



Onderzoek naar toepassing van Duomix

Bureauonderzoek naar toepassing van Duomix in Nederland en beoordeling van risico's aan de toepassingen

11 februari 2025

Kenmerk

R001-1297813MLX-V01-aao-NL

Verantwoording

Titel	Onderzoek naar toepassing van Duomix
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Projectleider	Robin Kelder
Auteur(s)	Marian Langevoort, Edward Wacker en Jaap Steketee
Kenmerk	R001-1297813MLX-V01-aao-NL
Aantal pagina's	23 (exclusief bijlagen)
Datum	11 februari 2025
Handtekening	Ontbreekt in verband met digitale verwerking. Dit rapport is aantoonbaar vrijgegeven.

Colofon

TAUW bv
Handelskade 37
Postbus 133
7400 AC Deventer
T +31 57 06 99 91 1
E info.deventer@tauw.com

Inhoud

Samenvatting.....	4
1 Inleiding	7
2 Toepassingen in de praktijk.....	8
2.1 Te onderscheiden toepassingen	8
2.2 Afzet van Duomix	9
2.3 Achterhaalde informatie over toepassingen en ervaringen	9
3 Toepassingsvoorwaarden	11
3.1 Landelijke wet- en regelgeving.....	11
3.2 Instructies van de producent	12
4 Risico's aan de toepassingen.....	14
4.1 Vergelijking toepassingen Duomix met uitgangspunten normen Rbk	14
4.2 Evaluatie mineralogische omzettingen en praktijkwaarnemingen.....	15
4.3 Risicobeoordeling.....	16
4.3.1 RIVM-onderzoek fietspaden Drenthe.....	16
4.3.2 Ingestie.....	17
4.3.3 Stofvorming	17
4.3.4 Hoge pH	17
4.3.5 Vermenging van bouwstof en grond	18
4.3.6 Lange termijngedrag van de bouwstof	18
5 Conclusies	18
5.1 Onderzoeksvraag	18
5.2 Conclusie gebruik van Duomix in Nederland	19
5.3 Conclusie risico's bij toepassen van Duomix	20
6 Referenties	22
 Bijlage 1 Onderzoeksopzet	
Bijlage 2 Producten met LD-staalslakken	
Bijlage 3 Achtergrond project Koningsplein Den Haag	
Bijlage 4 Landelijke wet- en regelgeving voorafgaand aan de Omgevingswet	
Bijlage 5 Voorbeelden van decentrale regelgeving	
Bijlage 6 Brochure Duomix toepassing als fundering (periode Bouwstoffenbesluit)	
Bijlage 7 Mineralogische reacties en praktijkonderzoek	

Samenvatting

Aanleiding en doel

Aanleiding voor dit onderzoek is de uitvoering die het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat geeft aan de motie van het Tweede kamerlid Kostic (d.d. 10 april 2024, 31 209 Nr. 256).

Het doel van dit onderzoek is een beeld te krijgen van het gebruik van Duomix in Nederland en in te schatten of de toepassingen leiden tot negatieve effecten op het milieu en de gezondheid.

Onderzoeksopzet

Voor het achterhalen van het type toepassingen met Duomix in Nederland is informatie onttrokken uit openbare bronnen. Daarnaast zijn diverse partijen gesproken; dit betreffen 10 gemeenten/omgevingsdiensten, 3 opdrachtgevers en 3 leveranciers/grondstoffentussenhandelaars. Voor het inschatten van de risico's is gebruik gemaakt van beschikbare literatuur.

Toepassingen van Duomix in Nederland

Duomix wordt al meer dan 30 jaar in Nederland toegepast. In de periode tussen 2010 en 2017 werd jaarlijks door Pelt & Hooykaas circa 100.000 ton per jaar Duomix afgezet. Hierna is de afzet afgenomen tot circa 20.000 ton/jaar.

Het materiaal Duomix vindt zijn toepassing in de wegenbouw. Duomix is een mengsel van LD-staalslak en gegraneerde hoogovenslak en wordt geleverd in verschillende fracties: 0-8 mm, 0-22 mm en 0-31,5 mm. Naast Duomix zijn er ook nog diverse soortgelijke producten waarin staalslakken zijn verwerkt (bijvoorbeeld BGS-base of Koersfietspaden(KFP)-mix), die worden toegepast in de wegenbouw. Daarnaast zijn er ook bouwstoffen die gedeeltelijk bestaan uit Duomix.

Uit de interviews blijkt dat de volgende toepassingen in Nederland te onderscheiden zijn:

- Toepassing als halfverharding. Het betreft hier veelal een toepassing van Duomix van 10 tot 15 cm dikte op een zandbed. Het betreft veelal paden welke gebruikt worden door voetgangers of fietsers in bijvoorbeeld parken, begraafplaatsen en natuurgebieden
- Toepassing als fundering onder een gesloten, element-verharding. De wegverharding kan bestaan uit asfalt, tegels of klinkers. Het gaat om fietspaden, inritten tot wegen van woonwijken, doorgaande wegen en zelfs industrieterreinen die zwaarder worden belast

Bij zowel de toepassing als halfverharding als fundering wordt een goed aangebrachte laag Duomix hard.

Met uitzondering van één gemeente, zijn in alle geïnterviewde gemeenten toepassingen bekend met Duomix. Er zijn bij deze gemeenten en de geïnterviewde leveranciers, buiten de toepassing van Duomix in Den Haag aan het Koningsplein, geen toepassingen van Duomix met problemen bekend.

Instructies van de producent

Pelt & Hooykaas is de enige leverancier van Duomix in Nederland en zij leveren Duomix aan aannemers en bouwgrondstoffenhandelaars. Bij de levering van Duomix worden toepassingsinstructies gegeven. Uit navraag blijken de bouwgrondstoffenhandelaars veelal te leveren aan aannemers die de plaatselijke markt bedienen. Aannemers krijgen van de bouwgrondstoffenhandelaars veelal geen instructies mee over hoe Duomix het beste kan worden toegepast, omdat de aannemers al bekend zijn met de instructies. Belangrijk is dat de toepassingsinstructies bij de aanleg worden nageleefd. Dit geldt vooral voor de eis voor het vochtgehalte bij aanleg, zodat het materiaal hard wordt.

Wet- en regelgeving

Op de toepassing van Duomix is landelijke wet- en regelgeving van toepassing (Besluit activiteiten leefomgeving, Besluit en Regeling bodemkwaliteit). Burgemeester en Wethouders kunnen in het omgevingsplan aanvullende regels opnemen. Duomix is een gecertificeerde bouwstof die voldoet aan de kwaliteitseisen uit de Regeling bodemkwaliteit.

Beschouwing risico's

Om te onderzoeken of de toepassingen van Duomix in Nederland leiden tot risico's is een vergelijking gemaakt tussen de voorkomende toepassingen van Duomix in Nederland en de uitgangspunten van de normen in de Regeling bodemkwaliteit. Over het algemeen vallen de toepassingen met Duomix binnen de uitgangspunten die zijn gebruikt bij het afleiden van de normen.

Aspecten die bij de afleiding van de wettelijke normen voor bouwstoffen niet zijn beschouwd zijn ingestie en blootstelling aan stof:

- Ingestie is in specifieke open toepassingen een risico voor kinderen. In toepassingen als funderingen die zijn afgedekt met een andere bouwstof (verhardingslagen en dergelijke) is direct contact niet mogelijk
- Blootstelling aan stof kan optreden bij het transport en aanbrengen van het materiaal. Als aan de voorwaarden bij aanleg worden voldaan, wordt het materiaal hard en is er na uitharding van stofvorming geen sprake meer

Voor de beschouwing van de risico's zijn de mogelijke mineralogische omzettingen die op kunnen treden beschreven en is informatie betrokken uit een onderzoek naar fietspaden met Koers fietspaden(KFP)-mix en Duomix. Er wordt beoordeeld dat:

- Tijdens de beginperiode van de toepassing is er een afname van de emissie van metalen. De pH blijft onveranderd of stijgt in beperkte mate
- Op langere termijn daalt de pH tot neutrale waarden en volgt een afname van de bariumemissie (op basis van praktijkwaarnemingen) en mobilisatie van vanadium
- Uit praktijkonderzoek blijkt dat de pH in bodem en grondwater onder of nabij de toepassing van KFP-mix niet zijn verhoogd. De vanadiumgehalten onder de toepassing zijn hooguit licht verhoogd (binnen de achtergrondwaarde).

In de bermen zijn de vanadiumgehalten in een deel van de monsters sterk verhoogd. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is dat er vermenging is opgetreden van bouwstof en grond.

Conclusie risico's

Samenvattend kan worden gesteld dat voor de meeste toepassingen van Duomix en vergelijkbare producten geen bijzondere risico's gelden. Echter zijn de volgende aandachtspunten te formuleren.

Bij de afleiding van normen voor bouwstoffen is ingestie niet beschouwd

Als er ingestie plaatsvindt is er een theoretisch risico voor de gezondheid. Dit zou kunnen gebeuren wanneer het materiaal niet hard is geworden bij een toepassing als halfverharding, op een locatie waar contact met het materiaal mogelijk is door kwetsbare gebruikers. Een toepassing als halfverharding in bijvoorbeeld fiets- of wandelpaden is uit risico-oogpunt mogelijk.

Bij transport en onjuiste toepassingswijze treedt stofvorming op

Het is bekend dat het stof van staalslakken sterk irriterend is. Stofvorming speelt primair een rol bij het transport en aanbrengen van het materiaal (als het droog is). Als Duomix op de juiste wijze wordt toegepast wordt het hard waarna geen stofvorming optreedt.

De toepassingsinstructies dienen verstrekt en nageleefd te worden

De leverancier levert Duomix met toepassingsinstructies aan aannemers en bouwgrondstoffenhandelaars. Aannemers die afnemen bij bouwgrondstoffenhandelaars zijn veelal al bekend met de instructies. Via de bouwgrondstoffenhandelaars is het niet uitgesloten dat Duomix aan particulieren geleverd wordt. Ook zij zullen bij toepassing van Duomix de voorschriften van de producent moeten naleven.

Bij toepassingen kan vermenging van grond en bouwstof optreden

In toepassingen moet worden voorkomen dat de bouwstof en grond vermengd raken. Voor fijne Duomix gradaties dient te worden nagegaan hoe beter geborgd kan worden dat vermenging wordt voorkomen. Voor grovere graderingen, zoals toegepast in zwaardere funderingen, is dit niet nodig.

Op dit moment zet Pelt & Hooykaas Duomix alleen op de markt voor toepassing als funderingsmateriaal en niet meer als halfverharding. Het contact tussen mens en bouwstof en vermenging van bouwstof met grond, treden op bij de toepassing van Duomix als halfverharding. Via grondstoffentussenhandelaars is de toepassing als halfverharding nog wel mogelijk. Ook is de toepassing als halfverharding niet wettelijk uitgesloten, mits aan de eisen en voorschriften wordt voldaan.

1 Inleiding

In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft TAUW een bureauonderzoek uitgevoerd naar het gebruik van Duomix in Nederland en effecten beoordeeld die in die toepassingen kunnen optreden op het milieu en de gezondheid.

Aanleiding en doel

Aanleiding voor dit bureauonderzoek is de uitvoering die het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat geeft aan de motie van het Tweede kamerlid Kostic (d.d. 10 april 2024, 31 209 Nr. 256).

De motie verzoekt de regering om op korte termijn onafhankelijk te laten onderzoeken of het gebruik van Duomix in de praktijk negatieve effecten heeft op het milieu en de gezondheid, en parallel daaraan te onderzoeken of de toepassing ervan eventueel verboden kan worden.

