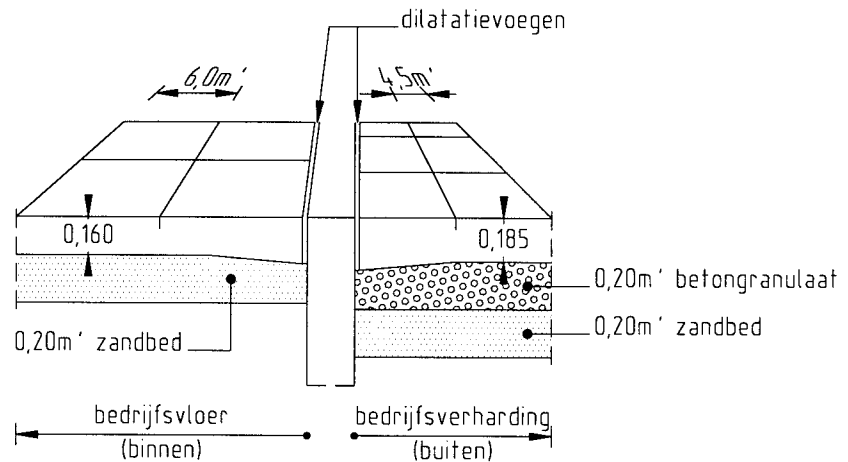
Omschrijving	Bedrijfsvloer	Bedrijfsverharding
<u>Verkeer en temperatuur</u>		
banden mobiele belasting:		
- lucht	nee	ja
- massief	ja	nee
bovengrens hoogste aslastklasse	60 kN	140 kN
aslastenspectrum		
0 - 20 kN	10%	20%
20- 40 kN	40%	20%
40- 60 kN	50%	20%
60- 80 kN	---	20%
80- 100 kN	---	11%
100-120 kN	---	8%
120-140 kN	---	1%
aantal voertuigbewegingen/etmaal	20	25
gemiddeld aantal assen	2,0	3,0
aantal gebruiksdagen per jaar	250	250
ontwerplevensduur	25	25
groeipercentage	0,0	0,0
temperatuurgradiënt		
0,00 K/mm	60%	71%
0,01 K/mm	30%	17%
0,02 K/mm	10%	6%
0,03 K/mm	---	3%
0,04 K/mm	---	2%
0,05 K/mm	---	1%
<i>Totaal aantal aslastherhalingen:</i>		
- per etmaal	40	75
- tijdens ontwerplevensduur	$2,5 \cdot 10^5$	$4,69 \cdot 10^5$
<u>Ondergrond en fundering</u>		
ondergrond:		
- E_{dyn} -modulus	70 N/mm ²	70 N/mm ²
zandbed:		
- dikte	0,20 m	0,20 m
- E_{dyn} -modulus	100 N/mm ²	100 N/mm ²
fundering:		
- dikte	---	0,20 m
- E_{dyn} -modulus	100 N/mm ²	650 N/mm ²
<i>Samengesteld beddinggetal</i>		
	$0,045 \text{ N/mm}^3$	$0,076 \text{ N/mm}^3$
<u>Betonverharding</u>		
sterkteklasse beton	B 25	B 35
plaatbreedte	5,00 m	4,50 m
plaatlengte	5,50 m	4,50 m
dwarskrimpvoeg gedeuveld	nee	ja
type langsvog	krimp	deuvels
vrije rand berekenen	ja	ja
perc. verkeer op dwarsvoeg	20%	25%
perc. verkeer op langsvog	20%	25%
perc. verkeer op vrije rand	10%	10%
<i>Berekende ontwerpdikte:</i>		
- t.p.v. dwars-/langsvog	146	170
- t.p.v. zijrand	194	213
<u>Conclusie:</u>		
min. benodigde ontwerpdikte	146	170
toeslag uitvoeringstoleranties	15 mm	15 mm
besteksdikte (afgerond op 5 mm)	160 mm	185 mm

Opm.

minimum zaagdiepte krimpvoegen: bedrijfsvloer: $0,35 \cdot 160 = 60$ mm, bedrijfsverharding: $0,35 \cdot 190 = 70$ mm;
bereden plaatranden over 1,5 m verzwaren naar: 200 mm (bedrijfsvloer) resp. 220 mm (bedrijfsverharding).

Figuur 55 geeft een overzicht van de opbouw van de vloer- en verhardingsconstructie.

Figuur 55:
Opbouw en plaatafmetingen
bedrijfsvloer en -verharding volgens
het rekenvoorbeeld met VENCIN



Ontwerp- en besteksdikte

De onvlakheden van het zandpakket en de betongranulaatfundering (elk bijvoorbeeld maximaal 15 mm gemeten met een 2 m rei) bepalen de besteksdikten (tabel 21). Uiteraard moeten we ook rekening houden met onvlakheden in de toplaag, afhankelijk van de aanlegmethode! Als we deze onvlakheden (afwijkingen) weergeven met e_1 en e_2 , bedraagt de totale uitvoeringstolerantie ongeveer $\sqrt{e_1^2 + e_2^2}$. Dus bij een onvlakheid van 15 mm voor de fundering en 10 mm voor de toplaag, is de totale afwijking circa 18 mm. De besteksdikte wordt dan de ontwerpdikte (= rekenresultaat uit VENCIN) vermeerderd met 18 mm.

De ontwerpdikten dienen afhankelijk van de onderlaag te worden vermeerderd met 10 tot 25 mm, conform de toleranties die zijn aangegeven in artikel 31.32.01, lid 07 van de Standaard RAW-Bepalingen 1995 [21].

Tabel 21
Uitvoeringstoleranties [21]
 $e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}$

Omschrijving	Tolerantie
Ondergrond:	e_1
- natuurlijke ondergrond	≤ 25 mm
- zandbed, zandcement, steenmengsels	12 - 15 mm
- cement- of bitumineusgebonden lagen of bestaande vloerconstructies	≤ 10 mm
Vloeroppervlak	e_2
afhankelijk van wijze van afwerking	≤ 10 mm

Uitvoeringsaspecten

Vorbereiding van de uitvoering

Indien de (hoofd)aannemer van het project de bedrijfsvloer laat uitvoeren door een gespecialiseerd vloerenbedrijf, moet hij zorgdragen voor:

- een overkapping boven de vloer om het personeel én de vloer tegen ongunstige weersinvloeden te beschermen. Ook mag er geen tocht optreden;
- voorzieningen op de bouwplaats die continue aanvoer van betonspecie garanderen;
- verwerking van de betonspecie bij niet te extreme omgevingstemperaturen (te koud, te warm) om zo de opgelegde vervormingen (en spanningen) in de betonvloer te beperken;
- voldoende grote openingen (zonder tocht te veroorzaken) in de zijwanden voor de aanvoer van bouwmaterialen, materieel (als hierin door de (hoofd)-aannemer niet is voorzien, dan is het personeel van het vloerenbedrijf gedwongen om met klein materieel én veel zwaar handwerk de vloer te maken);
- een voldoende aantal en op de juiste plaats gesitueerde openingen in de zijwanden om het aanbrengen van beton en een optimale afstrooilaag of nabehandeling mogelijk te maken.

Bestellen van betonspecie

We adviseren betonspecie te bestellen bij een betoncentrale die is erkend door de Stichting BMC. De certificatie-instelling Stichting BMC te Gouda geeft KOMO/Betonvereniging-productcertificaten uit voor betonspecie. Beton geleverd onder dit productcertificaat voor betonspecie voldoet onder meer aan de eisen uit de VBT 1995 [1] en aan NEN 3502 'Levering van betonmortel' [43]. Bij gebruik van gecertificeerde betonspecie hoeven we deze op de bouwplaats niet meer te controleren.

Bij het bestellen moeten we opgeven:

- de benodigde hoeveelheid betonspecie (m^3);
- waarvoor we het beton willen gebruiken (vloer/verharding);
- aan welke kwaliteitseisen moet worden voldaan (sterkteklasse, milieuklasse en eventueel cementsoort);
- het soort betontransport op het werk (pomp, betondumper, lopende band);
- wat de verwerkbaarheid moet zijn (consistentiegebied);
- de bouwlocatie, stortdatum, aanvangstijd storten en stortsnelheid.

Voor monoliet afgewerkte bedrijfsvloeren moeten we beton toepassen met een sterkteklasse van ten minste B 25 en een bindmiddelgehalte van ten minste 320 kg/m^3 (art. 5.1 van [4]). In principe zijn alle in de VBT 1995 [1] genoemde cementsoorten geschikt. Veelal passen we bij verhardingen portlandvliegascement CEM II/B-V 32,5 R toe. Bij een agressief milieu en/of gewenste beperking van de hydratatiewarmte bij vloeren (binnen) kunnen we bijvoorbeeld kiezen voor hoogovencement CEM III/B 42,5 LH HS.

Het gekozen consistentiegebied hangt af van de uitvoeringswijze (handwerk of machinaal) en de wijze van vloerafwerking (trilrei, wel/niet vlinderen). Bij vloeren met afschot mag de consistentie niet hoger zijn dan gebied 3.

Consistentiegebieden 3 en 4 mogen we uitsluitend bereiken door het toevoegen van een plastificerende hulpstof, dus niet door extra water toe te voegen!

Betontechnologie

De consistentie van betonspecie voor monoliet afgewerkte vloeren hangt nauw samen met de uitvoeringswijze. Deze consistentie is onder meer afhankelijk van:

- vloerdikte. Bij dunnere vloeren wordt vaak een wat hogere zetmaat aangehouden om 'opentrekken' tegen te gaan;
- samenstelling van de betonspecie. Bij toevoeging van staal- of kunststofvezels moet de zetmaat met circa 20 mm worden verhoogd;
- soort transport van de betonspecie. Bij gebruik van de betonpomp moeten we de zetmaat met circa 20 mm verhogen (t.o.v. transport met kubel of betondumper);
- soort afwerkapparatuur. Bij machinale afwerking (laserscreed of multi-arm) is een blanco-zetmaat van 80-100 mm (consistentiegebied 2 of 3) geschikt¹⁾. Voor verwerking wordt de zetmaat verhoogd tot 110-120 mm (consistentiegebied 3) door toevoeging van een superplastificeerder.

De keuze van het bindmiddel is onder meer afhankelijk van het jaargetijde. Onder zomerse omstandigheden, als een (te) snelle binding wordt verwacht, kan worden overgegaan op hoogovencement (CEM III). Bij temperaturen lager dan ongeveer 10°C of bij kans op vorst aan het oppervlak gedurende de eerste weken na aanleg, wordt het cement veelal 'versneden' (= mengen van cementsoorten) door het bijmengen van snelbindend portlandcement (CEM I 52,5R).

Voor praktische betontechnologische kennis wordt verwezen naar [45].

Betonstorten en verwerken

Bij ongewapende vloeren en vloeren met staalvezels (typen I en II) is het mogelijk om de betonspecie met betondumpers (inhoud 2,5 of 4,5 m³) in het werk te brengen (foto's 56 en 57). De capaciteit van deze betondumpers is circa 20 tot 60 respectievelijk 50 tot 55 m³/uur. Bij vloeren waarbij we bovenwapening of voorspanning toepassen, kunnen we alleen gebruik maken van een betonpomp, kraan of lopende band.

De betonspecie in consistentiegebied 3 of 4 wordt gespreid en met een boventriller licht verdicht. Voor het verdichten en vlak afwerken van grote vloeroppervlakken wordt in toenemende mate gebruik gemaakt van afreimachines waarmee we de betonspecie zeer snel en nauwkeurig kunnen uitvlakken en verdichten (foto's 58 en 59).

Als we een betonpomp toepassen (foto 60) zullen we de betonspecie meestal verdichten en vlak afwerken met een trilrei. Grote bedrijfsverhardingen worden veelal machinaal aangebracht met een slipformpaver.

De gemiddelde luchttemperatuur bij aanleg moet liefst liggen tussen 10 en 25°C. Een temperatuur van 15 à 20 °C met een hoge relatieve vochtigheid en lage windsnelheid is ideaal.

1) Bij uitgestrekte betonverhardingen (buiten) wordt meestal gekozen voor een machinale verwerking met een slipformpaver. Er wordt dan gewerkt met betonspecie in consistentiegebied 1 (aardvochtige betonspecie). Deze specie is dan ook geschikt voor transport in vrachtauto's, zgn. kippers met een platte laadbak. Een ander alternatief is walsbeton (goedkoper maar minder vlak) [44].



Foto 56 - 57:
Betondumper met inhoud van
2,5 m³, capaciteit 20-60 m³/uur

Betondumper met inhoud van
4,5 m³, capaciteit 50-55 m³/uur
(Foto's: Priboma BV, Bergeijk)



Foto's 58 en 59:
Afrei-machines voor machinaal
uitvlakken, verdichten en
instrooien van betonspecie
'Multi-arm' voor vloeren van
300 tot 2000 m²

'Laserscreed' voor vloeren
van 1500 tot 4000 m²
(Foto's: Priboma BV, Bergeijk)



Foto 60:
Aanleg betonvloer
distributiecentrum PTT
te Nieuwegein
(Foto: ABT, Velp)

Afwerking vloeroppervlak

Met het afwerken mogen we pas beginnen als eventueel bleedingwater is verdwenen. Bij het voorschuren met een mechanische schuurmachine wordt de toplaag gehomogeniseerd en verkrijgen we een goede oppervlaktekwaliteit. Belangrijk hierbij is het soort schuurbladen, bestaande uit schijven of spanen van staal en het aantal arbeidsgangen.

Bij strooksgewijze aanleg met een slipformpaver (veelal buiten) werken we het oppervlak eventueel machinaal af met een zogenoemde 'supersmoother'. Om het oppervlak van monoliet afgewerkte vloeren de gewenste slijtvastheid (en kleur) te geven, wordt strooimateriaal opgebracht (foto 61) en ingeschuurd (foto 62). Het schuren zetten we voort totdat het betonoppervlak een goede structuur, textuur en homogeniteit heeft verkregen. Eventueel passen we een laatste mechanische bewerking toe, het pleisteren. Ambachtelijke ervaring van het vloerenbedrijf is essentieel om tot goede resultaten te komen.

Foto 61:
Aanbrengen strooiemateriaal



Foto 62:
Inschuren strooiemateriaal



Op grond van de gewenste oppervlaktekwaliteit classificeren we monoliet afgewerkte vloeren naar de soort en de hoeveelheid in te strooien toeslagmateriaal. Dit toeslagmateriaal vormt samen met het cement de zogenoemde strooilaag. In NEN 2743 [4] worden vijf klassen (M, MN, MM, MS.25, MS.50) onderscheiden die voornamelijk de mate van slijtvastheid definiëren. De laagste klasse is klasse M. Bij hogere eisen aan het oppervlak - afhankelijk van onder meer het voertuigtype (heftrucks, hoogstapeltrucks, massieve of luchtbanden) - moeten we kiezen voor de klassen MN, MS.25 of MS.50. Tabel 22 geeft het verband tussen het soort verkeer en de daarvoor geschikte vloerklasse. Voor nadere informatie verwijzen we naar [4].

Tabel 22
Verband tussen classificatie van de vloer en aard van het verkeer volgens NEN 2743 [4]

Aard van het verkeer	Geschikte vloerklasse				
	M	MN	MM	MS.25	MS.50
Voetgangers	*	*		*	
Auto's		*		*	
Heftrucks: - luchtbanden		*			*
- massieve banden				*	*
- vast lijnverkeer				*	*
Rupsbanden				*	
Rollende vaten en slepende lasten		*	*	*	

Nabehandeling

Nadat we de betonvloer hebben gestort, verdicht en afgewerkt, begint de periode van nabehandeling. Met goed nabehandelen (verlaging verdampingssnelheid) voorkomen we 'verbranden' van het oppervlak (onvolledige hydratatie door gebrek aan water) en een te snelle krimpontwikkeling, waardoor ongewenste scheurvorming kan ontstaan. Nabehandeling bepaalt of alle genomen moeite zal resulteren in het uiteindelijk gewenste eindresultaat. Krimp van het nog plastische beton en snelle temperatuurdaling tijdens de nacht zijn de belangrijkste oorzaken van scheurvorming in het jonge beton. Daarom moeten we de juiste betontechnologische en uitvoeringstechnische maatregelen nemen [46]. Dek het afgewerkte betonoppervlak bij voorkeur af met kunststoffolie ($S_n = 100\%$; NEN 2743) of, indien dit uitvoeringstechnisch moeilijk is, met een sterk dampremmende curing compound ($S_n \geq 90\%$). Onder gunstige omstandigheden kunnen we volstaan met een 'normale' curing compound ($S_n \geq 70\%$). Als in die periode de temperaturen onder het vriespunt kunnen dalen (bijvoorbeeld 's nachts bij heldere hemel), moeten we pas gestort beton tegen bevriezing beschermen (isolatiedeken). Behalve onder winterse omstandigheden (weerfase 4 of 5) moeten we het betonoppervlak gedurende de eerste drie tot vijf dagen ook isoleren als het verschil tussen de gemiddelde dag- en nachttemperatuur groter is dan 10 à 12 °C. Tot slot merken we op dat de gevoeligheid voor scheurvorming nauw samenhangt met de verdampingssnelheid van vocht uit het betonoppervlak. Deze verdampingssnelheid is voornamelijk afhankelijk van de luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en betontemperatuur.

Hoe lang nabehandelen? [47, 48]

Tabel 23 geeft aan hoeveel dagen we moeten nabehandelen, en geldt voor betonconstructies in de buitenlucht. Bij 'constructies binnen' kunnen we niet altijd zonder meer korter nabehandelen: door tocht of droogte kan een aanzienlijke verdamping aan het betonoppervlak optreden.

Aan tabel 23 lagen ten grondslag onderstaande omgevingscondities en de gegevens uit tabel 24.

Omgevingscondities

- gunstig: beschermd tegen directe zonbestraling en directe inwerking van de wind en een relatieve vochtigheid (RV) van de lucht die doorlopend ligt boven de 80%.
- normaal: matige zonbestraling en/of matige inwerking van wind en/of een RV boven de 50%.
- ongunstig: sterke zonbestraling en/of sterke inwerking van de wind en/of een RV beneden de 50%.

Omgevingscondities (zonbestraling/wind)	Gem. betontemperatuur tijdens nabehandeling	Sterkteontwikkeling		
		S	M	L
gunstig	5 - 10°C	2	3	3
	10 - 15°C	2	3	3
	> 15°C	1	2	2
normaal	5 - 10°C	4	6	8
	10 - 15°C	3	4	5
	> 15°C	2	3	4
ongunstig	5 - 10°C	4	8	10
	10 - 15°C	3	6	8
	> 15°C	2	5	5

Tabel 23
Minimale nabehandelingstijd in
verhardingsdagen voor in de
buitenlucht gestorte betonvloer of
-verharding

S = snel M = matig L = langzaam

Opm.: een dag telt alleen als verhardingsdag als de gemiddelde buitenluchttemperatuur minstens 4 °C is.

Sterkteontwikkeling	Watercementfactor	Cementtype
snel	< 0,50	CEM I 42,5R & CEM I 52,5R CEM III/A 52,5
matig	0,50 - 0,60	CEM III/B 42,5 LH HS PLUS CEM I 42,5R & CEM I 52,5R CEM III/A 52,5
langzaam	< 0,50	CEM III/B 42,5 LH HS PLUS CEM I 32,5R CEM III/B 42,5 LH HS alle overige gevallen

Tabel 24
Werking van enkele cementtypen

De waarden in tabel 23 moeten we verlengen als van de volgende omstandigheden sprake is:

- Er is een vertrager in het betonmengsel toegepast. Verleng de tijdsduur uit de tabel met de werkingstijd van de vertrager.
- Als aan het betonoppervlak bijzondere eisen worden gesteld, moeten we de nabehandelingstijd verlengen. Dit is bijvoorbeeld het geval bij sterke chemische belasting, bij verwachte vorst-dooizoutbelasting en bij schurende krachten, bijvoorbeeld door stromend water.

De verlenging van de minimale nabehandelingstijd (tabel 23) is afhankelijk van de milieuklasse [47]:

Milieuklasse	2	3	4	5a	5b	5c	5d
extra dagen	0	2	2	0	2	3	4

Voor nadere informatie over onder meer het nabehandelen van vloeren verwijzen we naar art. 9.7 van de VBU 1988 [2] en CUR-Aanbeveling 31 [47]. Betonvloeren moeten goed 'uitharden'. We adviseren een druksterkte van ten minste 70% van de beoogde B-waarde, vóórdat we de vloer in gebruik nemen (art. 7.5 van [4]). Houdt daarom bij het voorbereiden van de uitvoering altijd rekening met de activiteiten van de toekomstige gebruiker.

Bij ongewapende verhardingen (buiten) is er geen bezwaar als we deze 'snel' in gebruik willen nemen, omdat we dit soort verhardingen ontwerpen op de vermoeiingssterkte van beton bij een zeer groot aantal aslatherhalingen ($N \geq 10^6$). Voor de juiste mengselkeuze en nabehandelingswijze behoort ingebruikname na 1-2 etmalen tot de mogelijkheden.

Arbeidsomstandigheden

Tijdens de aanleg van vloeren in overkapte ruimtes kunnen als we daar niet expliciet rekening mee houden - ongewenste arbeidsomstandigheden ontstaan, zoals extreem hoge temperaturen. Gespecialiseerde vloerenbedrijven hebben veel activiteiten inmiddels gemechaniseerd, zoals de aanvoer en het verdichten van de betonspecie en het vlak afwerken van het betonoppervlak. Voldoende verlichting en ventilatie zijn belangrijk tijdens de aanleg.

Omdat het aanleggen van bedrijfsvloeren specialistenwerk is, zal de aannemer dit meestal uitbesteden. De aannemer blijft evenwel (mede)-verantwoordelijk voor de omstandigheden waaronder de vloer wordt aangelegd. Uiteraard spelen de arbo-eisen ook ná ingebruikneming van de vloer of verharding een rol. Zo moeten bij berijdbare voegconstructies de hoogteverschillen beperkt blijven tot 1 à 2 mm.

Renovatie

Behalve nieuwbouw is er ook een groot areaal aan vloeren en verhardingen die niet meer voldoen aan de functionele eisen. Soms moeten we die geschikt maken voor nieuwe bedrijfsactiviteiten.

Renovatie (bijv. door een 'dikke' betonoverlaging) kan ook een economisch aantrekkelijk alternatief zijn voor nieuwbouw. De kosten van sloop, afvoer van puin, stagnatie of overlast bij bedrijfsproces alsmede opbouw inrichting zijn factoren die herstel van bestaande vloeren doen prefereren.

Vloerenbedrijven zijn vaak bekend met nieuwe materialen en technieken die renovatie onder zelfs lastige omstandigheden mogelijk maken.

Voor de ontwerpdikte van ongewapende betonoverlagingen van bedrijfsverhardingen verwijzen we naar hoofdstuk 9 van [29]. Verder verwijzen we naar bijlage 6.

Literatuur

1. NEN 5950, Voorschriften Beton. Technologie (VBT 1995). NNI, Delft, 1995.
2. NEN 6722, Voorschriften Beton. Uitvoering (VBU 1988). NNI, Delft, 1989.
3. NEN 2741, Met cement gebonden dekvloeren - Kwaliteit en uitvoering. NNI, Delft, 1982.
4. NEN 2743, Oppervlak monolitisch afgewerkte betonvloeren. Uitvoering en kwaliteitsbeoordeling. NNI, Delft, 1995.
5. NEN 2875, Zandblaastoestel en bepaling van het massaverlies. NNI, Delft, 1988.
6. NEN 2874, Beproeving van steenachtige materialen - Slijtproef volgens Amsler en bepaling van de slijtweerstand. NNI, Delft, 1982.
7. DIN 15185, Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzeugen; Anforderungen an Böden, Regel und sonstige Anforderungen, 1991.
8. Concrete industrial ground floors - A guide to their design and construction. Technical Report 34 (TR 34), The Concrete Society, 2nd edition, Slough, 1994.
Concrete industrial ground floors - Specification and control of surface regularity of free movement areas. Technical Report 34 supplement (TR 34 supp.), The Concrete Society, 1st edition, Slough, 1997.
9. DIN 18202, Toleranzen im Hochbau: Bauwerke, 1986.
10. Secundaire materialen in de wegenbouw: cementgebonden bouwstoffen voor de wegenbouw. Publicatie 85, CROW, Ede, 1994.
11. AGI Arbeitsblatt M2: Zulässige Grenzabmaße für Längen und Oberflächen, Arbeitsgemeinschaft Industriebau e.V. (AGI), Köln, 1991.
12. ASTM E 1155-87, Standard Test Method for Determining Floor Flatness and Levelness Using the F-number System. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1987.
13. Monster, H.B., Verwarring over vlakheid - Normen en meetmethoden voor bedrijfsvloeren (1 en 2). *Vloer Technisch Magazine 5 en 6*, 1996.
14. NEN 3631, Oppervlakteruwheid - Benamingen en definities (met correctieblad 1982). NNI, Delft, 1977.
15. NEN 3632, Oppervlakteruwheid - Waardebepaling van de ruwheid. NNI, Delft, 1986.
16. NEN 2873, Beproeving van steenachtige materialen. Stroefheidsmeting volgens Leroux en bepaling van de stroefheid van oppervlakken. NNI, Delft, 1982.
17. Nederlandse Richtlijn Bodembescherming bedrijfsmatige activiteiten - NRB, Min. VROM, Den Haag 1997.
18. Frénay, J.W. et al., Duurzaamheid van beton in agrarische milieus, IMAG-DLO rapport 93-17 / CUR rapport 167, Wageningen / Gouda, 1993.
19. Bouquet, G.Chr., J.W.Frénay, A.Scheer, Vloeren voor koel- en vriescellen. *Cement 1996/6*.
20. CUR-Aanbeveling 36, Ontwerpen, berekenen en detailleren van bedrijfsvloeren van constructief beton. CUR, Gouda, 1994.
21. Standaard RAW-Bepalingen. CROW, Ede, 1995.
22. Leewis, M., H.B.Monster, A.A. van der Vlist, Bedrijfsverhardingen en bedrijfsvloeren van beton. VNC, 's-Hertogenbosch, 1991.
23. Betonwegen deel A: Ondergrond en aardebaan; fundering. Publicatie 33a, CROW, Ede, 1991.
24. NEN 5108, Bepaling in het terrein van de CBR-waarde. NNI, Delft, 1990.
25. Schuimbeton voor wegen en terreinen. Publicatie 101, CROW, Ede, 1996.
26. Werken met schuimbeton. Rapport 181, CUR, Gouda, 1995.
27. NEN 2892, Vlakheid en evenwijdigheid van bouwdeelloppervlakken.

- Berekeningsmethode voor maximaal toelaatbare maatafwijkingen, meting en toetsing. NNI, Delft, 1994.
28. CUR-Aanbeveling 59, Vervaardiging en beproeving van schuimbeton, CUR, Gouda, 1998.
 29. Handleiding cementbetonwegen - standaardconstructies. Publicatie 120, CROW, Ede, 1997.
 30. NEN 6720, TGB 1990 Voorschriften Beton. Constructieve eisen en rekenmethoden (VBC 1995). NNI, Delft, 1995.
 31. Hydrofoberen. *Betoniek 9/2*, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1994.
 32. Aanbeveling voor de keuring van hydrofobeermiddelen voor beton volgens de eisen van Bouwdienst Rijkswaterstaat. Rapport 93-26, Bouwdienst RWS afd. Bouwspuurwerk (BSW), Utrecht, 1993.
 33. Handleiding dekvloeren - Ontwerp en uitvoering. Bedrijfsschap STS, Woerden, 3e herziene druk 1993.
 34. Breugel, K. van et al., Betonconstructies onder Temperatuur- en Krimpvervormingen. Betonpraktijkreeks 2, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1996.
 35. Dilatatievoegconstructies in dek- en afwerkvloeren, SBR. Rotterdam, 1997.
 36. VENCIN, Software voor de dimensionering van industriële bedrijfsvloeren. VNC, 's-Hertogenbosch, 1993.
 37. BPF-Manual, The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries. British Port Federation (BPF), London, 1989.
 38. Betonwegen deel D: Dimensionering, publicatie 33d, CROW, Ede, 1994.
 39. Evaluatiemodellen betonverhardingen. Publicatie CROW, Ede, 1995.
 40. FLOOR, Software voor elastisch ondersteunde betonvloeren en betonverhardingen, CUR, Gouda, 1998.
 41. UECSLAB: Software voor de dimensionering en evaluatie van elastisch ondersteunde, ongewapende betonverhardingen.
 42. KOLA: EEM - programma voor elastisch ondersteunde betonvloeren, Ingenieursbureau ASCAL, Delft, 1998.
 43. NEN 3502, Levering van beton door betonmortelbedrijven. NNI, Delft, 1992.
 44. Die Anwendung von Walzbeton im Strassenbau. Statusbericht 1993, AIPCR/PIARC Bauberatung Zement, Paris/Köln, 1993.
 45. Krikhaar, H.M.M., Werken met Beton & Mortel, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1997.
 46. Beton voor vloeren. *Betoniek 9/22*, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1994.
 47. CUR-Aanbeveling 31, Nabehandeling en bescherming van beton. CUR, Gouda, 1993.
 48. Nachbehandeln von Beton. Bauen für die Landwirtschaft, no. 3, 1996.
 49. Bouquet, G.Chr., C.R.Braam, J.H.Holthuis, W.A.Kramer, H.Stuut, Leidraad voor de toepassing van betonmortel in de land- en tuinbouw. VNC, 's-Hertogenbosch, 3e geheel herziene druk 1998.
 50. Braam, C.R., Hoe vlak moet een betonvloer zijn? Overeenstemming vooraf voorkomt teleurstellingen. *Agrabeton 1997/3*, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch.
 51. CUR-Aanbeveling 42, Bepaling van de invloed van polypropyleenvezels in beton op de vorming van plastische krimp scheuren. CUR, Gouda, 1995.
 52. Non-structural cracks in concrete. Technical Report 22, The Concrete Society, 3rd edition, Slough, 1992.