Aanleiding voor deze motie is de constatering:

- Dat de gemeente Den Haag onlangs is gestopt met het gebruik van Duomix omdat er te veel zorgen zijn over de impact op gezondheid en milieu
- Dat het RIVM zorgen signaleert over de impact van zulke materialen op de gezondheid en dat zulke zorgen in meerdere gemeente spelen.

TAUW heeft als onafhankelijk adviesbureau onderzoek gedaan naar het gebruik van Duomix in de praktijk met als **doel** een beeld te krijgen van het gebruik van Duomix in Nederland en in te schatten of de toepassingen leiden tot negatieve effecten op het milieu en de gezondheid. Het onderzoeken of de toepassing eventueel verboden kan of zou moeten worden, maakt geen onderdeel van uit van onze opdracht.

Onderzoeksopzet

Voor het achterhalen van het type toepassingen met Duomix in Nederland is informatie onttrokken uit openbare bronnen. Daarnaast zijn diverse partijen gesproken; dit betreffen 10 gemeenten/omgevingsdiensten, 3 opdrachtgevers en 3 leveranciers/grondstoffentussenhandelaars. In bijlage 1 is in meer detail ingegaan op de onderzoeksopzet.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 zijn de toepassingen van Duomix in Nederland beschreven. In hoofdstuk 3 is een overzicht opgenomen van de toepassingsvoorwaarden die gelden, enerzijds vanuit wet- en regelgeving en anderzijds vanuit de verwerkingseisen die worden meegegeven vanuit de leverancier. In hoofdstuk 4 is een beschouwing opgenomen van de risico's.

2 Toepassingen in de praktijk

Duomix is een mengsel van LD-staalslak en gegranuleerde hoogovenslak dat in Nederland sinds ruim 30 jaar onder deze naam wordt toegepast als bouwstof. Duomix wordt op de markt gebracht door Pelt & Hooykaas, een producent en leverancier van secundaire bouwstoffen. Duomix wordt toegepast in de wegenbouw en is daarvoor gecertificeerd conform BRL 9310 (toepassing in de wegenbouw als funderingslaag) en BRL 9345 (toepassing in GWW-werken). Daarnaast voldoen de producten aan de eisen (onder meer in samenstelling van organische verontreiniging en uitloging van zware metalen en vier anionen) van het Besluit bodemkwaliteit.

Naast Duomix zijn er nog diverse andere producten met staalslakken die toepasbaar zijn in de wegenbouw, zoals LD-mix en BGS-toepassingen. Daarnaast zijn er ook diverse producten waarin Duomix is verwerkt, zoals Koers FietsPadenmix (KFP-mix) of straatmix (deze worden geleverd door bouwgrondstoffenhandelaars). In bijlage 2 is de positionering van Duomix binnen de secundaire bouwstoffen met staalslakken nader toegelicht en worden vergelijkbare producten en producten met Duomix beschreven.

Uit de gevoerde gesprekken volgt dat de kennis over de verschillende toepassingen met staalslakken c.q. productnamen uiteenloopt bij gemeenten/omgevingsdiensten en opdrachtgevers. Soms worden de verschillende productennamen door elkaar gebruikt (er wordt bijvoorbeeld gesproken over toepassingen met BGS-pad en dat beschouwt als Duomix). Ook over het type toepassing (halfverharding of funderingslaag) ontstaat soms spraakverwarring, maar minder vaak als over de productnaam.

Duomix wordt geleverd in verschillende fracties: 0-8 mm, 0-22 mm en 0-31,5 mm. De kleinste fractie van Duomix 0-8 mm bestaat voor 76-83 % (m/m) uit LD-staalslak en 17-24 % (m/m) gegranuleerde hoogovenslak. De fracties 0-22 en 0-31,5 mm bevatten een hoger percentage (tot 96-98 %) LD-staalslak en een lager percentage gegranuleerde hoogovenslak.

De fijnste fracties worden gebruikt voor wegen met de minste belasting, zoals wandel- en fietspaden. De fractie 0-22 mm is bedoeld voor fundatie van wegen in woonwijken en de fractie 0-31,5 mm is leverbaar sinds begin 2024 en bedoeld voor de fundatie van zwaar belaste wegen.

2.1 Te onderscheiden toepassingen

Uit de opgehaalde informatie blijkt dat de volgende toepassingen in Nederland te onderscheiden zijn:

- Toepassing als halfverharding. Het betreft hier veelal een toepassing op een zandbed (ordegrootte 10 cm) van Duomix van 10 tot 15 cm dikte. Het betreft veelal paden welke gebruikt worden door voetgangers of fietsers in bijvoorbeeld parken en begraafplaatsen
- Toepassing als fundering onder een verharding. De weg kan bestaan uit asfalt, tegels of klinkers. Het gaat om fietspaden, inritten tot wegen van woonwijken, doorgaande wegen en zelfs industrieterreinen die zwaarder worden belast. Ook bij de toepassing als fundering gaat het om Duomix in laagdikte van 10 tot enkele tientallen cm

Jaarlijks wordt er circa 20.000 ton Duomix in Nederland toegepast. Dit is (rekening houdend met een gemiddelde dichtheid van circa 2.000 kg/m³) 10.000 m³ Duomix per jaar. In een toepassing als halfverharding van een wandel-/fietspad met lengte van 1 km, breedte van 1 m en een toepassingsdikte aan Duomix van 15 cm, gaat in totaal 150 m³ Duomix. Als alle jaarlijks toegepaste Duomix in één toepassing met dergelijke breedte en dikte zou worden verwerkt, is de lengte van dat pad ruim 65 km. Echter een deel vindt ook haar toepassing als fundering, welke meestal een grotere breedte hebben dan als die van een wandelpad. Dit rekenvoorbeeld betreft de jaarlijkse toepassing. Duomix wordt al meer dan 30 jaar toegepast. Er wordt geconcludeerd dat er veel paden en wegen in Nederland zijn waarin Duomix is toegepast.

2.2 Afzet van Duomix

Duomix is door de jaren heen gebruikt als toplaag (halfverharding, bermverharding), funderingslaag of stelspecie voor bijvoorbeeld trottoirbanden. Op dit moment zet Pelt & Hooykaas Duomix alleen op de markt voor toepassing als funderingsmateriaal. In het verleden werd het materiaal ook verkocht als mogelijke toepassing voor halfverharding en/of bermverharding. In de periode tussen 2010 en 2016/2017 is Duomix veelvuldig toegepast als funderingsmateriaal voor wegen bij de aanleg van Vinex wijken. In deze periode werd jaarlijks door Pelt & Hooykaas 100.000 ton per jaar Duomix afgezet. Daarna is de afzet afgenomen tot circa 20.000 ton/jaar.

Pelt & Hooykaas levert Duomix aan aannemers en bouwgrondstoffenhandelaars. Momenteel wordt de Duomix geleverd met een milieuverklaring waarin nadrukkelijk is vermeld waarvoor het product mag worden toegepast. Daarnaast wordt per partij een certificaat met uniek nummer geleverd met daarop de geleverde hoeveelheid. De levering van Duomix gaat gepaard met verstrekking van toepassingsinstructies (zie paragraaf 3.2). Pelt & Hooykaas levert niet direct aan particulieren. Bouwgrondstoffenhandelaars bedienen veelal de plaatselijke markt. Ze leveren aan aannemers die het in gemeentelijke projecten toepassen, maar ook aan hoveniers die het toepassen in hun projecten. De handelaars geven in interviews aan niet of nauwelijks particuliere afnemers te hebben. Aannemers krijgen van de bouwgrondstoffenhandelaars veelal geen instructies mee over hoe Duomix het beste kan worden toegepast, omdat de aannemers al bekend zijn met de toepassingsinstructies.

2.3 Achterhaalde informatie over toepassingen en ervaringen

Er is voor gemeenten geen verplichting om toepassingen van (producten bestaand uit) staalslakken te registreren. Het gaat immers om een vrij toepasbare bouwstof, waarop tot op heden geen registratieplicht rust. Als de bouwstoffen voldoen aan de eisen uit het Besluit bodemkwaliteit, mag de bouwstof worden toegepast. De milieuhygiënische kwaliteit wordt veelal bewezen met productcertificaten. Bij de afdelingen bodem/milieu van gemeenten is veelal weinig tot geen informatie beschikbaar over de locaties van toepassingen van secundaire bouwstoffen binnen de gemeente. Veelal kan de meeste informatie worden verkregen van de afdeling infrastructuur en/of de wegbeheerder die soms een overzicht hebben van de toegepaste bouwstoffen (in het kader van toekomstige herontwikkelingen of onderhoud). Het verschilt per gemeente sterk hoeveel bekend is over toepassingen van secundaire bouwstoffen en daarmee ook Duomix binnen de gemeente.

Met uitzondering van één gemeente, zijn in alle geïnterviewde gemeenten toepassingen bekend met Duomix. Er zijn aan deze gemeenten geen meldingen over problemen met de toepassingen met Duomix gedaan. Ook bij de geïnterviewde leveranciers zijn, buiten de toepassing van Duomix in Den Haag aan het Koningsplein, geen toepassingen van Duomix met problemen bekend. In bijlage 3 is de casus aan het Koningsplein nader toegelicht.

Bij een aantal gemeenten zijn er wel zorgen over de toepassingen (met staalslakken in het algemeen, niet specifiek met Duomix) die tot uiting komen in vragen in de gemeenteraden en/of publicaties in regionale media. Een aantal gemeenten is daarom ook zelf bezig met een inventarisatie van toepassingen of denkt na over onderzoek en/of monitoring van toepassingen met staalslakken.

In principe zou iedere aannemer met een trilplaat en een hydraulische graafmachine Duomix goed kunnen toepassen, maar we hebben ook van geïnterviewden gehoord dat aannemers eerdere ervaring moeten hebben om Duomix goed te kunnen toepassen. Belangrijk is dat de eis voor het vochtgehalte bij aanleg van de Duomix goed wordt nageleefd. De instructies moeten niet alleen zorgvuldig worden gevolgd, er moet ook door de aannemer/opdrachtgever worden gecontroleerd of daarmee het gewenste resultaat wordt bereikt en worden ingegrepen wanneer dat niet het geval is. Er is ons twee voorbeelden gedeeld waar Duomix is toegepast als halfverharding en dat het materiaal niet hard was geworden door gebrek aan vocht ten tijde van de toepassing. In één geval is toen door de aannemer na een regenbui de halfverharding nogmaals getrild. De toepassing is daarmee hard geworden en problemen met de toepassing waren verholpen. In het andere geval heeft een ervaren aannemer het materiaal opnieuw toegepast.