53. Scheurkalender. *Betoniek 8/25*, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1991.
54. Betonwegen deel C: Beton voor betonverhardingen. Publicatie 33c, CROW, Ede, 1996.
55. BRL 1801, Nationale Beoordelingsrichtlijn betreffende het KOMO-productcertificaat voor betonmortel. BMC, Gouda, 1996.
56. ISO/DIS 7031, Concrete hardened determination of the depth of penetration of water under pressure. 1983.
57. BRL 2825, Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor 'Voegvullingsmassa voor vloeistofdichte constructies in bodembeschermende voorzieningen'. KIWA, Rijswijk, 1998: Deel 1: Algemene eisen.
Deel 2: Toepassing-specifieke eisen voor tankstations, garages, wasplaatsen en autosloperijen.
58. CUR/PBV Aanbeveling 63, Bepaling van de vloeistofindringing in beton door de capillaire absorptieproef. CUR/PBV, 1998.
59. BRL 2362, Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor aanleg vloeistofdichte voorzieningen in ter plaatse gestort beton. KIWA, Rijswijk, 1998.
60. BRL 2369, Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor applicatie van voegvullingsmassa in vloeistofdichte verhardingsconstructies. KIWA, Rijswijk, 1996.
61. BRL 2370, Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor verwerken van beton in vloeistofdichte verhardingsconstructies. KIWA, Rijswijk, 1997
62. CUR/PBV Aanbeveling 65, Ontwerp en aanleg van bodembeschermende voorzieningen. Uitvoering door middel van een vloeistofdichte betonvloer of -verharding of het aanbrengen van een beschermlaag op een draagvloer van beton. CUR/PBV, 1998.
63. CUR/PBV-Aanbeveling 44, Beoordeling van vloeistofdichte voorzieningen. CUR/PBV, 1998.
64. BRL 2371, Nationale Beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-procescertificaat voor het vloeistofdicht maken van draagvloeren van beton. KIWA, Rijswijk, 1998.
65. Vloeistofdicht beton (I en II). *Betoniek 9/8*, Stichting BetonPrisma, 's-Hertogenbosch, 1992.
66. Walraven, J.C. et al. Betonnen beschermingsconstructies tegen milieubelastende stoffen. Rapport 94-3, CUR, Gouda 1994.
67. Snelders, E., J. van Wier (red.), Handboek Beton & Milieu deel 4, Vloeistofdichte betonconstructies voor industriële toepassingen. Betonvereniging, Gouda, 1996.
68. Betonoverlagen op vliegvelden. Publicatie 72, CROW, Ede, 1993.
69. Resurfacing Concrete Floors, PCA, Skokie (USA), 1993.
70. Smith, R.E., R.E. Wilde, Rehabilitating Industrial Floors with SFRC Overlays. Concrete International, June 1996.
71. Maten en gewichten van vrachtvoertuigen. FOCWA/TLN, Sassenheim/Zoetermeer, 1995.

Bijlage I

Vlakheidseisen conform NEN 2743

Onderstaande uitleg van de norm is onder meer ontleend aan [50].

De gebruiker stelt soms zware eisen aan de vlakheid van betonvloeren. Dat komt doordat hij er mogelijk machines op wil plaatsen, producten hoog wil stapelen, hoge magazijnstellingen wil neerzetten enz. NEN 2743 omschrijft de methode waarmee we de vlakheid kunnen bepalen. Ook geeft deze norm vlakheidseisen voor ‘zeer vlakke’, ‘vlakke’ en ‘matig vlakke’ vloeren.

Monolitisch afgewerkte betonvloeren zijn vloeren die na het storten, verdichten, afwerken, nabehandelen en verharderen van het beton direct geschikt zijn voor gebruik. Dit betekent dat deze vloeren niet naderhand worden voorzien van een deklaag. Daardoor is het niet mogelijk eventueel aanwezige, plaatselijke hoogteverschillen in de vloer weg te werken door de dikte van de deklaag te variëren. Dit stelt natuurlijk strenge eisen aan de uitvoering van de vloer: grote hoogteverschillen kunnen we achteraf niet meer ongedaan maken.

Vlakheid is een begrip dat aanleiding kan geven tot nogal wat discussie en misverstanden: wat in de ene situatie voldoende vlak is, kan in een andere situatie juist ontoelaatbaar onvlak zijn.

Vlakheid: een moeilijk begrip

We kunnen vlakheid eenvoudig omschrijven als het hoogteverschil tussen twee punten op een oppervlak. Het lijkt dan voor de hand te liggen om eisen te stellen aan het toelaatbare hoogteverschil. Echter, zo’n benadering volstaat niet en wel om de volgende reden: niet alleen het hoogteverschil tussen twee punten, maar ook de afstand tussen die twee punten speelt een rol bij het beoordelen van de vlakheid. Denk hierbij maar aan de ribbels in het asfalt bij een verkeerslicht: ondanks het hoogteverschil van maximaal 30 à 50 mm ervaren we het als zeer storend, omdat de ‘toppen’ en ‘dalen’ in het ribbelpatroon elkaar snel opvolgen. Zou hetzelfde hoogteverschil geleidelijk optreden over een afstand van honderden meters, dan zouden we er als automobilist geen hinder van ondervinden.

Vlakheidseisen

In NEN 2743 is de meetmethode uitgewerkt en zijn de vlakheidseisen voor vloeren vastgelegd. Allereerst zullen we op het laatste ingaan.

Tabel 1A geeft de drie verschillende klassen voor de vlakheid, en wel ‘zeer vlak’, ‘vlak’ en ‘matig vlak’. In de derde kolom staat de afstand vermeld tussen de meetpunten die de vlakheid bepalen. De laatste drie kolommen geven hoogteverschillen die maximaal mogen worden toegelaten. Hieruit blijkt dat het toetsen van de vlakheid niet eenvoudigweg het controleren van één waarde is, maar dat we ten minste drie vlakheidswaarden moeten berekenen. Hoe we de metingen moeten uitvoeren komt nu aan de orde.

Tabel 1A:
Vlakheidsklassen en toelaatbare
hoogteverschillen conform
NEN 2743

Klasse	Beschrijving vlakheid	Afstand tussen de meetpunten (mm)	Maximaal toelaatbaar hoogteverschil (mm)	Toets laag (mm)	Toets hoog (mm)
I	zeer vlak	500	3	3,5	5
		1000	4	4,5	7
II	vlak	1000	6	6,5	10
III	matig vlak	1000	10	10,5	16

Uitgebreide vlakheidsmetingen

Algemeen, dus los van NEN 2743, kunnen drie meetmethoden worden onderscheiden.

Aluminium rei en kaliber-wig

De oudste, maar tevens zeer nauwkeurige methode is de meting met de aluminium rei, lengte 2 m, in combinatie met de kaliber-wig. In principe meten we uitsluitend de gaping onder de rei, terwijl we de afwijking in 'hoogte' niet of nauwelijks waarnemen.

Deze meetmethode heeft de volgende nadelen:

- a. het ontbreken van een vereiste regelmaat qua locatie;
- b. het ontbreken van meetresultaten bij afwijkingen op 'hoge' punten;
- c. het zeer plaatselijke karakter van de meting;
- d. het selectieve karakter, immers vooral de 'slechte' plaatsen worden gezocht;
- e. het ontbreken van een systematische registratie van meetresultaten.

Alhoewel de rei met kaliber-wig nog steeds bij voorkeur door de verlegger van bedrijfsvloeren wordt gehanteerd, moet deze wijze van toetsing worden ontraden bij de huidige hoge eisen.

Elektronische methode

Voor de meting van gangen in magazijnen maken we bij voorkeur gebruik van elektronische meetinstrumenten zoals de Clinograph[®] (zie foto 1). De Clinograph[®] is een 'self propelling' heftrucksimulator die met een nauwkeurigheid van 0,15 mm/1500 mm de onvlakheid van bedrijfsvloeren registreert. De resultaten van de metingen (zie fig. 2) zijn door de hoge meetfrequentie (elke 30 mm) te 'vertalen' naar iedere gewenste norm. Impliciet meten we de vlakheid over het linker- en rechterspoor, evenals het hoogteverschil in dwarsrichting. De meetgegevens, uitgedrukt in tienden van millimeters, worden vastgelegd via een 'laptop' computer. Aan de hand van deze gegevens kunnen we een meetrapportage maken, waarin we de resultaten toetsen aan de voorgeschreven normen.

Meting van de hoogten van punten in een raster

Bij de uitgebreide metingen staat centraal dat we één of meer rasters moeten uitzetten. De meetpunten zetten we uit in een raster van 11 x 11 punten op de vloer: er ontstaan elf rijen van ieder elf meetpunten. De afstanden tussen de punten in een rij en de afstanden tussen de rijen zijn gelijk aan 500 of 1000 mm, zie de derde kolom uit tabel 1A van NEN 2743.

Hoe groter het vloeroppervlak, hoe meer rasters we op de vloer moeten uitzetten. Tabel 1B geeft het minimum aantal rasters. Nu is ook duidelijk waarom in tabel 1A twee waarden voor de afstand tussen de meetpunten zijn genoemd bij de zeer vlakke vloer: bij vlakheidsklasse I moeten we zowel rasters van 5 x 5 m als 10 x 10 m bekijken, wat leidt tot afstanden tussen de meetpunten van 500, respectievelijk 1000 mm.

Zodra we een raster op de vloer hebben uitgezet, stellen we de hoogteligging van alle 121 meetpunten vast. Daarna wordt het hoogteverschil tussen alle naast elkaar gelegen punten vastgesteld. Dit levert in totaal 220 waarden: elk van de elf rijen met elf meetpunten levert tien hoogteverschillen, dus in totaal 110 hoogteverschillen binnen de rijen. De elf rijen liggen naast elkaar, dus tussen de rijen onderling zijn er ook in totaal 110 hoogteverschillen. Die laatstgenoemde hoogteverschillen worden dus bepaald in een richting loodrecht op de hoogteverschillen binnen de rijen zelf. Dat is een goede zaak, want als we een vloer gaan gebruiken, zijn we niet alleen geïnteresseerd in de vlakheid in één richting, maar ook in een probleemloos in alle richtingen kunnen berijden en/of gebruiken.

Tabel 1B:
Minimum aantal meetrasters voor
het beoordelen van de vlakheid
volgens NEN 2743

Vloeroppervlak (m ²)	Aantal en afmetingen meetrasters voor de vlakheidsklassen			
		I	II	III
(m ²)	5 x 5m	10 x 10m	10 x 10m	10 x 10m
<100	1	-	-	-
<1000	1	2	2	2
<2000	2	2	2	2
<3000	2	3	3	3
<4000	3	4	4	3
<5000	3	5	5	4
<6000	4	6	6	4
<7000	4	7	7	5
<8000	5	8	8	5
<9000	5	9	9	6
>9000	6	10	10	6

Voorkom discussie

Het in een bestek zonder meer verwijzen naar NEN 2743 kan aanleiding geven tot onduidelijkheid als we achteraf de (on)vlakheid van een vloer moeten vaststellen: is de uitgebreide meting vereist of volstaat de vereenvoudigde toetsing met de 2 m lange rei? Als we een en ander vastleggen in het bestek, kunnen we discussies voorkomen.

Controleren van de vlakheid

Nu per raster 220 hoogteverschillen bekend zijn, kunnen we kijken of we aan de vlakheidseisen voldoen; zie de laatste drie kolommen van tabel 1A. Daartoe bepalen we eerst het gemiddelde en de standaardafwijking van de 220 hoogteverschillen.

Voor het steekproefgemiddelde geldt:

$$m = \sum x_i / n$$

waarin:

x_i = hoogteverschil ($1 \leq i \leq 220$)

n = aantal hoogteverschillen ($n = 220$).

Als maat voor de spreiding van alle hoogteverschillen geldt de standaardafwijking van de steekproef:

$$s = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2 / n}{(n - 1)}}$$

Maximaal toelaatbaar hoogteverschil

De vierde kolom van tabel 1A geeft het maximaal toelaatbare hoogteverschil. We controleren als volgt of we daaraan voldoen: voor ieder meetraster bepalen we $(m + 1,96 s)$. Vervolgens bepalen we weer het gemiddelde van al die waarden voor de afzonderlijke rasters. Daarna vergelijken we het resultaat met de waarde uit de vierde kolom van tabel 1A.

Toets laag

Bij deze controle nemen we voor alle rasters afzonderlijk de eerder genoemde waarde $(m + 1,96 s)$. Daarna mag voor ieder raster deze waarde niet groter zijn dan die uit de vijfde kolom van tabel 1A.

Toets hoog

Per raster kunnen we ook vaststellen wat het maximaal gevonden hoogteverschil is tussen twee naast elkaar gelegen meetpunten. Voor ieder raster moeten we deze waarde vergelijken met die uit de laatste kolom van tabel 1B.

Maximaal hoogteverschil binnen een raster

Na deze drie controles zijn we er nog niet. Tot nu toe hebben we alleen nog maar gesproken over hoogteverschillen tussen twee naast elkaar gelegen punten in een raster. We kunnen ook een maximaal hoogteverschil binnen een raster bepalen. We doen dit door het hoogste en laagste punt binnen een raster te nemen en het hoogteverschil tussen beide vast te stellen. Het maximaal toelaatbare hoogteverschil is weergegeven in tabel 1C. Ook hier geldt weer dat we die controle voor ieder raster moeten uitvoeren.

Vlakheidsklasse	Maximaal toelaatbaar hoogteverschil (mm)
I	10 (5 x 5mm raster) 12 (10 x 10m raster)
II	17
III	30

Tabel 1C:
Maximaal toelaatbaar
hoogteverschil tussen
willekeurige punten
in een meetraster
volgens NEN 2743

Samenvattend hebben we dus in totaal vier controles. De eerste had daarbij betrekking op een waarde die een gemiddelde is van de resultaten uit de afzonderlijke rasters; de overige drie betreffen waarden voor ieder raster afzonderlijk.

Een vereenvoudigde methode

NEN 2743 staat toe dat we een wat eenvoudiger aanpak schetsen. Daarbij gebruiken we een 2 m lange rei waarmee we op een aantal plaatsen de maximale gaping tussen de rei en het vloeroppervlak vaststellen. Als we alle waarden hebben verzameld berekenen we de standaardafwijking (s) en moeten we aan drie voorwaarden voldoen (zie ook tabel 1D):

1. geen enkele gaping mag groter zijn dan de waarde van 'toets hoog';
2. maximaal 5% van alle waarnemingen mag een gaping geven die ligt boven de waarde van 'toets laag';
3. de waarde ($m + 1,96 s$) mag niet groter zijn dan de 'toets laag'.

Klasse	Toets laag (mm)	Toets hoog (mm)
I	3,2	5
II	4,7	7
III	8,0	12

Tabel 1D:
Vlakheidsklassen en
toelaatbare hoogteverschillen
bij vereenvoudigde toetsing
volgens NEN 2743

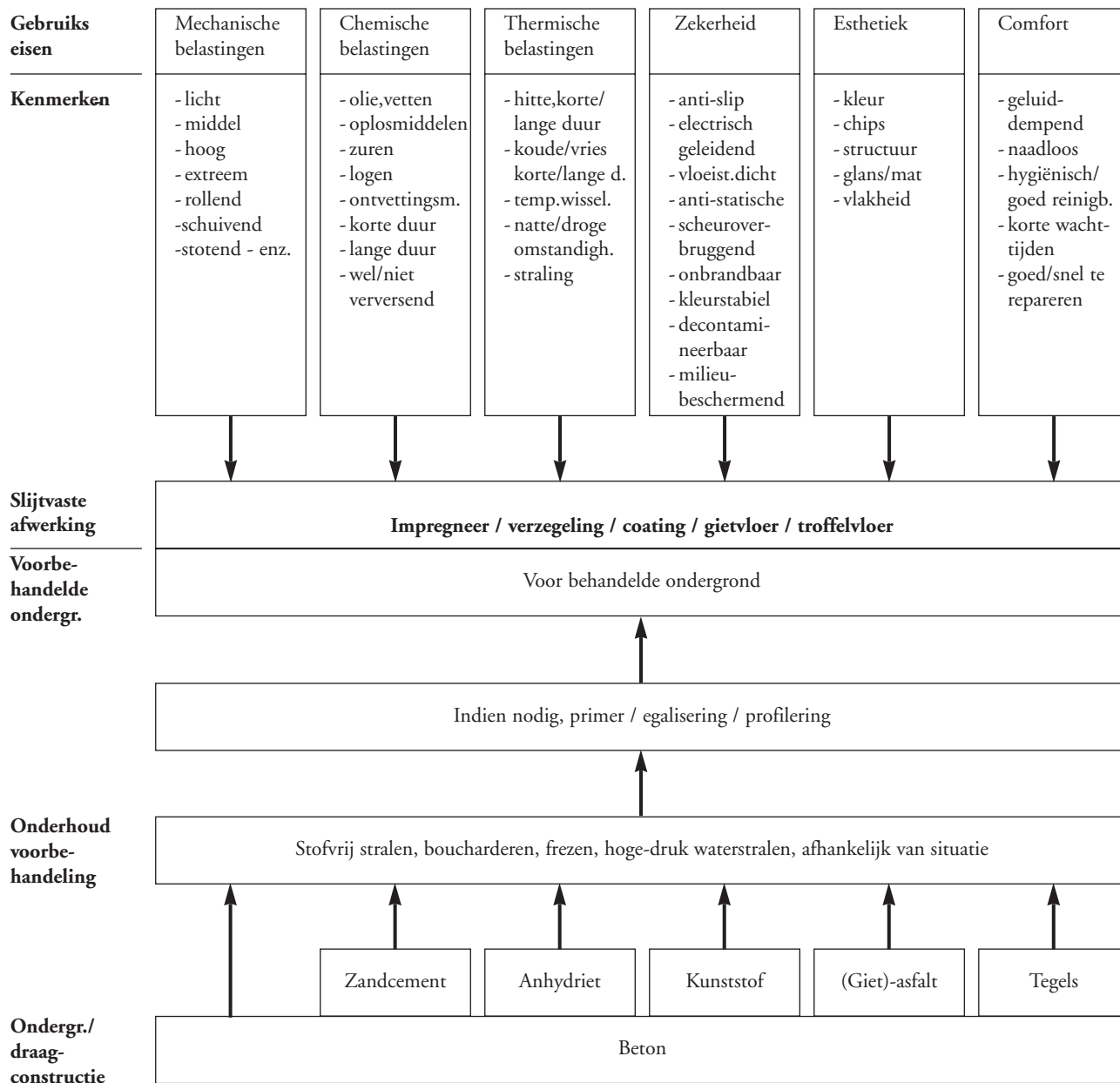
De eenvoudige methode is bijzonder gebruikersvriendelijk en vooral geschikt als we de vlakheid van relatief kleine of smalle vloeren (bijvoorbeeld stalvloeren) moeten beoordelen.

Welke vlakheidsklasse?

Het is natuurlijk helemaal aan de opdrachtgever om de gewenste vlakheidsklasse te definiëren. Een situatie waarin de vlakheid van belang is, is bijvoorbeeld de opslag door stapeling van goederen en de toepassing van magazijnrekken: een geringe onvlakheid in het vloeroppervlak leidt tot een scheefstand bovenin de stapel of het rek die vaak vele malen groter is dan de onvlakheid. We moeten hier echter niet alleen aan de nadelige gevolgen voor de stapels of rekken denken, maar ook aan de transportmiddelen die worden gebruikt, bijvoorbeeld een reachtruck met grote hefhoogte. Ook als we niet zozeer 'de hoogte in gaan' kan onvlakheid ongewenst zijn. Denk hierbij aan hoogteverschillen waardoor voertuigen onaangenaam schokkende bewegingen kunnen maken. Het is dan niet alleen van belang om te kijken naar de onvlakheid binnen een vloerdeel, maar ook om te kijken naar de onvlakheid (zeg maar 'het hoogteverschil') ter plaatse van de overgang van vloerdelen.

Bijlage II

Gebruikseisen en uitvoeringsaspecten voor afwerkvloeren



Bron: 'De juiste bedrijfsvloer',
VTM 1996/4

Bijlage III

Krimpspanningen in elastisch ondersteunde betonvloeren

Centrale vraag

Moeten we elastisch ondersteunde betonvloeren voorzien van een wapeningsnet (bovennet) om scheurvorming door krimpspanningen aan het betonoppervlak tegen te gaan? Om dat te beoordelen gaan we in op de belangrijkste invloedsfactoren. Daarna volgen enige conclusies.

Uitgangspunten

Bij het ontwerp en de uitvoering van elastisch ondersteunde betonvloeren houden we als uitgangspunten aan:

- sterkteklasse beton: min. B 25 voor vloeren (binnen);
- mate van ondersteuning van betonplaat:
 - gelegen op zandbed of ongebonden fundering;
 - aan onderzijde gelijkmatig ondersteund;
 - beddinggetal van ondergrond min. $0,03-0,04 \text{ N/mm}^3$ met daarbij lokaal slechts marginale stijfheidsverschillen;
- betonplaat van ongewapend beton, plaatdikte min. 120 mm;
- betonoppervlak dichtgeschuurd (mechanisch of met de hand);
- krimpvoegen: zaagtijdstip, zaagdiepte en max. voegafstand conform hoofdstuk 'Ontwerpaspecten'.

Verhardend / jong beton

Krimp: plastisch en door uitdroging

Op het moment dat de binding begint, is de betondruksterkte nog (juist) nihil en zijn de rheologische ('plastische') eigenschappen van het betonmengsel nog (juist) aanwezig (fig. 3A).

Naarmate de binding voortschrijdt ondergaat het materiaal krimp, waarbij we onderscheiden:

a. bij opstijvende en verhardende betonspecie:

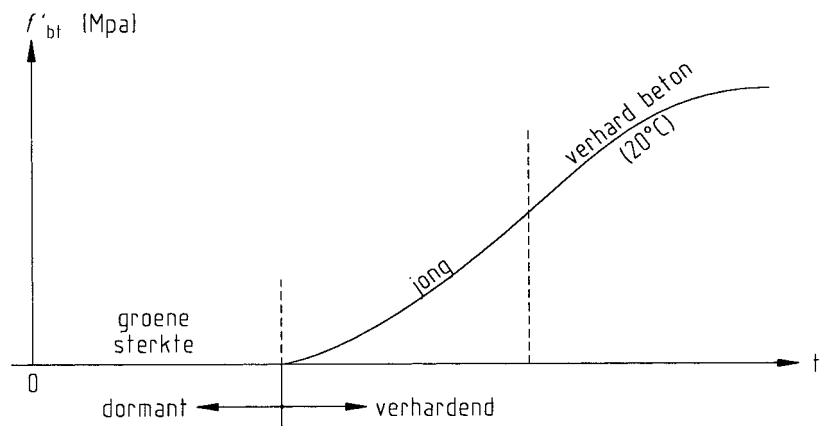
- plastische krimp;
- inwendige krimp:
 - chemische krimp (hydratatiekrimp);
 - autogene krimp (met name bij hogesterktebeton);
- thermische krimp (temperatuurkrimp);

b. bij verhard beton:

- uitdrogingskrimp.

De kans op scheurvorming door plastische krimp is minder naarmate de betonspecie relatief veel water en weinig fijn materiaal bevat. Dit komt door de waterafscheiding (zgn. bleedingcapaciteit en bleedingsnelheid). Bij teveel waterafscheiding vormt zich een poreuze toplaag, die onvoldoende hecht en een te geringe sterkte bezit om hoge contactdrukken van bijvoorbeeld kleine voertuigwielen op te nemen zonder schade. Bovendien vertoont het beton dan in het algemeen meer uitdrogingskrimp. Uitdrogingskrimp wordt acceptabeler als we de vloer voorzien van een dichte afwerklaag.

Figuur 3A:
Sterkteverloop van beton als functie van de verhardingstijd



Zorg bij betonspecie voor betonvloeren voor een stabiel mengsel (min. watergehalte, voldoende fijn materiaal). Dergelijke mengsels vergen:

- een zorgvuldige nabehandeling geleet op de plastische krimp. Een extra remedie tegen plastische krimp is de specie te voorzien van relatief korte kunststofvezels (min. $0,9 \text{ kg/m}^3$ polypropyleen). CUR-Aanbeveling 42 [51] geeft hiervoor aanwijzingen;
- een laag watergehalte ter reductie van de uitdrogingskrimp. Om eventueel optredende scheurvorming te beheersen, wordt wel gekozen voor een fijnmazig wapeningsnet of voor vacuümbehandeling, waarmee de betonhuid een lagere watercementfactor krijgt.

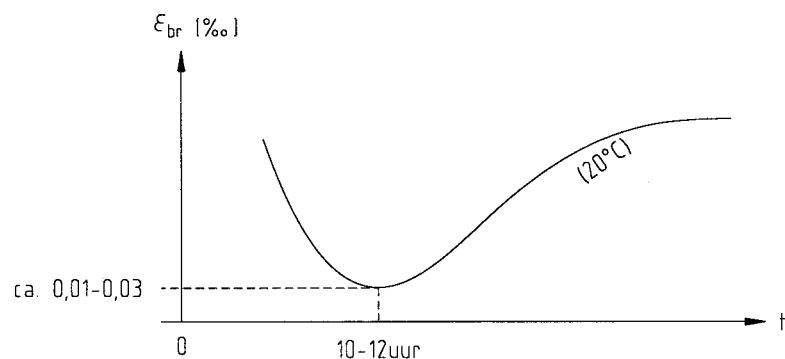
Nabehandelingmethoden

In de beginperiode van de cementbinding daalt de breukrek (fig. 3B). Deze bereikt tien tot twaalf uur na het storten een minimumwaarde (bij beton B 25 - B 45, 20°C).

Dit is voor verhardende betonspecie vaak de meest kritische periode: bij geen of onzorgvuldige nabehandeling kan door te veel vochtverlies vanaf het betonoppervlak plastische krimp optreden. Dit vochtverlies hangt samen met de verdampingsnelheid aan het betonoppervlak, die wordt bepaald door:

- windsnelheid;
- luchttemperatuur;
- specietemperatuur;
- relatieve luchtvochtigheid.

Figuur 3B:
Schematisch verloop van de breukrek als functie van de verhardingsduur



De plastische krimp wekt in het beton trekspanningen op, die - mede gezien de nog lage betontreksterkte - scheurvorming kunnen veroorzaken. Een systematisch overzicht van scheurtypologie en oorzaken is vermeld in [52] en [53].

Goed nabehandelen van het afgewerkte betonoppervlak is in die beginperiode dus essentieel. De volgende methoden komen in aanmerking:

- voorzien van één of twee lagen dampremmende curing compound ($S_n = 70-90\%$);
- voorzien van een dampdichte kunststoffolie. Een folie is zeker gewenst bij hechtende afwerkklagen, waarbij we een curing compound ontraden;
- benevelen met (fijn) sproeiwater, eventueel gecombineerd met vochtige jutedoeken (de klassieke methode).

De nabehandeldingsduur van vloeren is volgens NEN 2743 ten minste acht dagen (5-10 °C), zes dagen (10-15 °C) of vijf dagen (15-25 °C).

De temperaturen tussen haakjes zijn gemiddelde etmaaltemperaturen tijdens aanleg en verharding. De norm houdt geen rekening met de invloed van windsnelheid en relatieve luchtvochtigheid. Voor de juiste nabehandeling verwijzen we naar:

- NEN 6722 (VBU 1988), art. 9.7 [2];
- CUR-Aanbeveling 31 'Nabehandeling en bescherming van beton' [47];
- VNC-uitgave 'Leidraad voor toepassing van betonmortel in de land- en tuinbouw' (1998) [49];
- Beton voor betonverhardingen, CROW-Publicatie 33c (1996) [54];
- Nachbehandeln von Beton, Zement-Merkblatt (VDZ, Köln) [48];

In de praktijk bereikt beton aan het einde van die nabehandelingsperiode - dus na circa 7 dagen - ongeveer 60-70% van zijn karakteristieke kubusdruksterkte (f'_{ck} ofwel B-waarde). Eenvoudigheidshalve spreken we dan van verhard beton.