Er zijn diverse redenen genoemd voor het toepassen van Duomix:

- Problemen met spoorvorming; door gebruik te maken van Duomix als funderingslaag wordt beoogd te voorkomen dat spoorvorming optreedt. Door de civieltechnische eigenschappen levert Duomix een goede stevige onderlaag
- Om visueel onderscheid te maken tussen de gebruiksfunctie van verschillende paden in een bos (wandel- en fietspaden). De fietspaden werden aangelegd met asfalt en de wandelpaden met een halfverharding van Duomix. Uiteindelijk werd niet voldaan aan de verwachting en was het visueel onderscheid tussen de halfverharding van Duomix en het asfalt beperkt
- Er wordt gekozen voor Duomix vanwege de natuurlijkere uitstraling dan beton en asfalt, die beter past in park- of bosachtige omgevingen
- Fietspaden waar boomwortels zorgen voor opbollende verharding. Een halfverharding met Duomix is veel eenvoudiger te herstellen dan asfalt
- Een toepassing van Duomix levert een harde laag op (als funderingslaag of halfverharding). In Den Haag werd de bestaande halfverharding vervangen omdat er te veel plasvorming optrad. De keuze voor een toepassing van Duomix als halfverharding lost dit probleem niet op. Doordat Duomix bij juiste toepassing hard wordt, dient er rekening mee te worden gehouden dat water op de verharding blijft staan. Dit maakt dat in de instructies staat dat de verharding onder afschot moet worden aangelegd

- Door één van de geïnterviewde opdrachtgevers zijn de kosten als een van de redenen voor het gebruik van Duomix benoemd. Het toepassen van Duomix als halfverharding van een fietspad was goedkoper dan het gebruik van betonplaten. Het had daarentegen wel vaker onderhoud nodig dan betonplaten.

3 Toepassingsvoorwaarden

Zoals al eerder genoemd zijn toepassingsvoorwaarden aanwezig voor Duomix. Er is landelijke wet- en regelgeving en er worden vanuit de producent instructies meegegeven. Beiden worden in dit hoofdstuk besproken.

3.1 Landelijke wet- en regelgeving

Voor het toepassen van staalslak als secundaire bouwstof is landelijke wet- en regelgeving van kracht. In bijlage 4 is een overzicht gegeven van de oudere wet- en regelgeving. Voor de toepassing van staalslakken is de wet- en regelgeving ten tijde van de aanleg geldend. In dit hoofdstuk wordt alleen de huidige wet- en regelgeving besproken. Naast de landelijke wet- en regelgeving kan er decentrale regelgeving voor de toepassing van staalslakken gelden. Een aantal gemeenten hebben daar al daadwerkelijk regels voor gesteld. In bijlage 5 worden enkele voorbeelden gegeven van de verschillende manieren waarop gemeenten dit hebben benaderd.

Het toepassen van bouwstoffen is aangewezen als Milieubelastende activiteit (paragraaf 3.2.25) in het Besluit activiteiten leefomgeving. Het toepassingsbereik, de melding en de inhoudelijke regels staan in paragraaf 4.123 van het Bal. Voor het toepassen van staalslak gelden dezelfde regels als voor andere niet-vormgegeven (NVG) bouwstoffen.

Dit betekent onder meer dat:

- Er sprake moet zijn van een functionele hoeveelheid bouwstof, in een nuttige toepassing
- De bouwstof zo moet worden toegepast dat het verwijderd kan worden
- De bouwstof zo moet worden toegepast dat het niet vermengd raakt met de bodem
- De kwaliteit moet voldoen aan de maximale emissiewaarden en maximale concentratiewaarden uit Bijlage A bij de Regeling bodemkwaliteit 2022
- Er bij het toepassen een afleverbon en geldige milieuverklaring aanwezig moeten zijn (uitgezonderd wanneer sprake is van tijdelijke uitname)
- De specifieke zorgplicht uit het Bal van toepassing is (artikel 2.11 Bal). De zorgplicht vereist dat de toepasser maatregelen treft om nadelige gevolgen van uitspoeling naar de bodem en het oppervlaktewater te voorkómen. Als al nadelige gevolgen zijn opgetreden, dienen maatregelen te worden genomen om die gevolgen op te heffen. De zorgplicht is ook van toepassing op stoffen of effecten waarvoor (nog) geen normwaarden zijn vastgesteld (zoals de pH)
- Er vooralsnog vanuit de rijksregels geen informatieplicht is. In het Verzamelbesluit Omgevingswet lenW bodem en water 2026, dat op 31 januari 2025 in consultatie is gegaan en in 2026 in werking moet treden, is wél een informatieplicht opgenomen voor bouwstoffen die uit ten minste 20 massaprocent staalslak bestaan

De Regeling bodemkwaliteit 2022 schrijft tevens voor dat:

- De producent of leverancier van grond, baggerspecie of bouwstoffen verplicht is om in de milieuverklaring bodemkwaliteit de voorwaarden en beperkingen te vermelden die door de toepasser in acht moeten worden genomen

De zorgplicht is in de Circulaire “Toepassing van staatslak en hoogovenslak(zand) als bouwstof in een werk”¹ toegelicht, deze is op 8 mei 2024 geactualiseerd voor de Omgevingswet. De Circulaire wijst op de zorgplichten van zowel producenten als leveranciers, gebruikers, aannemers en opdrachtgevers. Men moet zich in alle gevallen rekenschap geven van de specifieke eigenschappen van deze bouwstoffen en bij de toepassing daarvan uiterste zorgvuldigheid in acht nemen.

Het bevoegd gezag voor het toepassen van Duomix zijn over het algemeen Burgermeester en wethouders. Alleen voor een toepassing binnen een complex bedrijf, als de toepassing tevens een functioneel ondersteunende activiteit is, zijn Gedeputeerde Staten het bevoegd gezag.

Voor alle toepassingen die in ons onderzoek ter sprake zijn gekomen waren Burgermeester en wethouders het bevoegd gezag.

3.2 Instructies van de producent

Er is één brochure van Duomix gevonden voor de toepassing in funderingen die tenminste gold ten tijde van het Bouwstoffenbesluit, welke is opgenomen in bijlage 6. De werkinstructies bevatten geen (publicatie)datum. Op de website van Pelt & Hooykaas zijn de huidige productbladen en een brochure te vinden.

De meest recente werkinstructies gelden voor Duomix en BGS-pad als halfverharding. De producent geeft de volgende algemene tips en aanwijzingen voor de aanleg:

- De halfverharding nooit aanbrengen bij vorst of juist hoge temperaturen. Te lage temperaturen voorkomen een goede uitharding en ook bij hoge temperaturen ontstaan vaak problemen. Door de warmte bestaat het risico op te snel uitdrogen waardoor geen goede uitharding kan plaatsvinden. Onder genoemde omstandigheden is aanleg van een halfverharding niet aan te bevelen
- Voordat het mengsel wordt verwerkt, dient het een juist vochtgehalte te hebben van ongeveer 10 %. Een te droog mengsel leidt tot onvoldoende uitharding
- Bij het gebruik van een vochtmeter om het vochtpercentage te meten dient men rekening te houden met de inherente afwijkingen van de gemiddelde vochtmeters (3 tot 8 % is gebruikelijk afhankelijk van merk en type). Bovendien levert de fractie van het materiaal veelal ook een afwijking in de vochtmeter op

¹ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0049708/2024-05-08>

- Toegepast als halfverharding laat het product na verloop van tijd nagenoeg geen water meer door. Zorg voor voldoende afschot in het werk zodat een goede afwatering van het hemelwater kan plaatsvinden

Ter voorbereiding worden de volgende punten genoemd:

- Graaf een cunet van circa 20 tot 25 cm diep
- Breng een laag zand aan van circa 10 tot 12 cm. Deze zandlaag vormt de fundering onder de halfverharding. Wanneer de halfverharding wordt aangebracht op een zandbodem kan deze stap worden overgeslagen
- Zorg voor een goede verdichting van de zandlaag met een wals of trilplaat
- Bij droog en warm weer is het belangrijk om vooraf ook de ondergrond/cunet voldoende nat te maken. De uitharding begint namelijk vanuit het onderste deel van de aangebrachte laag. Indien deze erg droog is dan droogt het product te snel waardoor geen goede uitharding meer kan plaatsvinden
- Het is van belang om het product voor verwerking goed te mengen met de juiste hoeveelheid vocht. Voor het beste resultaat moet het product een vochtgraad van circa 10 % hebben

Voor de verwerking wordt gesteld:

- Breng het product aan in een laag van 10 tot 15 cm. De toe te passen laagdikte is afhankelijk van het beoogde gebruik
- Zorg voor de juiste vochtigheid; het is absoluut van belang dat het voldoende vochtig is (circa 10 %) maar het mag ook niet te vochtig zijn. Wanneer er te veel vocht aan het product is toegevoegd bestaat de kans dat tijdens verdichting de fijne fracties uit het materiaal worden gedrukt en wegspoelen
- Wanneer hogere belasting van de verharding wordt verwacht, is het gebruik van een degelijke kantopsluiting aan te bevelen
- Verspreid het product gelijkmatig
- Zorg voor een goede verdichting, indien mogelijk met een wals en anders met een trilplaat
- Wanneer voor een split laag (eventueel op kleur) wordt gekozen wordt deze nu ingestrooid. Niet opmengen met de oorspronkelijke laag
- Na het instrooien van de split laag dient deze in de toplaag vast te worden gewalst of getrild
- Zodra het aanbrengen gereed is, verdient het de aanbeveling de halfverharding de tijd te geven om uit te harden. Hoeveel tijd hiervoor nodig is hangt af van de temperatuur en weersomstandigheden maar als stelregel kan men 1 tot 2 weken aanhouden
- Bij warm en droog weer en veel wind verdient het de aanbeveling om periodiek te blijven bevochtigen om te snel uitdrogen te voorkomen

Ten aanzien van de nazorg worden de volgende punten opgesomd:

- Eventuele scheuren en gaten kunnen met een hark worden geopend zodat voldoende nieuw materiaal kan worden aangebracht voor een goed hechting en uitharding
- Nieuw aan te brengen materiaal dient ook voldoende vochtig te zijn en verdicht te worden
- Een juist aangebrachte halfverharding laat geen onkruid door. Wel kan in een losse toplaag onkruid zaadkiemen. Dit kan met een schoffel los worden gemaakt en verwijderd

4 Risico's aan de toepassingen

In Den Haag heeft aan het Koningsplein een toepassing met Duomix gelegen waarbij risico's voor de volksgezondheid werden vermoed. Vergelijkbare problemen op andere locaties zijn niet naar voren gekomen in ons onderzoek. Het algemene beeld is dat wordt voldaan aan geldende wet- en regelgeving en aan de toepassingsinstructies van de leverancier (al dan niet in tweede instantie). Om een beeld te krijgen van mogelijke risico's zijn de condities van de toepassingen met Duomix vergeleken met de uitgangspunten van de uitloognormen van niet-vormgegeven bouwstoffen. Daarnaast zijn bij toepassing van Duomix in de open lucht (zoals bij een halfverharding) meerdere mineralogische reacties mogelijk die invloed kunnen hebben op de eigenschappen van de bouwstoffen. Daarnaast is gekeken naar onderzoek uitgevoerd door het RIVM [18] naar fietspaden in Drenthe met bijbehorende risicobeoordeling.