Thermische isolatie

Aandacht verdient verder het beperken van thermische spanningen, zoals die ontstaan bij de hydratatie van cement. Bij een relatief hoog cementgehalte vertoont beton met hoogovencement minder warmteontwikkeling dan beton met portlandcement in dezelfde druksterkteklasse (van het cement!). Verder kunnen in betonvloeren dikker dan 0,5 m de thermische spanningen aanzienlijk oplopen.

Maatregelen om de thermische gradiënten te beperken zijn onder meer het koelen van beton of het thermisch isoleren. Voor vloeren - kwetsbaar omdat dergelijke bouwdelen relatief dun zijn - is het *thermisch isoleren* gewenst wanneer het verschil tussen de gemiddelde dag- en nachttemperatuur groter is dan 10-12 °C. Isoleren is uiteraard ook nodig bij winterse omstandigheden (weerfasen 4 en 5). We moeten dan het isoleren van vloeren weer voortzetten direct na het inzagen van de krimpvoegen.

Van verhardend naar verhard beton

In verhard beton kunnen zich trekspanningen ontwikkelen door verhinderde vervormingen. Deze deformaties worden opgewekt door thermische en/of hygrische gradiënten. Hygrische gradiënten ontstaan door geleidelijke uitdroging/bevochtiging van het betonoppervlak. Thermische gradiënten worden meestal geïnitieerd door weersinvloeden, zoals nachtelijke afkoeling of een hagelbui op een warm betonoppervlak.

Trekspanningen groter dan 0,5 N/mm² - uitsluitend door vochtgradiënten (vochtverlies) - worden op basis van RWS-berekeningen *niet* verwacht in verhardend beton. Deze berekeningen hebben betrekking op het (numeriek) inschatten van betonspanningen in verhardend en verhard beton met behulp van het rekenpakket FEMMASSE van Intron SME. FEMMASSE is inmiddels gevalideerd met diverse laboratoriumproeven op beton. Gelet op de kans op scheurvorming door uitdrogingskrimp, verdient een *bovennet*

aanbeveling bij betonspecies met een watercementfactor hoger dan circa 0,50-0,55.

Een bovennet is ook mogelijk om constructieve redenen, zoals bij de vloertypen III en IV (zie fig. 21). Het gaat daarbij om vloervelden met een oppervlakte vanaf circa 140 m² (12 m x 12 m). Constructieve redenen die een bovennet zinvol kunnen maken, zijn onder meer:

- van teken wisselende, buigende momenten door variërende belastingen;
- verwachte zettingsverschillen van de betonvloer;
- grote temperatuurschokken.

Conclusies

Aanbevolen maatregelen tegen ongewenste scheurvorming door krimp in betonvloeren zijn:

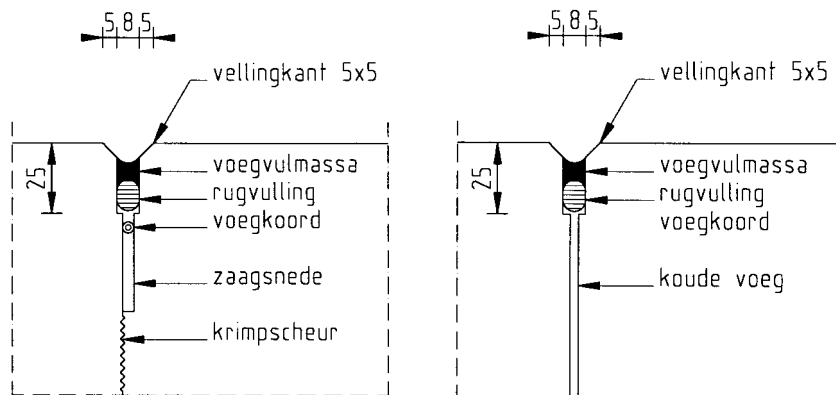
- de consistentie van de specie afstemmen op de uitvoeringswijze (transport, verwerkingsapparatuur en bindtijd);
- afstemming tussen watergehalte en hoeveelheid fijn materiaal om een stabiel mengsel en een relatief lage uitdrogingskrimp te bereiken;
- een dichtgeschuurd betonoppervlak en een zorgvuldige nabehandeling;
- de betonvloer voorzien van een bovennet bij een watercementfactor groter dan circa 0,50-0,55. Zo'n net adviseren we zeker als de betonplaten onderhevig zijn aan relatief grote trekkrachten veroorzaakt door wrijving met de ondergrond en/of de platen relatief groot zijn (> 20 - 25 m²).

Een factor die de invloeden van luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, windsnelheid en zoninstraling verdisconteert, betreft de zogenaamde referentie gewasverdampingssnelheid: een waarde groter dan 3,0-3,5mm (etmaal-gemiddelde) geldt als risicovol met het oog op plastische krimpscheuren in betonoppervlakken. Juist dan zijn hier de vermelde maatregelen uitermate cruciaal.

Bijlage 3 kwam tot stand met medewerking van de heren J.Claes (EVO Industrievloeren BV), ir. G.M.Wolsink (RWS Bouwdienst), ir. H.B.Monster (ABT Consultants), ir. M.Lewis (LEMA Consultants) en ing. R.Albers (ENCI N.V.).

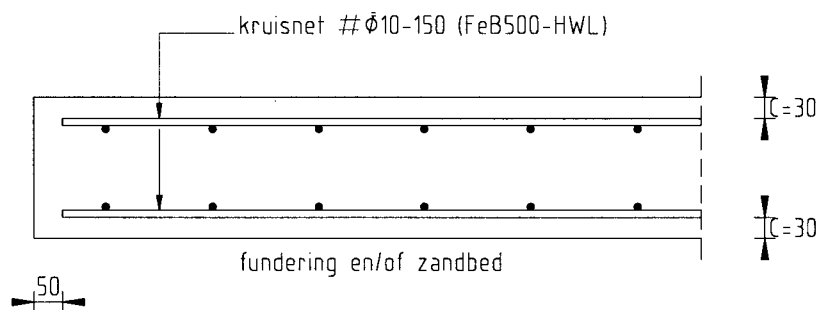
Bijlage IV

Details bedrijfsverhardingen

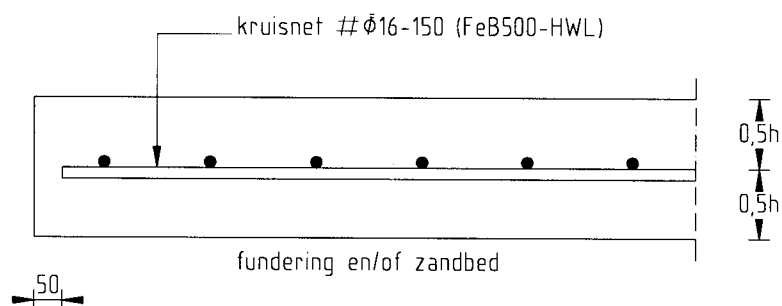


Figuur 4A:
Krimpvoeg voorzien van bitumineuze voegvulmassa en rugvulling

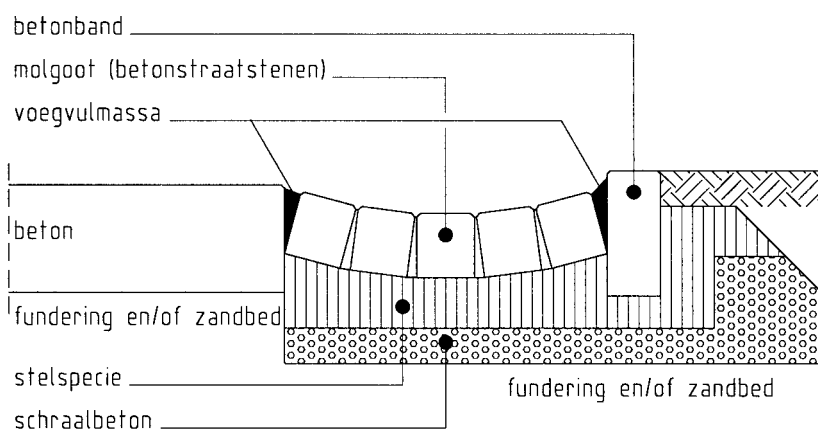
Figuur 4B:
Constructievoeg voorzien van bitumineuze voegvulmassa en rugvulling



Figuur 4C:
Dubbel wapeningsnet voor smalle of niet-rechthoekige platen



Figuur 4D:
Centraal wapeningsnet voor smalle of niet-rechthoekige platen

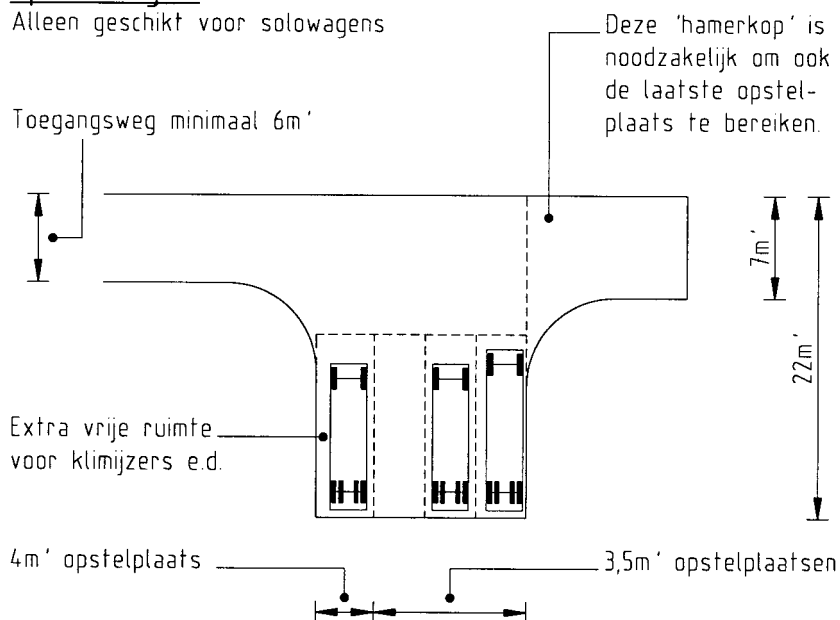


Figuur 4E:
Molgoot van betonstraatstenen langs een betonverharding

Figuur 4F:
Haakse opstelling laad-/losperron

opstelling 1.

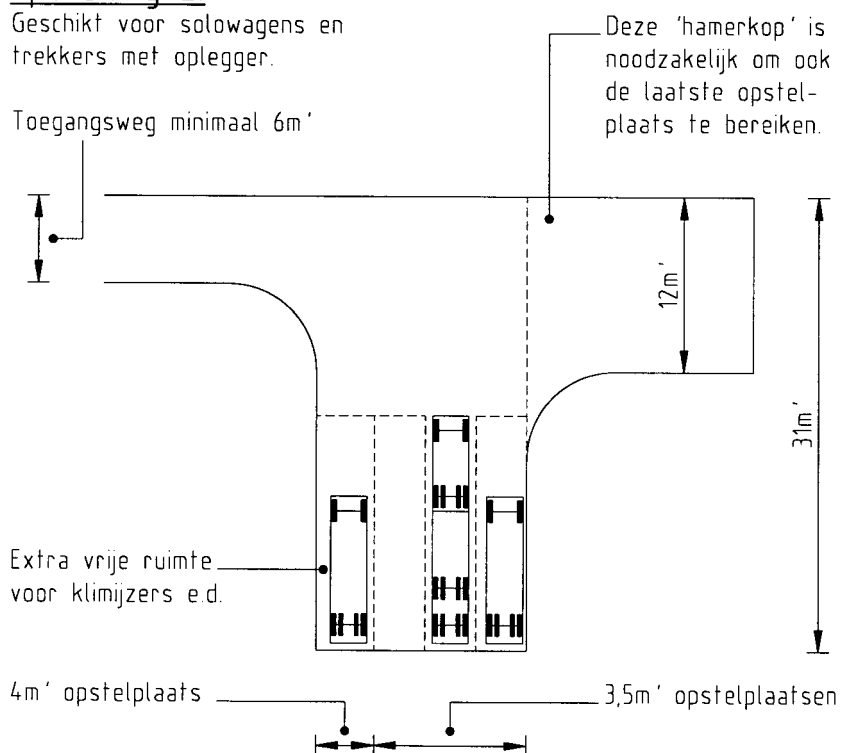
Alleen geschikt voor solowagens



N.B. Deze ontwerpen kunnen gespiegeld worden, maar chauffeurs geven de voorkeur aan over de hand insteken. Wanneer dit echter niet mogelijk is kan hulp van een derde gewenst zijn. Zie pag. 37.

opstelling 2.

Geschikt voor solowagens en trekkers met oplegger.



Bijlage V

Eisen aan vloeistofdichte betonvloeren en betonverhardingen

Niet altijd zal van een betonnen vloer of verharding worden geëist dat deze volledig dicht moet zijn. Afhankelijk van de gevolgen die lekkage van een vloeistof of gas zou kunnen hebben, kan een geringe lekkage toelaatbaar zijn. We onderscheiden daarom verschillende dichtheidsklassen, te weten volledige dichtheid, schijnbare dichtheid en adequate dichtheid. Karakteristieken van de verschillende dichtheidsklassen zijn weergegeven in tabel 5A.

Klasse	Karakteristieken	Realisatiemogelijkheden	Commentaar
Volledige dichtheid	- geen volume/massa stroming - diffusie mogelijk (ionen/molecuulnivo)	- volledig dicht materiaal - 'systeemtechnologie' (zie hoofdstuk 1 van [66])	in principe niet bereikbaar met enkel (poreus) beton, tenzij voor een korte periode
Schijnbare dichtheid	- geen zichtbare lekkage - verdamping aan achterzijde van de barrière overtreft aanvoer aan voorzijde.	- uitgebalanceerde betonsamenstelling - minimale betondrukzone	schijnbare dichtheid hangt af van de relatieve vochtigheid, temperatuur en windsnelheid buiten de constructie
Adequate dichtheid	- zichtbare, maar gecontroleerde lekkage	- beheersen scheurwijdte	voor veel beschermingsconstructies is adequate dichtheid toereikend

Tabel 5A. Classificering van dichtheidscriteria voor betonnen beschermingsystemen[66].