4.1 Vergelijking toepassingen Duomix met uitgangspunten normen Rbk

De uitgangspunten voor de afleiding van grenswaarden voor de emissies zijn beschreven in [20]. Voor de toepassing van niet vormgegeven bouwstoffen op het land zijn de belangrijkste uitgangspunten:

- **De laagdikte.** Deze is gevarieerd tussen 0,2 en 2 m, maar bij de afleiding van de normen is primair gekeken naar 0,5 m. De toepassing van Duomix valt ruim binnen deze waarde, ook als gekeken zou worden naar zwaardere funderingen voor wegen
- **Het neerslagoverschot.** Er is uitgegaan van een gemiddeld neerslagoverschot van 300 mm/j. Omdat de doorlatendheid niet exact bekend is, is niet duidelijk of toepassingen van Duomix voldoen aan dit uitgangspunt. Er is informatie die wijst op een beperkte doorlatendheid, waardoor het water vooral afstroomt en de infiltratie lager zou zijn dan 300 mm/j. Een lagere of hogere infiltratie betekent dat de emissie langzamer of sneller verloopt dan voorzien, maar dat is bij deze beperkte laagdikte niet kritisch
- **Emissie.** De effecten van de emissie worden berekend op basis van reactie van de geëmitteerde stoffen met een bodemlaag van 1 m dik. Afhankelijk van de adsorptie, zal een deel van de emissies in de vaste fase van de bodem achterblijven en een ander deel in het grondwater worden opgenomen. Zowel de (toename van) de gehalten in de vaste fase als de concentraties in het grondwater, worden getoetst. Over het algemeen vinden de toepassingen met Duomix plaats onder wegen of als halfverharding. Wegen worden vorstvrij aangelegd en de grondwaterstand bevindt zich dus lager dan de funderingslagen. De meeste toepassingen als halfverharding zullen ook boven de grondwaterstand zijn. Uit het onderzoek in Drenthe blijken grondwaterstanden tussen 1,7 en 4,7 m -mv. Dit onderzoek is in juni uitgevoerd, in de winter zullen de grondwaterstanden hoger zijn. Het is echter aannemelijk dat het grondwater op 1 m of meer onder de toepassing staat
- **Emissienormen.** De toetsing aan de kwaliteitseisen uit het Rbk wordt uitgevoerd op emissies van 15 metalen en 4 anionen (chloride, bromide, fluoride en sulfaat). De voor staalslak kritische metalen barium en vanadium zijn onderdeel van deze reeks. Daarnaast is bekend dat niet genormeerde parameters uitlogen, dit zijn met name macroparameters (calcium, strontium aluminium) die als niet of weinig toxisch worden beschouwd. Daarnaast is van staalslakken bekend dat de pH hoog is.

Uit bodemonderzoek in Drenthe naar een halfverharding met vergelijkbaar product als Duomix (KFP-mix) blijkt geen (duidelijk) effect op de pH in de onderliggende bodem of het grondwater. Effecten van de pH op grond- en oppervlaktewater zijn alleen bekend van toepassingen van staatslak die veel grootschaliger zijn dan toepassingen van Duomix in fietspaden en dergelijke

Aspecten die bij de afleiding van de normen voor bouwstoffen niet zijn beschouwd zijn ingestie en blootstelling aan stof:

- Ingestie is vooral een risico voor kinderen maar bij de meeste toepassingen van bouwstoffen zal dit onmogelijk zijn (bijvoorbeeld funderingen onder een verharding). Daarnaast wordt Duomix bij juiste toepassing hard, wat ingestie bemoeilijkt. Er wordt nader ingegaan op ingestie in paragraaf 4.3.2
- Blootstelling aan stof kan optreden onder bepaalde condities, dit wordt navolgend in paragraaf 4.3.3 besproken

4.2 Evaluatie mineralogische omzettingen en praktijkwaarnemingen

Er is een beschouwing gemaakt van de volgende onderdelen:

- Mineralogische reacties die mogelijk zijn bij de toepassing van Duomix in de open lucht. Deze reacties zijn: hydratatie (reacties met water), oxidatie (reacties met water) en carbonatatie (reacties van basische mineralen met CO₂). De reacties die in de loop van de tijd plaatsvinden kunnen invloed hebben op de eigenschappen van de bouwstoffen, zoals pH en uitloging
- Praktijkonderzoek van toepassingen van Duomix. Praktijkonderzoek op langere termijn is de beste manier om de effecten van eventuele omzettingen te kwantificeren. Dit soort onderzoek wordt echter nauwelijks uitgevoerd. Op basis van keuringen van materiaal (zowel Duomix als KFP-mix) dat gedurende ruim 10 jaar is toegepast geweest in fietspaden in Drenthe en bodemonderzoek op deze locaties [18], is nagegaan in hoeverre effecten op langere termijn zichtbaar zijn. Deze resultaten zijn vergeleken met wat op basis van de bekende mineralogische reacties werd verwacht

In bijlage 7 is de volledige beschouwing opgenomen. De mineralogische omzettingen worden als volgt beoordeeld:

- Aanvankelijk zullen hydratatie-reacties² de overhand hebben, met name ook door de aanwezigheid van het reactieve hoogovenslakkenzand in Duomix. Op basis van onderzoek aan (luchtgekoelde) staatslak leiden de hydratatie-reacties tot een afname van de emissie van metalen. De pH blijft onveranderd of stijgt in beperkte mate
- Op langere termijn gaat carbonatatie (reactie met CO₂) een belangrijke rol spelen. Dit proces resulteert in neutralisatie, afname van de bariumemissie (op basis van praktijkwaarnemingen) en mobilisatie van vanadium.
- Het enige praktijkonderzoek dat relevant is voor de toepassing van Duomix als halfverharding, in een onderzoek aan fietspaden in Drenthe met Koersfietspadenmix. KFP-mix is niet hetzelfde als Duomix.

² Dit zijn reacties met water, vergelijk het toevoegen van water aan cementmortel, waardoor het gaat uitharden.

Er zit wel staalslak in, maar de volledige samenstelling is bij ons niet bekend. Uit het onderzoek blijkt dat KFP-mix 13 jaar na toepassing al geneutraliseerd is. Hierbij speelt de beperkte laagdikte (12 cm) en het open karakter van de toepassing een rol, waardoor CO₂ uit de atmosfeer gemakkelijk kan toetreden. De vanadiumemissie uit Duomix is veel minder sterk gestegen dan die uit KFP-mix. Van Duomix is slechts één partij onderzocht en de volledige keuringsresultaten zijn niet bekend (alleen de vanadiumemissies). Voor KFP-mix is duidelijk dat de toename van vanadium zodanig is dat dit materiaal niet meer als zodanig toepasbaar is als NVG-bouwstof

- Uit praktijkonderzoek blijkt dat de pH in bodem en grondwater onder of nabij de toepassing van KFP-mix niet zijn verhoogd. De vanadiumgehalten onder de toepassing zijn hooguit licht verhoogd (boven de voormalige achtergrondwaarde). In de bermen zijn de vanadiumgehalten in een deel van de monsters sterk verhoogd. De meest aannemelijke verklaring hiervoor is dat er vermenging is opgetreden van bouwstof en grond

4.3 Risicobeoordeling

4.3.1 RIVM-onderzoek fietspaden Drenthe

Hierboven zijn de resultaten van het onderzoek naar de fietspaden in Drenthe besproken. Het RIVM heeft een risicobeoordeling gemaakt van vanadium in grond en grondwater en heeft hieruit het volgende geconcludeerd:

- De humane risico-grenswaarde van vanadium wordt in zowel grond als grondwater niet overschreden
- Uit toetsing van de scenario's "wonen met tuin" en "natuur" blijkt dat er geen humane risico's zijn. Bij deze scenario's wordt rekening gehouden met ingestie van grond (door kinderen meer dan door volwassenen), in het scenario "wonen met tuin" ook met consumptie van groenten uit eigen tuin
- Arbo-risico's kunnen niet direct worden getoetst maar de verwachting is dat er geen risico's zijn, mits gangbare veiligheidsmaatregelen worden getroffen en het materiaal bij droogte zo nodig wordt bevochtigd
- Op enkele meetpunten (zeer lokaal) wordt de ecologische risicogrenswaarde in grond overschreden. Hierdoor kunnen lokale ecologische effecten op de bodemecologie niet worden uitgesloten. Vanadium kan processen verstoren die nodig zijn voor een gezonde bodem, zoals de afbraak van organisch materiaal.
- De effecten voor het verdere ecosysteem, inclusief grotere (huis)dieren en vogels, worden verwaarloosbaar geacht
- De gemeten concentraties vanadium in het grondwater lagen in de ordegrootte van de achtergrondconcentratie. Er zijn op basis van de concentraties in grondwater geen risico's voor de drinkwaterwinning
- Omdat de gemeten emissies van vanadium uit de bouwstof hoger zijn dan de eis, is er in beginsel een risico op verspreiding van vanadium. Echter, gezien de gemeten concentraties in het grondwater, worden de verspreidingsrisico's als gevolg van de uitspoeling onder de huidige omstandigheden als verwaarloosbaar ingeschat

Er zijn al met al dus geen significante risico's aanwijsbaar. Hierbij moet worden bedacht dat de lokale overschrijding van de ecologische risicogrenswaarde zeer waarschijnlijk het gevolg is van vermenging van bouwstof en grond. Een van de voorwaarden voor toepassing van bouwstoffen is dat de bouwstof zo moet worden toegepast dat het niet vermengd raakt met de bodem (zie paragraaf 4.3.5).

4.3.2 Ingestie

Verwijdering van Duomix op het Koningsplein in Den Haag werd mede ingegeven door het vermoeden van risico's voor de volksgezondheid. Uit de voorgaande beschouwing blijkt dat ingestie niet a priori tot onaanvaardbare risico's leidt. In het scenario "wonen met tuin" wordt voor kinderen uitgegaan van een ingestie van 100 mg grond per dag, gedurende 125 dagen per jaar. Op een speelplaats zijn kinderen wellicht minder dan 125 dagen per jaar aanwezig. Wel is het zo dat de vanadiumconcentratie in pure staalslak beduidend hoger is dan in de onderzochte grond (in de grond maximaal 360 mg/kg ds). Daarnaast is het stof van staalslak ook sterk irriterend. Als er ingestie plaatsvindt, is er een theoretisch risico voor de gezondheid. Dit zou kunnen gebeuren wanneer het materiaal niet hard is geworden bij een toepassing en de toepassing niet is afgedekt en daarmee beschikbaar is voor kwetsbare gebruikers (bij voorbeeld in een toepassing als halfverharding).

4.3.3 Stofvorming

Uit praktijkervaringen is bekend dat het stof van staalslakken sterk irriterend is, er zijn meldingen van bloedneuzen. Overigens wordt in het veiligheidsinformatieblad en in richtlijnen die de leverancier meegeeft hierop gewezen en wordt aangegeven dat er maatregelen genomen moeten worden om stofvorming te voorkomen.

Stofvorming speelt primair een rol bij het transport en aanbrengen van het materiaal (als het droog is). Als de toepassing niet wordt afgedekt (met een gesloten verharding of elementverharding) en niet goed wordt aangebracht, kan stofvorming langere tijd optreden. Halfverhardingen van Duomix zijn niet afgedekt maar door de menging met hoogovenslakken, treedt binding tussen de korrels op. Voor een goede binding is het wel van belang dat de voorschriften van de producent in acht worden genomen (zie paragraaf 3.2). Als dit niet gebeurt, zou er stofoverlast kunnen optreden. Echter, uit de inventarisatie van praktijkervaringen blijken niet of nauwelijks problemen met stofvorming. Het RIVM schat de risico's voor mensen die fietsen of wandelen op de onderzochte paden in Drenthe als (zeer) laag in. Bij de toepassing van Duomix op het Koningsplein in Den Haag is wel melding gemaakt van enige stofvorming, het lijkt er daarom dat de uitharding daar niet optimaal is geweest.

4.3.4 Hoge pH

Bij (grootschalige) toepassingen van staalslakken ontstaan soms problemen met een hoge pH in oppervlakte- of grondwater. Daar is bij het onderzoek aan fietspaden in Drenthe niets van gebleken. Het materiaal KFP-mix, dat deels uit staalslak bestaat, blijkt na een toepassing van 13 jaar al volledig geneutraliseerd te zijn. Hierbij zal de beperkte laagdikte een doorslaggevende rol spelen. Neutralisatie vindt plaats door reactie met CO₂ uit de lucht en de bodem.

4.3.5 Vermenging van bouwstof en grond

Verhoogde vanadiumgehalten in de grond langs de fietspaden in Drenthe zijn waarschijnlijk vooral het gevolg van vermenging van bouwstof en grond. De regelgeving stelt dat bouwstoffen terugneembaar moeten worden toegepast en vermenging met grond daarom voorkomen moet worden. De regelgeving schrijft echter geen specifieke maatregelen voor om dat te bereiken. Verondersteld wordt dat het onderscheid tussen bouwstof en grond visueel voldoende duidelijk is. Het is de vraag of dit ook geldt bij fijne materialen, zoals Duomix 0-8 mm en vergelijkbare bouwstoffen (KFP-mix). Voor dergelijke bouwstoffen dient te worden nagegaan hoe beter geborgd kan worden dat vermenging wordt voorkomen.

4.3.6 Lange termijngedrag van de bouwstof

De kwaliteit van bouwstoffen wordt alleen getoetst op het moment van toepassing. Er wordt geen rekening gehouden met eventuele veranderingen in de eigenschappen van het materiaal en de lange termijneffecten daarvan. Veel bouwstoffen zullen in de loop van de tijd veranderen door mineralogische reacties. Dat geldt dus zeker niet alleen voor staalslakken. Uit onderzoek van het toegepaste materiaal blijkt dat de vanadiumemissie in de loop van de tijd sterk is gestegen, daarentegen is barium gedaald. De KFP-mix is als zodanig niet meer toepasbaar, de toename van vanadium in Duomix is veel kleiner maar leidt ook tot overschrijding van de NVG-eis. De verhoogde emissies hebben op twee locaties in Drenthe echter niet geleid tot ontoelaatbare verspreiding naar het grondwater of de grond (voor grond is aannemelijker dat relatief hoge gehalten in de berm en het gevolg zijn van vermenging met de bouwstof).

Veranderingen van de uitloging in de tijd zijn van meerdere materialen bekend en dit aspect zou daarom generiek bekeken moeten worden. Dit is erkend en maakt onderdeel uit van het project Herijking bodemregelgeving dat momenteel loopt vanuit het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat.

5 Conclusies

5.1 Onderzoeksvraag

Aanleiding voor dit bureauonderzoek is de uitvoering die het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat geeft aan de motie van het Tweede kamerlid Kostic (d.d. 10 april 2024, 31 209 Nr. 256).

In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat heeft TAUW als onafhankelijk adviesbureau een bureauonderzoek gedaan naar het gebruik van Duomix in de praktijk, met als doel een beeld te krijgen van het gebruik van Duomix in Nederland en in te schatten of de toepassingen leiden tot negatieve effecten op het milieu en de gezondheid. Het onderzoeken of de toepassing eventueel verboden kan of zou moeten worden, maakt geen onderdeel van uit van de opdracht.

5.2 Conclusie gebruik van Duomix in Nederland

Historie en productie

Duomix wordt al meer dan 30 jaar in Nederland toegepast. In de periode tussen 2010 en 2017 werd jaarlijks door Pelt & Hooykaas 100.000 ton per jaar Duomix afgezet. Hierna is de afzet afgenomen tot circa 20.000 ton/jaar.

Type toepassingen

Het materiaal Duomix vindt zijn toepassing in de wegenbouw. Duomix is een mengsel van LD-staalslak en gegranuleerde hoogovenslak en wordt geleverd in verschillende fracties: 0-8 mm, 0-22 mm en 0-31,5 mm. Naast Duomix zijn er ook nog diverse soortgelijke producten waarin staalslakken zijn verwerkt (bijvoorbeeld BGS-base of Koersfietspaden(KFP)-mix), die worden toegepast in de wegenbouw. Daarnaast zijn er ook bouwstoffen die gedeeltelijk bestaan uit Duomix.

Uit de interviews blijkt dat de volgende toepassingen in Nederland te onderscheiden zijn:

- Toepassing als halfverharding. Het betreft hier veelal een toepassing van Duomix van 10 tot 15 cm dikte op een zandbed. Het betreft veelal paden welke gebruikt worden door voetgangers of fietsers in bijvoorbeeld parken, begraafplaatsen en natuurgebieden
 - Toepassing als fundering onder een gesloten, element-verharding. De wegverharding kan bestaan uit asfalt, tegels of klinkers. Het gaat om fietspaden, inritten tot wegen van woonwijken, doorgaande wegen en zelfs industrieterreinen die zwaarder worden belast
- Bij zowel de toepassing als halfverharding als fundering wordt een goed aangebrachte laag Duomix hard.

Met uitzondering van één gemeente, zijn in alle geïnterviewde gemeenten toepassingen bekend met Duomix. Er zijn bij deze gemeenten en de geïnterviewde leveranciers, buiten de toepassing van Duomix in Den Haag aan het Koningsplein, geen toepassingen van Duomix met problemen bekend.

Instructies van de producent

Pelt & Hooykaas is de enige leverancier van Duomix in Nederland en zij leveren Duomix aan aannemers en bouwgrondstoffenhandelaars. Bij de levering van Duomix worden toepassingsinstructies gegeven. Uit navraag blijken de bouwgrondstoffenhandelaars veelal te leveren aan aannemers die de plaatselijke markt bedienen. Aannemers krijgen van de bouwgrondstoffenhandelaars veelal geen instructies mee over hoe Duomix het beste kan worden toegepast, omdat de aannemers al bekend zijn met de instructies. Belangrijk is dat de toepassingsinstructies bij de aanleg worden nageleefd. Dit geldt vooral voor de eis voor het vochtgehalte bij aanleg, zodat het materiaal hard wordt.

Wet- en regelgeving

Op de toepassing van Duomix is landelijke wet- en regelgeving van toepassing (Besluit activiteiten leefomgeving, Besluit en Regeling bodemkwaliteit). Burgemeester en Wethouders kunnen in het omgevingsplan aanvullende regels opnemen.

Daarnaast worden vanuit de leverancier toepassingsinstructies meegeleverd. Duomix is een gecertificeerde bouwstof die voldoet aan de kwaliteitseisen uit de Regeling bodemkwaliteit

5.3 Conclusie risico's bij toepassen van Duomix

Voor de meeste toepassingen van Duomix en vergelijkbare producten gelden geen bijzondere risico's voor milieu en gezondheid. Echter er zijn wel navolgende aandachtspunten.

Ingestie is niet beschouwd bij afleiding normen voor bouwstoffen

Bij de afleiding van de normen voor bouwstoffen is ingestie niet beschouwd. Uit onze beoordeling van beschikbare informatie blijkt dat ingestie niet a priori tot onaanvaardbare risico's leidt bij toepassingen van Duomix. Het hangt af van de blootstellingsduur, opname hoeveelheid en (vanadium)concentratie in het opgenomen materiaal. Vanwege het geringere lichaamsgewicht zijn risico's voor de gezondheid van kinderen in de regel hoger dan voor volwassenen.

In een toepassing als halfverharding is contact met het materiaal mogelijk. Als de Duomix juist is aangebracht, wordt het materiaal hard en is de mogelijkheid tot ingestie minimaal. Een toepassing van Duomix als halfverharding van een kinderspeelplaats is bij onjuiste wijze van aanbrengen een ongelukkige combinatie omdat ingestie zou kunnen leiden tot risico's voor de gezondheid. Een toepassing als halfverharding in bijvoorbeeld fiets- of wandelpaden is uit risico-oogpunt mogelijk. Het RIVM schat de risico's voor mensen die fietsen of wandelen op de onderzochte paden in Drenthe als (zeer) laag in.

Stofvorming kan optreden bij transport en onjuiste toepassingswijze

Uit praktijkervaringen is bekend dat het stof van staalslakken sterk irriterend is. Stofvorming van Duomix speelt primair een rol bij het transport en het (onvoldoende vochtig) aanbrengen van het materiaal. Als het materiaal niet goed wordt aangebracht en de toepassing niet wordt afgedekt (met een gesloten verharding of elementverharding), kan stofvorming langere tijd optreden. Halfverhardingen worden niet afgedekt. Bij juiste toepassing van Duomix als halfverharding hardt het materiaal uit waardoor geen stofvorming optreedt. Voor een goede binding is het wel van belang dat de voorschriften van de producent in acht worden genomen (zie paragraaf 3.2). Als dit niet gebeurt, zou er stofoverlast kunnen optreden. Uit de inventarisatie van praktijkervaringen blijken, op de toepassing aan het Koningsplein in Den Haag na, echter nauwelijks problemen met stofvorming.

De toepassingsinstructies dienen verstrekt en nageleefd te worden

Pelt & Hooykaas is de enige leverancier van Duomix in Nederland die levert aan aannemers en bouwgrondstoffenhandelaars. Zij leveren de Duomix met toepassingsinstructies. Uit navraag blijken de bouwgrondstoffenhandelaars veelal te leveren aan aannemers die de plaatselijke markt bedienen. Aannemers krijgen van de bouwgrondstoffenhandelaars veelal geen instructies mee over hoe Duomix het beste kan worden toegepast, omdat de aannemers al bekend zijn met de toepassingsinstructies. De handelaars geven in interviews aan niet of nauwelijks particuliere afnemers te hebben. Het is echter niet uitgesloten dat via de bouwgrondstoffenhandelaars Duomix aan particulieren geleverd wordt.

Ook zij zullen bij toepassing van Duomix de voorschriften van de producent moeten naleven. Dit geldt vooral voor de eis voor het vochtgehalte bij aanleg van de Duomix, zodat het materiaal hard wordt.

Bij toepassing kan vermenging van grond en bouwstof optreden

Uit praktijkonderzoek volgt dat er verhoogde vanadiumgehalten zijn in de grond langs de fietspaden in Drenthe. Deze zijn waarschijnlijk vooral het gevolg van vermenging van bouwstof en grond. De regelgeving stelt geen specifieke eisen hoe vermenging tegen moet worden gegaan. De reden is dat verondersteld wordt dat het onderscheid tussen bouwstof en grond visueel voldoende duidelijk is. Het is de vraag of dit ook geldt bij fijne materialen, zoals Duomix 0-8 mm en vergelijkbare bouwstoffen (KFP-mix). Voor dergelijke bouwstoffen dient te worden nagegaan hoe beter geborgd kan worden dat vermenging wordt voorkomen.