Bedacht moet worden dat, wanneer dichtheidseisen eenmaal zijn vastgesteld, aan deze eisen moet worden voldaan gedurende de gehele levensduur van de constructie! Dit betekent, dat effecten van verouderingsprocessen op de porositeit van beton en scheurwijdte-bevorderende factoren, zoals kruip en mechanische en thermische wisselbelasting, zorgvuldig moeten worden geëvalueerd. Daartoe zal een duidelijk beeld moeten bestaan van de relevante belastingen en belastingcombinaties waaraan de beschermingsconstructie zal worden blootgesteld.

Transport van vloeistof

Vloeistoftransport in/door een betonconstructie kan op drie manieren plaatshebben:

- capillaire opzuiging vanaf het grensvlak beton-vloeistof;
- stroming door een drukverschil van vloeistof;
- diffusie door concentratieverschillen in het beton.

Het vloeistoftransport hangt vooral af van:

- eigenschappen van de vloeistof (oppervlaktespanning en dynamische viscositeit);
- eigenschappen van het beton (poriënstructuur, permeabiliteit, vochtgehalte);
- de temperatuur.

Bij lage vloeistofdrukken (bijvoorbeeld < 0,5 m waterkolom) en ongescheurd beton overheerst veelal transport door capillaire absorptie. Bij vloeistoftransport door gescheurd beton speelt ook de mate van scheurvorming (scheurwijdte, scheurlengte, scheurbeweging in de tijd) mee.

Materiaalkundige aspecten

Voor het bestellen van betonspecie voor vloeistofdichte constructies geldt het aanhangsel bij de beoordelingsrichtlijn BRL 1801:1996 [55] van de certificatie-instelling BMC. Deze BRL schrijft beton voor met:

- een sterkteklasse B 35 of hoger en een watercementfactor van ten hoogste 0,45 (dus milieuklasse 5c of 5d);
- een gemeten maximum vloeistofindringing van ten hoogste 50 mm (voor een individueel monster) bepaald volgens ISO-DIS 7031 [56].

Constructieve aspecten

De technische eisen die van toepassing zijn, hangen samen met het gekozen vloertype. Betonvloeren kunnen we ontwerpen met voegen of 'voegloos'. Voor de belangrijkste kenmerken van de verschillende vloertypen verwijzen we naar figuur 21.

Vloertypen I-II

De vloertypen I ('ongewapend') en II ('marginaal gewapend') worden gedimensioneerd op basis van de gemiddelde buigtreksterkte van het beton. We mogen een gemiddelde waarde hanteren vanwege het lastspreidend vermogen van betonvloeren, dus de tweedimensionale belastingafdracht. In de bruikbaarheidsgrenstoestand zal de buigtrekspanning voldoende laag moeten blijven, zodat zich geen buigscheuren ontwikkelen. Daarom zijn alleen de krimpvoegen gescheurd. Gezaagde krimpvoegen moeten we opzagen en voorzien van voegvulmassa conform KIWA-BRL 2825 [57].

Vloertypen III-V

In betonvloeren met een constructieve wapening kunnen zogenoemde buigscheuren ontstaan. Om aan de eisen m.b.t. vloeistofdichtheid te kunnen voldoen moet, conform CUR Aanbeveling 65 [62], de hoogte van de drukzone voldoen aan de volgende voorwaarden:

- 2 x de karakteristieke indringingsdiepte, bepaald volgens CUR/PBV-Aanbeveling 63 [58];
- 30 mm;
- 2 x de nominale korreldiameter (bovenmaat) van het toeslagmateriaal.

Wat betreft scheurvorming moeten we er rekening mee houden dat:

- doorgaande scheuren in betonvloeren niet zijn toegestaan. Deze voldoen - omdat sprake is van herhaald belasten en dus van een in de tijd 'bewegende' scheur - bij een wijdte van 0,1 mm al niet meer aan het criterium voor vloeistofdichtheid;
- de scheurwijdte eventueel verder wordt begrensd, afhankelijk van het type vloeistof (schadelijkheid voor mens en omgeving) en de omstandigheden (vloeistofdruk groter dan 1 à 2 m waterkolom, opslagtemperatuur, verversingssnelheid van vloeistof enz.). We kunnen dan ook overwegen de drukzonehoogte te vergroten van 50 mm tot bijvoorbeeld 80 of 100 mm.

Andere oplossingen zijn onder meer voorspanning (bijvoorbeeld $\sigma_{\text{beton}} \approx 1$ à 2 N/mm²) of extra beschermende voorzieningen onder de vloer (bijvoorbeeld een permanente monitoring) of op de vloer (bijvoorbeeld een scheuroverbruggende coating).

Bij gewapend beton met doorgaande ‘niet bewegende’ scheurvorming, ontstaat ‘zelfherstelling’ bij een scheurwijdte tot maximaal 0.20 mm. In onderstaande tabel is de relatie gegeven tussen vloeistofdruk/dikte constructie in relatie tot de maximale scheurwijdte.

Verval	Max. scheurwijdte w (mm)
≤ 2,5	≤ 0,20
≤ 5,0	≤ 0,15
> 5,0	≤ 0,10

Opm.: verval = drukhoogte vloeistof / dikte betonconstructie

Uitvoering betonvloeren

Voor alle vloertypen kan KIWA-BRL 2362:1996 [59] van toepassing zijn. Aan deze BRL moeten uitvoerende bouwbedrijven voldoen via een zogenoemd procescertificaat. Voor individuele betonkernen, genomen ter plaatse van een scheur in het betonoppervlak, eist BRL 2362 voor de ongescheurde zone een minimumhoogte van 100 mm. Diverse producten moeten onder KOMO-productcertificaat worden geleverd. Verder geldt KIWA-BRL 2369 [60]. De nieuwe uitgave van KIWA-BRL 2370 [61] heeft uitsluitend betrekking op de levering en verwerking van betonspecie. Voor het ontwerp van nieuwe vloeistofdichte betonvloeren adviseren we om gebruik te maken van CUR/PBV-Aanbeveling 65 [62]. Als een vloeistofdichte betonvloer is aangelegd zal deze in verband met de vereiste ‘Verklaring vloeistofdicht’ worden beoordeeld conform CUR/PBV-Aanbeveling 44 [63]. De CUR/PBV-Aanbevelingen zijn een nadere uitwerking van de Nederlandse Richtlijn Bodembescherming - NRB [17]. De figuren 5A t.m. 5E laten details zien van de bij vloeistofdichte vloeren en verhardingen (o.a. benzinstations) noodzakelijke afdichting van (krimp)voegen.

Voor nadere informatie over vloeistofdichte betonconstructies verwijzen we naar [64 - 67].

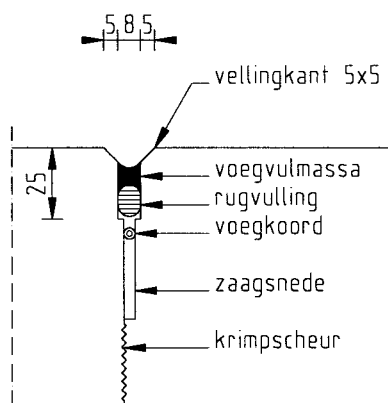
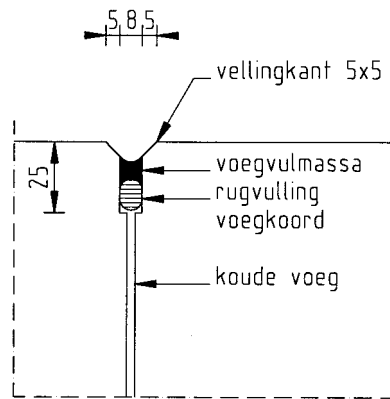


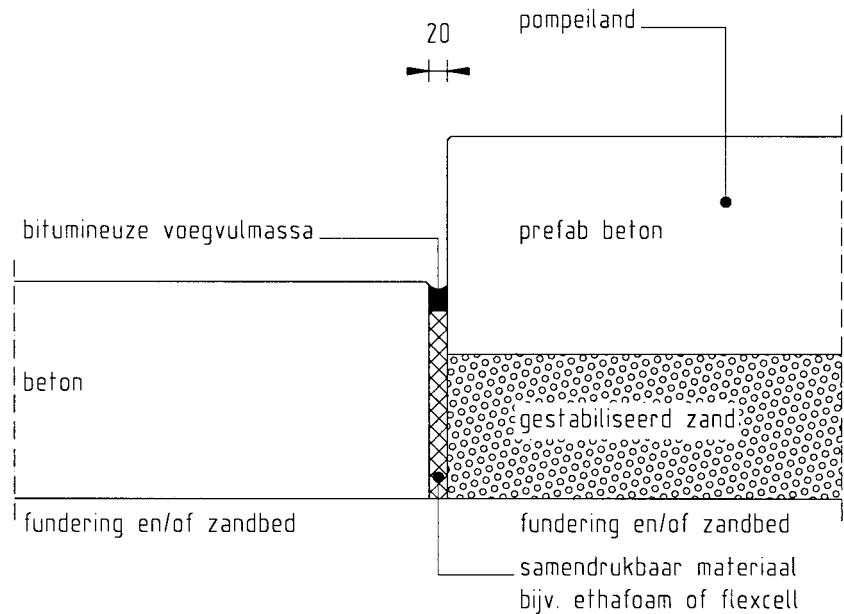
Foto 5A:
Vloeistofdichte verharding met koudgietsbare voegvulmassa bij een tankstation

Figuur 5B: Krimpdwarsvoeg en krimplangsvoeg voorzien van bitumineuze voegvulmassa, rugvulling en voegkoord

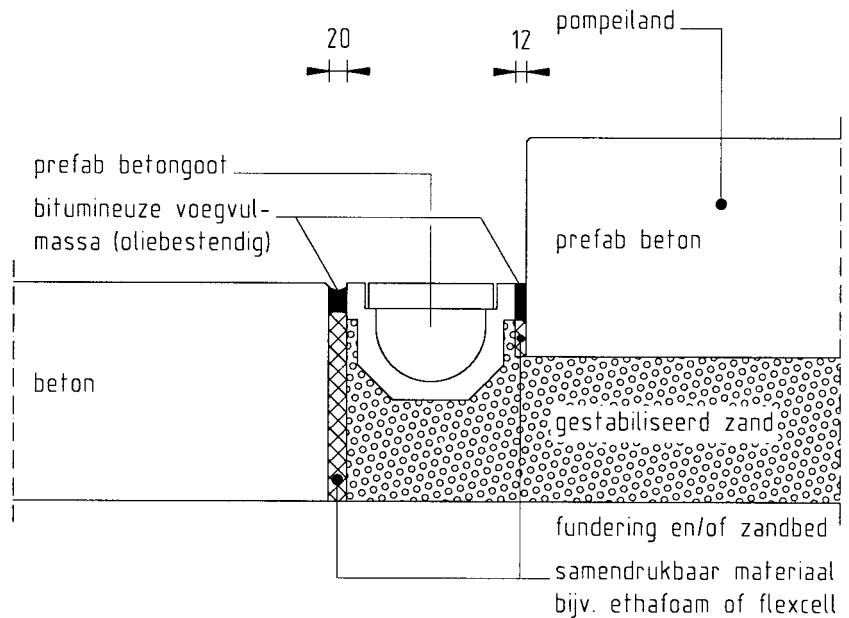
*Figuur 5C:
Constructielangvoeg voorzien van
bitumineuze voegvulmassa en
rugvulling*



*Figuur 5D:
Vloeistofdichte aansluiting
betonverharding tegen pompeiland
met afgedichte uitzetvoeg*



*Figuur 5E:
Vloeistofdichte aansluiting
betonverharding tegen pompeiland
met prefab betongoot*



Bijlage VI

Overlagen van betonnen bedrijfsvloeren en -verhardingen

Het overlagen of 'reconstrueren' van bestaande betonvloeren of -verhardingen kan nodig zijn in verband met:

- te gering draagvermogen, bijvoorbeeld als zich na ingebruikneming te hoge gebruikslasten voordoen;
- onjuiste keuzen van bouw materiaal en/of aanlegmethode;
- onacceptabele oppervlakte-eigenschappen, bijvoorbeeld qua stroefheid of vlakheid.

In dit kader hebben we het over 'dikke' betonoverlagen van ongewapend beton; dikte ten minste 70 tot 100 mm. De ontwerpdikten dienen we, afhankelijk van de vlakheid van de onderlaag, te vermeerderen met 10 tot 25 mm, conform de toleranties gegeven in artikel 31.32.01 lid 07 van [21]. Zo'n overlaag heeft in principe geen hechting met de onderlaag, bijvoorbeeld omdat mettertijd de hechting verloren kan gaan door belasting- en/of temperatuurinvloeden.

Overigens kunnen we overlagen ook wapenen met staalvezels, betonstaal (wapeningsnetten) of voorspanstaal.

Beoordeling van bestaande bedrijfsvloer of -verharding

Alvorens te overlagen moeten we de volgende aspecten beoordelen:

- de bodemgesteldheid, zowel grondmechanisch als hydrologisch (hoogte grondwaterstand), en de opbouw van de bestaande verhardingsconstructie;
- draagvermogen, via bijvoorbeeld plaatbelastingsproeven of via valgewichtdeflectiemetingen. Voor de effectieve elasticiteitsmodulus van de bovenste laag geldt:
 - gebeukt beton: $E_{dyn} = 1000-4000 \text{ N/mm}^2$;
 - elementenverharding (betontegels of betonstenen):
 $E_{dyn} = 500-1000 \text{ N/mm}^2$;
- beschikbare vrije hoogte in gebouwen en de hoogteligging van aangrenzende terreinen en gebouwen;
- economische afwegingen: de kosten van het overlagen versus de kosten van het verwijderen van de oude verharding (sloop, transport, storten of hergebruiken) inclusief de nieuwbouw;
- beschikbare tijdspanne voor de reconstructie, gelet op mogelijke verstoring van het bedrijfsproces.

Als een bestaande vloer/verharding/ondergrond onderhevig is aan ernstige (milieu)verontreiniging of de vloer zeer ongelijkmatige zettingen ondergaat, komt overlagen meestal niet in aanmerking.