6 Referenties

1. RIVM, M. Broekman (2023); Milieuhygiënische kwaliteit LD Staalslakken – Literatuurstudie. Rapportnummer 2022-0180, RIVM, Bilthoven
2. Pelt & Hooykaas (z.j.): LD-staalslak. Notitie over samenstelling convertorslak Tatasteel IJmuiden (4 pag.).
3. Van der Sloot, H.A. e.a. (2007): pH en redoxeffecten van bouwmaterialen. Rapport ECN-E—07-093, ECN, Petten
4. Ahmed, M.A. et al (2024): Reactivity of air granulated basic oxygen furnace steel slag and its immobilization of heavy metals. J. of Building Engineering 91, 109704.
5. Van der Sloot, H.A. & D. Hoede (1994): Laboratoriumonderzoek naar de invloed van reducerende eigenschappen op het emissie-gedrag van industrie-slakken in oever-beschermingen. Rapport ECN-C—94-094, ECN, Petten. In opdracht van RIZA, Lelystad.
6. Chaurand, P. et al (2006): Speciation of Cr and V within BOF steel slag reused in road constructions. J. of Geochemical Exploration, vol. 88, p.10-14.
7. Arlt, K.J. & N. Wolfsfeld (2005): Angepasste Oberflächenabdichtungen für Monodeponien der Stahlindustrie. Leipziger Deponiefachtagung 2005, B12
8. Gopakumar, A. (2018): Sequestration of landfill gas emissions using basic oxygen furnace slag. MSc Thesis, University of Illinois, Chicago
9. Dobranski, A.J. (2016); Realising the CO₂ sequestration potential of steel and iron making slags. Thesis, Durham University
10. Van der Sloot, H.A. e.a. (1995): Staalslakuitloging bij toepassing als oeverbescherming. Rapport ECN-C—95-118, ECN, Petten
11. Pullin, H. et al (2019): Atmospheric carbon capture performance of legacy iron and steel waste. Environ. Sci. Technol., 53, p. 9502-9511
12. Deltares (2012): Toepassing van olivijn in RWS werken. Rapport 1203661-000-VEB-0006, Deltares.
13. Reno, A.D. (2023): Metal Deportment in Complex Secondary Raw Materials: The Case of Vanadium in Basic Oxygen Furnace Slags. Mining, Metallurgy & Exploration (2023) 40:2139–2152.
14. Steketee, J.J. (2002): Evaluatie-onderzoek van de ophoging met AVI-bodemas in Rijksweg A15. Publicatiereeks Grondstoffen, 2002/07, Rijkswaterstaat DWW, Delft
15. Savija, B., & Luković, M. (2016). Carbonation of cement paste: Understanding, challenges, and opportunities. Construction and Building Materials, 117, 285-301.
16. Meima, J.A. (1997): Geochemical modelling and identification of leaching processes in MSWI bottom ash. Thesis, RUU.
17. Zevenbergen, C. (1994): Natural weathering of MSWI bottom ash. Thesis, RUU.
18. Brand, E. en P.J.C.M Janssen (2019): Risicobeoordeling vanadium in en onder fietspaden Drenthe, RIVM Briefrapport 2019-0012.
19. Steketee, Jaap & Marian Langevoort (2020): Production of a Stable Building Material by Treatment of MSWI Bottom Ash with the TAUW EquiAsh® Process. Waste and Biomass Valorization. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01059-5>

20. Verschoor, A.J. et al; RIVM/ECN/RIZA (2006): Kritische emissiewaarden voor bouwstoffen. Milieuhygiënische onderbouwing en consequenties voor bouwmaterialen. RIVM rapport 711701043/2006.

Bijlage 1 Onderzoeksopzet

Er is eerste een inventarisatie gemaakt van welke op Duomix gebaseerde producten en soortgelijke producten er verkrijgbaar zijn. Vervolgens zijn openbare bronnen geraadpleegd om toepassingen van Duomix (en soortgelijke producten) te achterhalen. Diverse partijen zijn benaderd om informatie te verkrijgen over het type toepassingen in Nederland. Er is gesproken met 10 gemeenten/omgevingsdiensten, 3 opdrachtgevers en 3 leveranciers/grondstoffentussenhandelaars.

Er is navolgende informatie gevraagd over het materiaal bij:

- **Leveranciers** van het materiaal:
 - Het type afnemer
 - Het type toepassingen
 - De toepassingsinstructies vanuit de leverancier
- **Toepassers en opdrachtgevers van toepassingen:**
 - De reden voor de keuze voor dit materiaal
 - Het type toepassing
 - De toepassingsinstructies
 - De toepassingswijze (uitvoering en constructieopbouw)
 - Of problemen voor de omgeving zijn opgetreden tijdens of na de toepassing
 - Of (bodem)onderzoek is uitgevoerd naar de toepassing
 - Welke inspanning voor de wegbeheerder nodig is om te achterhalen waar welk type (half)verharding is toegepast

Er is geïnterviewd welke toepassingsinstructies er vanuit de regelgeving van het Rijk bestaan en welke voorwaarden de producent meegeeft.

Om de risico's van de toepassingen met Duomix te kunnen duiden zijn de ervaringen uit de praktijk beschouwd evenals de naleving van de toepassingsinstructies. Daarnaast is een literatuuronderzoek uitgevoerd gericht op:

- Praktijkonderzoek naar fietspaden in Drenthe waarmee het RIVM een risicobeoordeling heeft uitgevoerd
- De chemische processen die in het materiaal kunnen plaatsvinden

Er is daarnaast ook een beschouwing gemaakt van de uitgangspunten bij de afleiding van de uitloognormen voor bouwstoffen uit de Regeling bodemkwaliteit 2022 met de toepassingscondities van Duomix. Hiermee is nagegaan of de toepassingen met Duomix binnen de uitgangspunten vallen die zijn gebruikt bij het afleiden van de normen.

Bijlage 2 Producten met LD-staalslakken

Toepassingsgebieden van LD-staalslakken

Jaarlijks komen circa 730.000 ton LD-staalslakken vrij als bijproduct van de staalproductie in IJmuiden. Alle staalslakken worden op de markt gebracht door Pelt & Hooykaas, een producent en leverancier van secundaire bouwstoffen. Er zijn verschillende kwaliteiten slakken met verschillende eigenschappen. Dit maakt dat staalslakken in diverse toepassingsgebieden mogelijk zijn voornamelijk in:

- De wegenbouw
- De waterbouw
- Beton
- Asphalt

Het materiaal Duomix maakt onderdeel uit van toepassingen in de wegenbouw. Voor de volledigheid worden hier kort de overige toepassingsgebieden van staalslakken besproken. Ten overvloede wordt benadrukt dat Duomix dus geen toepassing heeft in de waterbouw, beton en asphalt.

In de waterbouw worden waterbouwslakken toegepast. Deze toepassingen dienen als steenbestorting voor bodem- en oeverbescherming in waterbouwwerken. De hoeveelheid staalslakken die hun toepassing vindt in de waterbouw is sterk gereguleerd door de vraag. Als er een project wordt gerealiseerd, is er meestal een grote hoeveelheid waterbouwslak nodig.

De toepassingen in asphalt en beton zijn respectievelijk sinds 2020 en 2021 op de markt gekomen en daarmee relatief nieuw. Lesporiet kan worden gebruikt in asphalt en door de toegevoegde hoeveelheid staalslakken houdt het asphalt warmte langer vast. Ekoliet is een specifieke stroom LD-staalslakken die geschikt is voor toepassingen in niet-constructieve betonmengsels. Het materiaal (Ekoliet) is in overeenstemming met paragraaf 4.3.7 van EN 12620 (uitsluitend voor gebruik in niet-constructief beton).

Andere producten met staalslakken in de wegenbouw dan Duomix

Naast Duomix zijn er nog diverse andere producten met staalslakken die toepasbaar zijn in de wegenbouw, zoals LD-mix en BGS-toepassingen.

LD-mix is een hydraulisch bindmiddel (0-8 mm) dat wordt gebruikt als toeslagmateriaal in menggranulaat op basis van LD-staalslak (75 %) en gegranuleerde hoogovenslak (25 %). Optimaal is een mengverhouding granulaat met 15 % (m/m) LD-mix. De toepassingen van LD-mix in menggranulaat is daarmee een anders dan toepassingen met Duomix.

Daarnaast zijn er ook nog BGS-toepassingen:

- **BGS-pad** bestaat uit 64-76 % LD-staalslak, 12-18 % betongranulaat en 12-18 % gegranuleerde hoogovenslak. BGS-pad is beoogd voor toepassing als halfverharding.

Het lijkt op Duomix (het wordt bijvoorbeeld net als Duomix hard), maar bevat in tegenstelling tot Duomix betongranulaat

- **BGS-straatlaag** is geschikt als ongebonden straatlaag onder een elementenverharding. Dit lijkt op Duomix, maar hard niet uit en blijft zacht (vandaar dat het kan worden gebruikt direct onder elementenverhardingen)
- **BGS-base** is een toeslagmateriaal voor ongebonden en hydraulisch gebonden materialen voor civieltechnische werken en wegenbouw. Dit product wordt momenteel niet meer geleverd. Het werd gebruikt als ongebonden funderingsmateriaal onder een licht belaste elementenverhardingen, als ongebonden halfverharding voor bouwwegen en servicewegen voor bijvoorbeeld windmolens
- **BGS-additief** is een toeslagmateriaal voor menggranulaat
- **BGS-fill** is geschikt voor ophogingen en aanvullingen in de grond-, weg- en waterbouw, zoals wegen en geluidswallen. Het ECN stelt dat in de periode 2004-2007 LD-staalslakken in toenemende mate grootschalig zijn toegepast in ophogingen

Producten waarin Duomix is verwerkt

Tijdens het onderzoek zijn diverse producten aangetroffen waarin Duomix is verwerkt. Het betreft veelal grondstoffentussenhandelaren die deze producten op de markt brengen.

Koers FietsPadenmix (KFP-mix) is een in het verleden (tot circa 2010) geproduceerd materiaal met ongeveer 10 % Duomix. Begin 2000 is deze KFP-mix toegepast door Staatsbosbeheer in een aantal fietspaden in Drenthe. Deze KFP-mix paden zijn later door Staatsbosbeheer overlaagd met Duomix. De betreffende paden zijn inmiddels gedeeltelijk door Staatsbosbeheer verwijderd.

Straatmix is een mengsel van zand met 30 % tot 50 % Duomix 0-8 mm. Het wordt toegepast als een licht gebonden straatzand dat als funderingslaag of stabilisatielaag onder bestrating of elementenverharding kan worden gebruikt.

Daarnaast bestaan er ook diverse producten die toegepast worden in de wegenbouw waarin LD-mix (dit is niet exact hetzelfde als Duomix) is toegepast als hydraulische bindmiddel. Een voorbeeld hiervan is **Geomix**. Dit is een mengsel van brekerszand 0-2 mm, steenslag 2-6 mm en LD-mix 0-8 mm in onbekende verhouding. Het wordt toegepast als licht hydraulische voegvulling tussen bestrating bij een belasting door voetgangers, personenauto verkeer en langzaam rollend zwaar verkeer, waar niet intensief gereinigd wordt met veeg- en/of zuigmaterieel.

Bijlage 3 Achtergrond project Koningsplein Den Haag

De aanleiding tot de motie van het Tweede kamerlid Kostic is onder andere dat de gemeente Den Haag onlangs is gestopt met het gebruik van Duomix omdat er te veel zorgen zijn over de impact op gezondheid en milieu. Een project op het Koningsplein is hier de aanleiding voor geweest. Op het Koningsplein was een halfverharding aanwezig waarop te veel plassen ontstonden. Er is door de aannemer een alternatieve waterdoorlatende verharding voorgesteld en in 2023 aangebracht in de vorm van Duomix. In het ontwerp is opgenomen dat op een zandbed van 10 tot 12 cm een laag Duomix is aangebracht van 10 tot 15 cm. De halfverharding is aangebracht binnen trottoirbanden, die een afscheiding vormen met de naastgelegen weg. Er is geen informatie over het aanbrengen van de Duomix verkregen. De medewerkers van de gemeente hebben niet naar eventuele beperkingen of maatregelen geïnformeerd, omdat het een gecertificeerde bouwstof betreft en ze ervan uitgingen dat ze daarmee voldoende wisten.

Na ingebruikname van het plein kreeg de gemeente tijdens een drogere periode klachten over mensen die last hadden van het verstoffen van de halfverharding en daardoor moesten hoesten en niezen. Daarnaast meldde de jeu-de-boule-vereniging dat niet alleen de ballen aan hun bal-opraap-magneet bleven zitten, maar ook deeltjes van de halfverharding. De gemeente Den Haag heeft vervolgens besloten om op 15 april 2024 te starten met verwijdering van de Duomix en het te vervangen voor een andere halfverharding.