Vorbewerkingen bij 'beton-op-beton'

1. De bestaande vloer/betonverharding wordt eerst machinaal gebeukt (gebroken) in delen van maximaal 0,3 tot 0,4 m², die daarna worden vlakgewalst. Zo verkrijgen we een gelijkmatige ondersteuning, waardoor we de kans op reflectiescheuren in de overlaag - vanuit bestaande voegen en wijde scheuren - beperken.
2. Voegen en scheuren wijder dan 5 mm vullen we met een bitumineus of cementgebonden materiaal.
3. De kans op reflectiescheuren kunnen we verder verminderen door de 'nieuwe' betonvloer (de overlaag) aan de onderzijde te voorzien van een

wapeningsnet van ten minste #Ø8-150 mm met een dekking van 20 à 25 mm. Alternatief vormt een bitumineuze tussenlaag. Met zo'n tussenlaag kunnen we tevens een nieuw dwarsprofiel ('herprofilering') aanbrengen, danwel hoogteverschillen overbruggen.

4. Krijgt een tussenlaag een dikte van 70 mm of meer, dan komt ook een cementgebonden materiaal in aanmerking. Gewenst is een karakteristieke kubusdruksterkte van tenminste 15 tot 20 N/mm². Het is raadzaam zo'n tussenlaag in dwars- en langsrichting te voorzien van kerven, die moeten samenvallen met het voegenpatroon van de ongewapende betonoverlaag.
5. Tot slot wordt het bestaande oppervlak schoongebezemd en voorbevochtigd voorafgaand aan het betonstorten.

Vorbewerkingen bij beton-op-betonelementen (stenen, tegels)

De elementenverharding wordt eerst gewalst - met een vrachtauto of bandenwals. Het gewicht daarvan is afgestemd op het draagvermogen en de conditie van de verharding.

Op deze manier worden aanwezige sporen, zonken en kuilen enigszins genivelleerd. Bij hoogteverschillen groter dan 20 tot 30 mm brengen we een bitumineuze uitvullaag aan. Desgewenst voeren we daarna de voorbereidingen nrs. 2 t.m. 5 (zie 'beton-op-beton') uit.

Aanbrengen betonoverlaag

De grootste korrelafmeting (D_{max}) van het toeslagmateriaal mag niet groter zijn dan 40% van de laagdikte (art. 6.2 in [1]). De gemiddelde temperatuur bij aanleg moet bij voorkeur liggen tussen 10 tot 25 °C. Het voegpatroon van de overlaag moet samenvallen met dat van de bestaande betonverharding, tenzij we een enigszins flexibele tussenlaag toepassen. Als de plaatafmeting te groot wordt - bijvoorbeeld meer dan 5,5 à 6 m - is het gebruikelijk om de voegafstand in de overlaag te halveren. De eventueel noodzakelijke langsvoeegen van (buiten)verhardingen - krimpvoegen of uitvoeringsvoegen - voorzien we vaak van koppelstaven.

Bij plaatranden langs onder meer toegangsdeuren bestaat er kans op onthechting door de inwerking van de temperatuur en voertuigbelastingen. Om dit te voorkomen boren en lijmen we soms wapeningsstaven verticaal in de bestaande betonverharding, op circa 100 à 150 mm uit de plaatrand. De staven moeten we h.o.h. 400 à 500 mm aanbrengen en daarna ombuigen en opnemen in een wapeningsnet.

Dunne cementgebonden overlaag

Een dunne overlaag - toegepast bij het herstel van oppervlaktegebreken - heeft veelal een dikte van 40 tot 70 mm. Er moet dan sprake zijn van volledige hechting. Vuistregel voor de toelaatbare schuifspanning (grenswaarde) is 60 à 70% van de rekenwaarde van de betontreksterkte (f_b). Om een blijvende hechting te bereiken, moet de ondergrond zowel droog en vet- en stofvrij als vlak (onvlakheid ten hoogste 5 mm per 2 m rei) zijn. Reinig met een hogedrukspuit en bezem grondig na. Een enigszins ruw oppervlak blijkt in het algemeen gunstig. Voor een goede hechting moeten we de mortel aanbrengen op een vochtige ondergrond na deze minimaal één etmaal te hebben voorbevochtigd. Eventueel het oppervlak 'aanbranden' met een cement-zandslurry (volumeverhouding c:z:w = 1:1:0,5) door deze in een laagdikte van circa 1 à 2 mm in te vegen. Voordat de slurry uithardt, moeten we de betonspecie aanbrengen.

Het voegpatroon van de bestaande verharding moeten we doorzetten in de overlaag:

- bij een laagdikte van 40 tot 50 mm volledig inzagen;
- bij 50 tot 100 mm dikte over circa de helft inzagen.

We zagen verhardingen meestal binnen zes tot twaalf uur na aanleg, en zeker binnen één etmaal na het betonstorten. Het juiste tijdstip hangt samen met de omgevingstemperatuur en de windsnelheid. In de overlaag brengen we eventueel een centraal wapeningsnet aan. We moeten de overlaag goed verdichten en het oppervlak dichtschuren. Na afloop moeten we het oppervlak afdekken met kunststoffolie of curing compound. Voor speciale gevallen komt vacuümbehandeling in aanmerking, mits de mengsamenstelling hierop is afgestemd.

Bevat de bestaande vloer weinig scheurtjes en is deze vlak, dan kunnen we volstaan met een dunne toplaag van reparatiemortel, veelal 20 à 25 mm dik, of beton met fijne toeslag (spramex, $D_{\max} = 8$ mm) met een dikte van 30 à 35 mm. Overigens bestaan er vloeibare mortels met zelfnivellerende eigenschappen. Het aanbrengen van mortel en betonspecie is relatief uitvoeringsgevoelig, vooral bij kleine laagdiktes.

Voor nadere informatie over overlagen verwijzen we naar [68 - 70].

Bijlage VII

Opbouw vloeren voor koel- en vriescellen

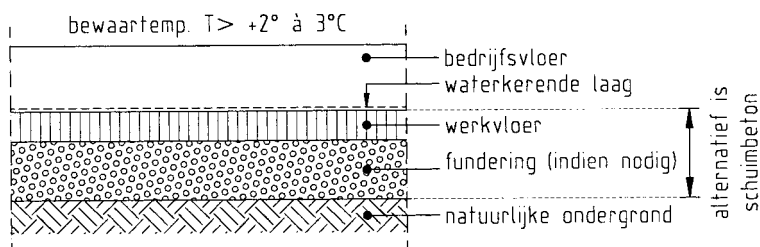
Van onder naar boven bestaat een elastisch ondersteunde vloer voor een koel- of vriescel uit [19]:

- natuurlijke ondergrond, eventueel met grondverbetering (bijvoorbeeld zandbed);
- fundering (gebonden, optioneel);
- werkvloer (optioneel, maar bij toepassing van isolatie aanbevelen);
- isolatie (bij bewaartemperaturen $< +2$ à $+3$ °C), in combinatie met een dampremmende laag (onderzijde) en een waterkerende laag (bovenzijde);
- folie (optioneel, alleen toepassen bij voegloze vloeren);
- bedrijfsvloer (constructieve draagvloer) van beton;
- slijtlaag (optioneel);
- afwerklaag (coatings etc., optioneel).

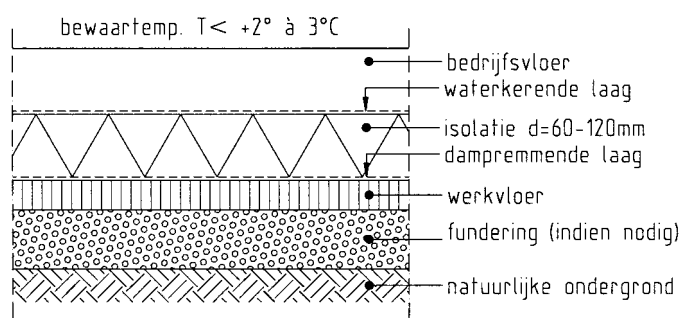
De principe-opbouw van de vloer van een koelcel is afhankelijk van de bewaartemperatuur zoals weergegeven in figuur 7A en 7B. De principe-opbouw van een vloer voor een vriescel is weergegeven in figuur 7C.

Voor de ondergrond en fundering verwijzen we naar het hoofdstuk 'Opbouw vloerconstructie'.

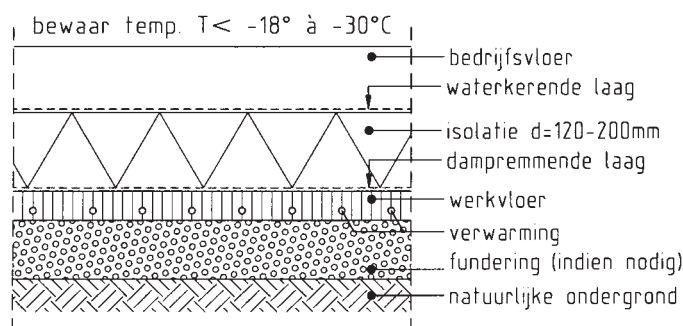
Figuur 7A:
Vloerconstructie voor een koelcel met bewaartemperatuur $T > +2$ à 3 °C



Figuur 7B:
Vloerconstructie voor een koelcel met bewaartemperatuur $T < +2$ à 3 °C



Figuur 7C: Vloerconstructie voor een vriescel



Werkvloer

Belangrijke functies van de werkvloer zijn:

- onvlakheden van de ondergrond of funderingslaag wegwerken, zodat we een isolatielaag of bedrijfsvloer kunnen aanbrengen op de werkvloer;
- het vereiste aanlegniveau fixeren.

Bij voorkeur kiezen we voor schraalbeton of schuimbeton.

De werkvloer moet qua evenwijdigheid (vlakheid) de bovengelegen bedrijfsvloer redelijk benaderen. Bij vrieshuizen brengen we verwarmingshuizen direct onder de werkvloer aan om 'doorvriezen' van de ondergrond (tot 0,5 à 2,0 m onder de werkvloer!) en bevroren van grondwater te voorkomen. Zonder deze voorziening bestaat het gevaar dat ontstane ijslenzen de vloerconstructie (met de bovenbouw!) opdrukken, wat tot onherstelbare schade leidt.

Speciaal bij bedrijfsvloeren zonder tussenliggende isolatielaag op de werkvloer geldt: voorkom ongewenste spanningen als gevolg van verhinderde vervorming.

Isolatie

Isolatie moeten we toepassen bij vriescellen alsmede bij koelcellen met een bewaartemperatuur lager dan +2 à +3 °C. Isolatie bij koelcellen blijkt economisch bij een bewaarduur van enige maanden en/of bij een hoge grondwaterstand, dat wil zeggen als de afstand van de gemiddelde hoogste grondwaterstand tot onderkant vloerconstructie kleiner is dan 1 m.

Het doel van een warmte-isolerende laag is tweeledig:

- energiebesparing (lees economische opslag), dus niet méér koelen dan strikt noodzakelijk;
- bescherming en hygiëne van de opgeslagen producten;

Bij een te kleine isolatiedikte zal de luchttemperatuur juist boven de celvloer te hoog worden. De relatieve luchtvochtigheid daalt dan plaatselijk. Onder deze omstandigheden wordt vocht aan de opgeslagen producten onttrokken, wat bij lange opslagduur ten koste gaat van de productkwaliteit. Ondeskundig aanbrengen van isolatie kan ook leiden tot condensatie op het vloeroppervlak, wat de beloopbaarheid en hygiëne ongunstig beïnvloedt. In verband met het stofvrij houden (vooral vriescellen zijn in verhouding erg 'droog') is het van belang om alle naden goed af te werken. Uit een bouwfysische berekening volgt de minimaal benodigde isolatiedikte d bij een gekozen soort isolatiemateriaal en warmtegeleidingscoëfficiënt λ , zoals weergegeven in tabel 7A. Veelal bezit de isolatielaag een warmteweerstand $R_m \geq 2 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor koelcellen en $R_m \geq 4 \text{ m}^2\text{K/W}$ voor vriescellen, waarin $R_m = d/\lambda$.

Tabel 7A: Materiaaleigenschappen
isolatiematerialen voor
bedrijfsvloeren

	ρ (kg/m ³)	f_{norm} (N/mm ²)	σ_{toel} (N/mm ²)	E_K (N/mm ²)	E_L (N/mm ²)	λ_R (W/mK)
EPS 15	15	0,08	0,02	4,0	1,0	0,040
EPS 20	20	0,12	0,03	6,0	1,5	0,038
EPS 25	25	0,17	0,04	8,0	2,0	0,036
EPS 30	30	0,21	0,05	10,0	2,5	0,035
EPS 35	35	0,26	0,06	12,0	3,0	0,035
EPS 40	40	0,30	0,07	14,0	3,5	0,035
XPS 200	25	0,2	0,06	8	3	0,030
XPS 500	38	0,5	0,12-0,18	20	6-9	0,030
XPS 700	45	0,7	0,18-0,25	25	9-12,5	0,030
SGB 06	125	0,6	0,2	120	10	0,050
SGB 08	135	0,8	0,28	150	14	0,050
SGB 12	150	1,2	0,48	250	24	0,060
PUR 35	35	0,25	0,10	6-8	5	0,028
PUR40	40	0,35	0,13	8-11	6,5	0,032

Opm:

f_{norm} = σ_{10} , korte druksterkte bij $E = 10\%$

σ_{toel} = σ_2 , lange druksterkte bij $E = 2\%$

E_L = $\sigma_{2/0,02}$, langeduur elasticiteitsmodulus

λ_R = rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt (NEN 1068)

Voor bedrijfsvloeren met grote rustende (15 - 20 kN/m²) en/of mobiele belastingen - zoals in koel- en vrieshuizen - is drukvast isolatiemateriaal vereist. De volgende soorten kunststofisolatie komen in aanmerking:

- geëxtrudeerd polystyreen hardschuim (XPS), conform DIN 18164;
- geëxpandeerd polystyreen hardschuim (EPS), conform DIN 18164;
- polyurethaan (PUR) met een dichtheid van minimaal 35 kg/m³.

Voor de soms zwaarbelaste vloeren van koel- en vrieshuizen adviseren we isolatieplaten van XPS. Deze platen hebben een gesloten celstructuur, waardoor geen vocht kan worden opgenomen. De relatief hoge E_L (elasticiteitsmodulus bij langeduurbelasting) van XPS voorkomt onvlakheid van de bedrijfsvloer onder invloed van zware, geconcentreerde of lijnbelastingen die langdurig aanwezig kunnen zijn. Schuimglas (SGB) wordt vanwege de hoge prijs weinig toegepast. Tabel 7A geeft een overzicht van de belangrijkste eigenschappen van deze isolatiematerialen.