Uit stukken van de gemeenteraad Den Haag blijkt dat de Partij voor de Dieren heeft gevraagd (in de vragenronde Programmabegroting 2024-2027; 30 november 2023) "Hoe vaak en waar wordt er bij de aanleg of onderhoud van gemeentelijke wegen, pleinen en dergelijke gebruik gemaakt van Beaumix en/of Duomix?" Het antwoord is als volgt geformuleerd:

"Beaumix en/of Duomix wordt sporadisch toegepast bij het repareren van betonbanden, op hoogte brengen van toegangskokerdeksels naast asfalt en enkele reparaties in het wegdek. In diverse stadsdelen wordt voor een pleintje of pad een halfverharding, zoals Duomix, toegepast, gelet op de eigenschappen die in voorkomende gevallen de voorkeur genieten. Zo is dit product onder andere op het Koningsplein en voetpaden door Clingendael toegepast en is in Scheveningen nagenoeg al het vooroorlogse asfalt omgezet in halfverharding."

In de gemeenteraad van Den Haag is de toezegging gedaan dat er een brief komt aan de raad, waarin in kaart gebracht is waar verder nog gebruik gemaakt is van staalslakken en wordt aangegeven wat ermee te doen (Wethouder Buitenruimte, Dierenwelzijn en Milieu, de heer Barker; Q4 2024). Alle gegevens over de constructie en aanleg van wegen wordt na realisatie overgedragen aan de wegbeheerder. De wegbeheerders worden geacht een overzicht te hebben van welke materialen waar zijn toegepast in de openbare ruimte en zijn hierop bevraagd. Op dit moment zijn de brief of een overzicht van toepassingslocaties nog niet beschikbaar.

Bijlage 4 Landelijke wet- en regelgeving voorafgaand aan de Omgevingswet

In tabel B4.1 is een overzicht gegeven van de regelgeving, die in verschillende perioden van toepassing is geweest op het toepassen van staalslak als secundaire bouwstof. Onder deze tabel volgt per periode, voorafgaand aan de invoering van Omgevingswet, een uitgebreidere toelichting.

Tabel B3.1 Beleid en regelgeving in de tijd

Tijdperiode	Wetgeving
< 1986	Hinderwet, Wabm, Aw, o-Wbb, IBS (Beleid: Niet expliciet)
1986 - 1994/95	Aw en Wabm (beide tot 1993, daarna Wm), Wbb, IBS (Beleid: IPO/VROM Richtlijn)
1994/95 - 1997	Wm, Wbb (Beleid: IPO Interimbeleid "Werken met secundaire grondstoffen" versie december 1994, IPO)
1997 - 1999	Wm, Wbb (Beleid: IPO Interimbeleid "Werken met secundaire grondstoffen" versie juni 1997, IPO)
1999 - 30 juni 2008	Wbb/Bsb
1 juli 2008 – 31 dec 2023	Wbb/Bbk
1 jan 2024 - heden	Bal, Bbk, Omgevingsplan, Omgevingsverordening, Waterschapsverordening

Aw	Afvalstoffenwet (1977)	IBS	Interimwet bodemsanering (1983)
Bbk	Besluit bodemkwaliteit	Wbb	Wet bodembescherming (excl. IBS) (1987), Wbb Wet
Wabm	Wet algemene bepalingen milieuhygiëne	bodembescherming (incl. IBS) (1994)	
(1979)		Bsb	Bouwstoffenbesluit (1999)
Wm	Wet milieubeheer (1993)	IPO	Interprovinciaal overleg
o-Wbb	ontwerp Wet bodembescherming (1971)		

1994/95 – 1999; Wm, Wbb (Beleid: IPO Interimbeleid "Werken met secundaire grondstoffen")

In december 1994 verscheen de nota met het IPO-interim beleid "Werken met secundaire grondstoffen". LD-slak is in IPO 1994 expliciet benoemd als een van de secundaire grondstoffen waar het IPO-interim beleid betrekking op heeft. In juni 1997 is een bijgestelde versie van het IPO-interim beleid "Werken met secundaire grondstoffen" gepubliceerd.

Met het IPO-interim beleid werd beoogd voor provincies, gemeenten en toepassers van secundaire bouwstoffen een milieuhygiënisch kader te creëren totdat het Bouwstoffenbesluit van kracht zou worden. Dit beleid was gebaseerd op de Wet milieubeheer en diende in het kader van de Provinciale Milieuverordening in elke provincie te worden vastgesteld door Gedeputeerde Staten. Vanaf het moment van vaststelling had dit beleid de status van regelgeving, die via de Provinciale Milieuverordening hing onder de Wm.

Het vaststellen gebeurde niet in elke provincie op dezelfde datum. Daarnaast waren er verschillen per provincie. Provincies konden de toepassing van secundaire bouwstoffen in aangewezen gebieden uitsluiten.

Onder het IPO-interim beleid bestonden de volgende categorieën toepasbare secundaire bouwstoffen, afhankelijk van de toetsing aan de uitloogwaarden (bijlage 3) en de grenswaarden voor organische parameters (in bijlage 5 van de nota):

- Categorie 1: Secundaire grondstoffen die ongeïsoleerd kunnen worden toegepast
 - Provincies konden zelf bepalen of er een melding nodig was
- Categorie 2: Secundaire grondstoffen die geïsoleerd moeten worden toegepast
 - Melding verplicht
 - Provincies konden zelf bepalen of er ook een vergunning nodig was
 - Toepassing alleen mogelijk met IBC-voorzieningen en in bepaalde type toepassingen
- Bijzondere categorieën: LD-slak viel (aanvankelijk) in een bijzondere categorie
 - Voor LD-slak was een specifieke toetswaarde voor bromide opgenomen. Dit had te maken met het blussen van LD-slak met zeewater. Provincies konden zelf de toetswaarden aanpassen en voor LD-slakken is dat in een aantal gevallen ook gebeurd voor bromide. Op 1 januari 1996 is deze bijzondere categorie vervallen. Doordat het productieproces inmiddels was veranderd en de slakken niet meer met zeewater werden geblust, voldeden de nieuwe staalslakken aan de algemene kwaliteitseisen uit categorie 1 of 2 en was het niet meer nodig om er een bijzondere categorie voor in stand te houden

1999 - 30 juni 2008; Wbb/Bouwstoffenbesluit

Het Bouwstoffenbesluit beoogde verontreiniging van de bodem en het oppervlaktewater door steenachtige bouwstoffen (en grond) tegen te gaan en het hergebruik van secundaire bouwstoffen te stimuleren. Voor staalslak golden dezelfde regels als voor andere niet vormgegeven bouwstoffen.

In het bouwstoffenbesluit werden drie categorieën toepasbare bouwstoffen onderscheiden, afhankelijk van de kwaliteit en aard:

- Categorie 1: Bouwstoffen die voldoen aan de samenstellings- en immissiewaarden voor bouwstoffen uit bijlage 2 van het Bouwstoffenbesluit. Toepassingen op landbodem hoefden niet te worden gemeld, in oppervlaktewater wel
- Categorie 2: Bouwstoffen die voldoen aan de samenstellingswaarden voor organische stoffen, maar niet voldoen aan immissiewaarden uit bijlage 2 van het Bouwstoffenbesluit. Toepassing moest verplicht worden gemeld. Categorie 2 bouwstoffen mochten alleen onder isolatiemaatregelen en bijbehorende beheers- en controlemaatregelen worden toegepast. De eigenaar van het werk diende jaarlijks een inspectierapport te leveren aan het bevoegd gezag
- Bijzondere categorieën: (niet relevant, want staalslak viel niet in een bijzondere categorie)

In het Bouwstoffenbesluit was geen artikel over zorgplicht opgenomen. Wel gold de zorgplicht uit artikel 13 Wbb. Het Bouwstoffenbesluit was een invulling van die zorgplicht, voor het toepassen van grond en bouwstoffen. Als bij een toepassing van bouwstoffen was voldaan aan de regels uit het Bsb, dan was daarmee in beginsel voldaan aan de zorgplicht uit de Wbb.

Op 6 juli 2005 is de Circulaire “Toepassing van staalslak en hoogovenslak(zand) in aanvullingen en ophogingen”³ gepubliceerd. De circulaire had als doel om de risico's van ongebruikelijke toepassingen van staalslakken en hoogovenslakkenzand in aanvullingen of ophogingen onder de aandacht te brengen, en aan te geven hoe met deze toepassingen in het kader van de wettelijke zorgplicht milieuhygiënisch verantwoord kon worden omgegaan.

Het bevoegd gezag is:

- Bij toepassing in oppervlaktewater: de waterkwaliteitsbeheerder (Rijkswaterstaat bij toepassing in Rijkswateren, het waterschap voor overige wateren)
- Bij toepassing op land binnen een Wm-inrichting waarvoor Gedeputeerde Staten bevoegd is: Gedeputeerde Staten
- Bij toepassing op land binnen een Wm-inrichting waarvoor de minister bevoegd is: de minister
- Overige toepassingen: Burgermeester en wethouders

1 juli 2008 - 1 jan 2024; Wbb/Besluit bodemkwaliteit

Voor staalslak golden dezelfde regels als voor andere niet vormgegeven bouwstoffen. Voor het toepassen van bouwstoffen gold geen meld- of informatieplicht, uitgezonderd IBC-bouwstoffen en hertoepassing van bouwstoffen onder dezelfde condities door dezelfde eigenaar.

“IBC-bouwstoffen” zijn niet-vormgegeven bouwstoffen die alleen mochten worden toegepast met isolatie-, beheers- en controle (IBC-)maatregelen. Het was verboden om IBC-bouwstoffen toe te passen in oppervlaktewater. Voor IBC-toepassingen golden speciale eisen aan de constructie van de toepassing en was er een monitoringsplicht. Staalslakken vielen gewoonlijk niet in de categorie IBC-bouwstoffen.

Alle bouwstoffen moesten zijn voorzien van een milieuhygiënische verklaring. De kwaliteit van bouwstoffen moest voldoen aan de maximale samenstellings- en emissiewaarden uit Bijlage A van de Regeling bodemkwaliteit. Dit was een verandering ten opzichte van het Bouwstoffenbesluit, waarin nog werd getoetst aan samenstellingswaarden en immissiewaarden.

Er waren soepelere regels voor vanadium, chloride, bromide, fluoride en sulfaat bij toepassing van bouwstoffen in grote (brakke of zoute) oppervlaktewaterlichamen. Voor toepassing van bouwstoffen op landbodem waren er geen soepelere regels. Op 1 april 2014 is de normering voor antimoon naar boven bijgesteld.

³ <https://wetten.overheid.nl/BWBR0018461/2005-07-06>

In artikel 7 van het Besluit bodemkwaliteit was een zorgplicht opgenomen:

Degene die bouwstoffen, grond of baggerspecie toepast en die weet of redelijkerwijs had kunnen weten dat door zijn handelen of nalaten nadelige gevolgen voor het oppervlaktewater ontstaan of kunnen ontstaan, die niet of onvoldoende worden voorkomen of beperkt door naleving van de bij of krachtens dit besluit gestelde regels, voorkomt die gevolgen of beperkt die zoveel mogelijk voor zover voorkomen niet mogelijk is en voor zover dit redelijkerwijs van hem kan worden gevegd.