Bij koelcellen met bewaartemperaturen boven 2 à 3 °C worden vaak minder strenge eisen gesteld aan het isolatiemateriaal. In dit geval kunnen we ook schuimbeton ($\rho = 500$ à 600 kg/m³, $\lambda = 0,13$ W/mK bij 70% RV)

toepassen. Het voordeel van schuimbeton is dat het fundering en isolatie in zich combineert. Andere voordelen van schuimbeton zijn samengevat [26]:

- E -modulus (schuimbeton) \gg E -modulus (isolatie): lichtere bedrijfsvloer mogelijk;
- het in het werk gegoten schuimbeton sluit naadloos aan op de ondergrond en is aan de bovenzijde vlak.

Waterkerende- en dampremmende lagen

Direct boven de isolatielaag moeten we een waterkerende, maar dampdoorlatende laag - bijvoorbeeld een (dubbele) laag PE-folie (elk 0,1 mm dik) - aanbrengen met als functies:

- het voorkomen dat de isolatie nat wordt en dat cementwater wegsijpelt tussen de naden van de isolatieplaten;
- tegengaan van wateronttrekking uit de betonspecie;
- verminderen van de wrijving tussen bedrijfsvloer en isolatie. De dubbele laag folie heeft een optimale reductie tot gevolg.

Onder de isolatielaag (eventueel ter plaatse van onderkant werkvloer of fundering) moeten we een sterk dampremmende laag - bijvoorbeeld aluminiumfolie bestaande uit twee lagen aluminium met een linnen wapening - aanbrengen als wering tegen optrekkend vocht. Dampremming moet vochttransport van onder naar boven (van 'warm' naar 'koud') tegengaan.

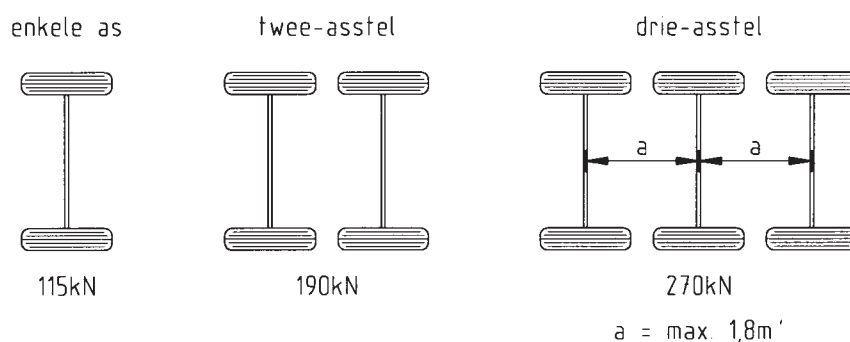
De waterkerende laag direct onder de bedrijfsvloer moet de wrijving enigszins verminderen. Immers de betonvloer wil bij afkoeling en opwarmen vervormen, wat zo 'spanningsvrij' mogelijk moet gebeuren. Dit speelt ook direct na aanleg, als het beton krimpt door afkoeling (na opwarming door de hydratatiewarmte) en door vochtverlies. Dit is speciaal van belang bij uitgestrekte, voegloze vloeren. Om opgelegde vervormingen in koel- en vriescellen te beperken moet het afkoelen zeer geleidelijk gebeuren. Vuistregel: 1 à 1,5 °C temperatuurverlaging per etmaal.

Bijlage VIII

Verhardingsklassen betonwegenbouw

Volgens de wettelijke bepalingen in Nederland is het maximum voertuig(combinatie)-gewicht 50 ton (massa 500 kN). Vrachtwagens kunnen uitgerust zijn met enkele assen, maar ook met twee- en drieasstellen. Van de assen kunnen één of meer assen zijn aangedreven. Figuur 8A geeft een overzicht van de verschillende asconfiguraties. De tabellen 8A t.m. 8C geven de getalswaarden.

Figuur 8A:
Drie verschillende asconfiguraties



Tabel 8A
Wettelijk toegestane
asdrukken op openbare
wegen in Nederland [71]

Asconfiguratie	Max. treinbelasting (kN)	Max. aslast(kN)
Enkelvoudige as		
- aangedreven as	115	115
- niet-aangedreven	100	100
Tweeasstellen		
- asafstand tot 1,80 m	180	90
- indien met luchtvering	190	95
Drieasstellen		
- asafstand tot 1,80 m	240	80
- indien met luchtvering	270	90

Tabel 8B
Verhardingsklassen
in relatie tot
categorie-indeling
voor voertuigen op
de openbare weg [29]

Verhardings- klasse	Maximum- aslast (kN)	Verhardings- breedte (m)	Vrachtauto's/ etmaal/richting	Aantal dagen/jaar	Sterkteklasse beton
1a	200	≥ 12,50	5000 - 10000	270	B 45
1b	200	10,45 - 12,50	1500 - 5000	270	B 45
2	180	7,00 - 7,50	400 - 1500	250	B 45
3	160	5,00 - 6,40	80 - 400	250	B 35
4	140	4,00 - 4,50	10 - 80	250	B 35
5	120	3,00 - 3,50	< 10	250	B 35

Tabel 8C
Aslastenspectra
(% per aslastgroep) [29]

Aslastgroep (kN)	Verhardingsklasse					
	1a	1b	2	3	4	5
0 - 20	4,0	4,0	6,5	6,5	7,6	7,6
20 - 40	15,0	15,0	23,5	23,5	25,0	63,7
40 - 60	26,0	26,0	29,5	29,5	46,5	22,2
60 - 80	27,0	27,0	19,0	28,0	16,2	4,6
80 - 100	14,0	14,0	14,8	9,7	3,4	1,4
100 - 120	8,4	8,4	5,2	2,0	1,0	0,5
120 - 140	4,4	4,4	1,1	0,6	- 0,3	-
140 - 160	1,0	1,0	0,3	0,2	-	-
160 - 180	0,12	0,12	0,1	-	-	-
180 - 200	0,08	0,08	-	-	-	-

Trefwoorden

afwerkvloer	Blz. 20	inlay	Blz. 76
arbeidsomstandigheden	56	isolatie	78
aslastklasse	82	isolatiedeken	67
beddinggetal	14	kerfdiepte	15
begaanbaarheid	56	koppelstaaf	33
bekisting	16	krimp	35
belastingen	35	krimpspanning	65
besteksdikte	50	krimpvoeg	26
bestendigheid (chemisch)	12	kruip	18
betondekking	28	kunstharsgebonden	22
betonspecie	51	kunststoffolie	17
betonsterkteklasse	42	langsvoeg	31
betontemperatuur	18	lastoverdrachtfactor	34
betonwegenbouw	82	luchtband	39
boven-/onderwapening	25	magazijnstelling	35
buigtaaiheidswaarde ($R_{1,5}$)	43	maximum aslast	37
buigtreksterkte	41	milieuklasse	41
CBR-waarde	14	mobiele last	37
cementgebonden	20	monolietvloer	20
cementsoort	41	nabehandeling	54
coating	23	natuurlijke ondergrond	13
consistentie	52	omgevingstemperatuur	55
contactdruk	39	ongewapend beton	41
contactoppervlak	39	ontspannen (fundering)	15
container	39	ontwerplevensduur	44
conusweerstand	13	onvlakheid	6
curing compound	54	overlaging	75
dekvloer	20	pantserrekvloer	21
deuvel	33	procescertificaat	51
dimensionering	45	productcertificaat	51
draagkrachtklasse	14	reachtruck	21
dwarsvoeg	31	reinigbaarheid	20
elasticiteitsmodulus (E_{dyn})	15	relatieve vochtigheid	55
equivalentie straal-contactoppervlak	39	renovatie	56
erosie	6	ruwheid	8
fundering	14	scheurwijdte	73
gasdichtheid	80	schotelen	19
geconcentreerde last	35	schuimbeton	16
geleidend vermogen (elektrisch)	12	schuurmachine	53
gewapend beton	24	slijtlaag	77
grondwaterstand	16	slijtvastheid	6
heftruck	38	slipformpaver	16
hefvermogen	38	software (VENCIN, FLOOR)	45
hydrofobeermiddel	22		

	Blz.
spectrum (aslast, temperatuur)	43
staalvezels	43
stellingpoten	35
stroefheid	9
temperatuurgradiënt	35
trilrei	52
troffelvloer	23
uitdrogingskrimp	65
uitvoering	51
uitvoeringstolerantie	50
verdampingssnelheid	54
verhardingsklasse	82
verhardingskrimp	35
vermoeiingssterkte	43
vervormingen (temperatuur, krimp)	18
verwerkbaarheid	52
vezeltype	43
vlakheidsklasse	60
vlindersen	53
vloeistofdicht	71
vloerklasse	54
vloertype	24
vloerveld	26
voegdetailering	30
voegpatroon	31
voegovergang	50
voegvulmateriaal	30
volrubberband	39
voorspanning (VZA, VMA)	28
vrije rand	34
wapeningsnet	24
waterafscheiding	65
waterafvoer	10
watercementfactor	68
wegtype	37
werkvloer	13
windsnelheid	68
wrijving	17
zandbed	13
zetmaat	52
zettingen	17

Belangrijke adressen

BETONbank

Lookant 2d
Postbus 201
3970 AE DRIEBERGEN
Telefoon (0343) 524 070, telefax (0343) 524 077

Betonvereniging

Postbus 411
2800 AK GOUDA
Telefoon (0182) 53 92 33, telefax (0182) 53 75 10

Stichting CROW

Postbus 37
6710 BA EDE
Telefoon (0318) 62 04 10, telefax (0318) 62 11 12

Stichting CUR

Postbus 420
2800 AK GOUDA
Telefoon (0182) 54 06 00, telefax (0182) 54 06 01

Certificatie-instelling Stichting BMC

Postbus 150
2800 AD GOUDA
Telefoon (0182) 53 23 00, telefax (0182) 57 02 16

Kiwa N.V. Certificatie en Keuringen

Postbus 70
2280 AB RIJSWIJK
Telefoon (070) 414 40 00, telefax (070) 414 44 20

Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut KNMI

Postbus 201
3730 AE DE BILT
Telefoon (030) 220 67 24, telefax (030) 221 16 41
BouwWeerlijn: (0900) - 2 008 003 (f 1,- p.m.)

Stichting Bouwkwiteit (SBK)

Treubstraat 1
2288 EG RIJSWIJK
Telefoon (070) 399 84 67, telefax (070) 390 29 47

Stichting Vloerkeur

Kosterijland 14a
3981 AJ BUNNIK
Telefoon (030) 657 05 38, telefax (030) 657 18 53

Nederlands Informatiecentrum Bodembeschermende Voorzieningen (NIBV)

Postbus 61
3440 AB WOERDEN
Telefoon (0348) 41 21 89, telefax (0348) 42 25 23

Stichting Arboww

Postbus 8114
1005 AC AMSTERDAM
Telefoon (020) 580 55 80, telefax (020) 580 55 55

Nederlands Verbond van Ondernemers in de Bouwnijverheid (NVOB)

Postbus 320
3740 AH BAARN
Telefoon (035) 542 79 11, telefax (035) 541 10 44

Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI)

Postbus 5059
2600 GB DELFT
Telefoon (015) 269 03 90, telefax (015) 269 01 90

**Bedrijfschap Stukadoors-, Terrazzo- en Steengasstellersbedrijf:
afbouwbedrijf (STS)**

Postbus 375
3440 AJ WOERDEN
Telefoon (0348) 42 08 44, telefax (0348) 43 01 23

Vereniging Terrazzo- en Vloerenbedrijven (VTV)

Clovenier 1
3905 PM VEENENDAAL
Telefoon (0318) 50 00 15, telefax (0318) 50 00 95

Orde van Nederlandse Raadgevende Ingenieurs (ONRI)

Koninginnegracht 22
2514 AB 's-GRAVENHAGE
Telefoon (070) 363 07 56, telefax (070) 360 06 61

Bond van Fabrikanten van Betonproducten in Nederland (BFBN)

Postbus 194
3440 AD WOERDEN
Telefoon (0348) 41 09 44, telefax (0348) 41 98 15

Stichting Arbeidstechnisch Onderzoek Bouwnijverheid (SAOB)

Postbus 427
6710 BK EDE
Telefoon (0318) 65 08 50, telefax (0318) 65 04 57

Stichting Schuimbeton Nederland (SSN)

Postbus 3461
5203 DL 's-HERTOGENBOSCH
Telefoon (073) 640 12 44, telefax (073) 640 12 99

Vereniging Nederlandse Cementindustrie (VNC)

Postbus 3011
5203 DA 's-HERTOGENBOSCH
Telefoon (073) 640 12 87, Beton-info-fax (073) 640 12 84
E-mail: betoninfo@enci.nl Internet: <http://www.enci.nl>

Vereniging van Cementbeton Wegenbouwers (VCW)

Postbus 588
2800 AN GOUDA
Telefoon (0182) 53 82 48, telefax (0182) 54 06 01

Vereniging van Ondernemingen van Betonmortelfabrikanten in Nederland (VOBN)

Postbus 201
3970 AE DRIEBERGEN
Telefoon (0343) 524 060, telefax (0343) 524 066

Regionale Centra voor Betonmortelfabrikanten

Stichting Betoncentrum Noord Nederland
Aduarderdiepsterweg 8a
9745 EL HOOGERKERK
Telefoon (050) 551 55 15, telefax (050) 551 53 62

Stichting Betonmortel informatiecentrum oost en midden Nederland

(Probeton)
Postbus 716
7400 AS DEVENTER
Telefoon (0570) 68 79 75, telefax (0570) 63 52 88

EVO, Ondernemersorganisatie voor logistiek en transport

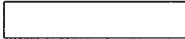
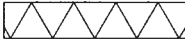











Postbus 350
2700 AJ ZOETERMEER
Telefoon (079) 346 73 46, telefax (079) 346 78 00
E-mail: EVO@evo.nl

Transport en Logistiek Nederland

Afdeling Techniek en Transport
Postbus 3008
2700 KS ZOETERMEER
Telefoon (079) 683 31 11, telefax (079) 683 33 00

Nog meer adressen vindt u in 'Zoeklicht op de betonwereld', een uitgave van de Stichting BetonPrisma. Een gratis exemplaar kunt u aanvragen via tel.: (073) 640 12 22.

Legenda tekeningen

	ter plaatse gestort beton / geprefabriceerd beton
	isolatie
	werkvloer / stelspecie
	schraalbeton / gestabiliseerd zand / steenfundering
	zandbed
	natuurlijke ondergrond
	staal (blanco bij aanzicht)
	flexcell of ethafoam
	voegvulling
	rugvulling
	voeg
	krimpscheur
	afbreeklijn

Beton
Daar maak je 't mee.

VNC

Vereniging Nederlandse Cementindustrie
Postbus 3011
5203 DA 'S HERTOGENBOSCH
Telefoon (073) 640 12 52
Beton Info Fax (073) 640 12 84