Dit artikel was ook van toepassing op niet genormeerde parameters. Tevens was nog steeds de Circulaire "Toepassing van staalslak en hoogovenslak(zand) in aanvullingen en ophogingen" uit 2005 van toepassing.

Het bevoegd gezag is:

- Bij toepassing in oppervlaktewater: de waterkwaliteitsbeheerder (Rijkswaterstaat bij toepassing in Rijkswateren, het waterschap voor overige wateren)
- Bij toepassing binnen een Wm-inrichting waarvoor Gedeputeerde Staten bevoegd gezag is of bij toepassing in een gebied dat op de grond van de provinciale milieuverordening een bijzonder beschermingsniveau kent voor het toepassen van bouwstoffen: Gedeputeerde Staten
- Overige toepassingen: Burgermeester en wethouders

Bijlage 5 Voorbeelden van decentrale regelgeving

Er kan decentrale regelgeving voor de toepassing van staalslakken gelden. Een aantal gemeenten hebben daar al daadwerkelijk regels voor gesteld. Navolgend worden enkele voorbeelden gegeven van de verschillende manieren waarop gemeenten dit hebben benaderd:

- De gemeente Amsterdam⁴ heeft een meldingsplicht ingesteld voor het toepassen van bouwstoffen die bestaan uit meer dan 20 gewichtsprocenten staalslak. Een onderdeel van de melding is een beschrijving van de voorzieningen en maatregelen die worden getroffen om te voorkomen dat de staalslakken de zuurgraad van het grondwater of nabijgelegen oppervlaktewater significant beïnvloeden of anderszins in strijd met de zorgplicht worden toegepast
- De gemeente Lelystad⁵ heeft een meldingsplicht ingesteld voor het toepassen van staalslakken. Bouwstoffen die deels uit staalslakken bestaan worden daarbij niet expliciet benoemd
- De gemeente Hendrik-Ido-Ambacht⁶ heeft een verbod ingesteld op het toepassen van staalslakken, waarvan kan worden afgeweken door middel van een buitenplanse omgevingsplanactiviteit. Bouwstoffen die deels uit staalslakken bestaan worden daarbij niet expliciet benoemd
- De gemeente Dordrecht⁷ heeft een verbod ingesteld op het toepassen van staalslakken, zonder de mogelijkheid aan te geven dat kan worden afgeweken door middel van een buitenplanse omgevingsplanactiviteit. Bouwstoffen die slechts deels uit staalslakken bestaan worden daarbij niet expliciet benoemd

De gemeente Dordrecht is een voorbeeld van een situatie waarin sprake is van regionale regels die via de Omgevingsdienst Zuid-Holland Zuid zijn opgesteld. De aan de Omgevingsdienst deelnemende gemeenten hebben vervolgens ieder afzonderlijk de regels over het toepassen van staalslak vastgelegd in het eigen omgevingsplan.

In de gemeente Den Haag (waar op het Koningsplein problemen ontstonden bij het toepassen van Duomix) geldt geen decentrale regelgeving met betrekking tot het toepassen van staalslakken in niet-vormgegeven bouwstoffen.

⁴ <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR704877/1>

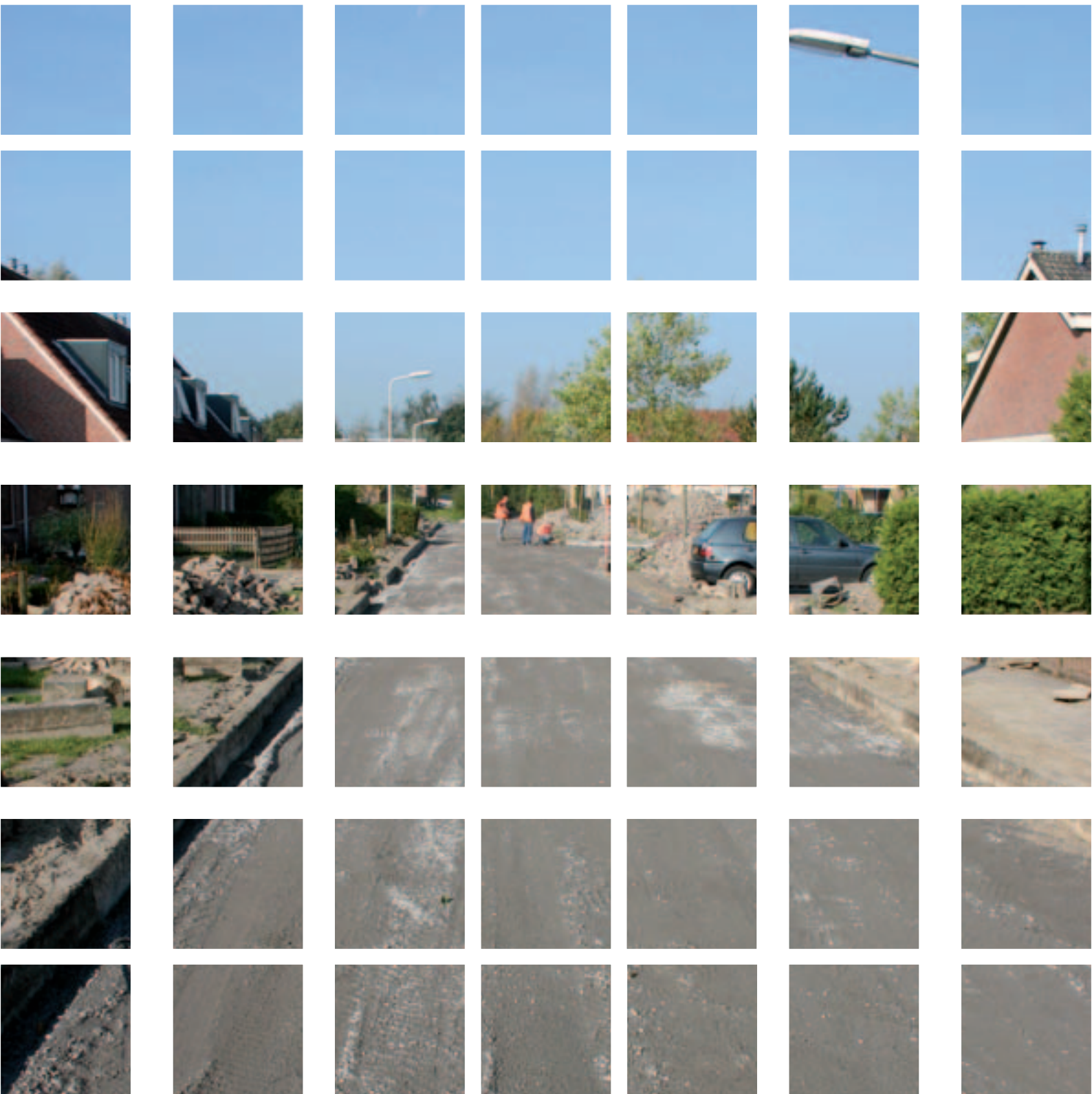
⁵ <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR719147/1>

⁶ <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR712635/1>

⁷ <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR711519/1>

Bijlage 6**Brochure Duomix toepassing als
fundering (periode Bouwstoffenbesluit)**

DUOMIX funderingen



funderingen met een hoog draagvermogen

keuze uit twee gradaties voor een juiste funderingslaag



Productie Duomix



Aanvoer Duomix per as



Afvoer Duomix per schip

Wat is Duomix?

Duomix is een mengsel van ca. 85 % gebroken LD-staalslak en ca. 15 % gegranuleerde hoogovenslak.
Voor Duomix als funderingslaag zijn er twee gradaties te verkrijgen: Duomix 0-8 mm en Duomix 0-22 mm.
Deze mengsels worden geproduceerd door Pelt & Hooykaas IJmuiden B.V. Duomix is zowel geschikt voor een funderingslaag met een gesloten toplaag, alsmede voor de funderingslaag bij een halfverharding van wandel- en fietspaden, parkeerterreinen en bermen.

De componenten

LD-staalslak ontstaat als vloeibaar gesteente bij de bereiding van staal uit ruwijzer bij Corus te IJmuiden. Dit proces wordt de methode Linz Donawitz (LD) genoemd, ofwel het oxystaalproces. De vloeibare staalslak (ca. 1500 °C) wordt verzameld in een slakbed en gecontroleerd afgekoeld met zoet water. Hierbij ontstaat een kristallijn gesteente. De afgekoelde slak wordt ontgraven, ontijzerd, gebroken en afgezeefd tot de gewenste korrelgradering.

Gegranuleerde hoogovenslak ontstaat als een vloeibaar gesteente bij de bereiding van ruwijzer uit ertssoorten in een hoogoven bij Corus te IJmuiden. De smelt wordt onder een hoge druk met veel water afgekoeld. Hierdoor ontstaat een fijne granulaire slak met een glasachtige structuur.

Duomix wordt verkregen door de gebroken LD- staalslak via dosering te mengen met circa 15% (m/m) gegranuleerde hoogovenslak.

Toepassingen

Duomix 0-8 mm wordt gebruikt als gebonden funderingslaag onder licht belaste elementenverhardingen.
Bij zware aslasten wordt een Duomix 0-22 gebruikt.

Specificaties

Eigenschap	typische waarde
Gehalte aan fijne bestanddelen	3%
Vreemde bestanddelen	geen
Los Angeles coëfficiënt	≤ 25%
Vlakheidsindex	≤ 20
Volumetoename van LD-staalslak in Duomix	≤ 5%
CBR-waarde/toename na 28 dagen 0-8 mm	≥ 30% / ≥ 125%
0-22 mm	≥ 50% / ≥ 125%
Maximale droge dichtheid	2,2 Mg/m³
Optimaal vochtgehalte	6% (m/m)
Korrel dichtheid (> 4 mm)	3,4 Mg/m³
Waterabsorptie (> 4 mm)	2% (m/m)
Kleur	grijs

Mechanische eigenschappen

Duomix is een funderingsmateriaal waarbij de aslasten beter worden opgevangen en gelijkmatig naar de ondergrond worden verspreid. Door de geringe hoeveelheid kalk in de LD-staalslak stabiliseert de Duomix bijzonder goed.
Dankzij de hoge verbrijzelingsweerstand, de hoekige korrelvorm en de korrelopbouw ontstaat na verdichting van de Duomix een funderingslaag met een hoog draagvermogen. Door de hydraulische eigenschappen van Duomix zal dit draagvermogen (geleidelijk) in de tijd toenemen.

Certificering

Duomix is gecertificeerd volgens de BRL 9310 'LD-staalslakmengsel voor toepassing in de wegenbouw'.



Duomix als straatmix



Triplaat



Duomix fundering onder een doorgaande weg

keuze uit elementenverhardingen en straatmix



Fundering duomix 0-22 mm



Fundering Duomix in woonwijk



Voorkomen van spoorvorming

Woonwijken met elementenverharding

In **nieuwe** woonwijken worden de wegen in het eerste jaar zwaar belast. Interieurleveranciers, hoveniers en verhuisbedrijven maken met hun bedrijfsauto's in een vroeg stadium "veelvuldig" gebruik van deze wegen. In een later stadium zullen de auto's van de bewoners veelal het straatbeeld gaan bepalen. In deze situatie is een dunne funderingslaag van Duomix een goede optie om spoorvorming en het onderhoud aan de elementenverharding te verminderen. En zodoende de levensduur van de elementenverharding te verhogen. Een laagdikte van 10 à 15 cm Duomix 0-8 mm op een zandbed geeft veelal een goed resultaat. Ondanks de hydraulische eigenschappen van Duomix is het materiaal in een later stadium door de fijne korrelgradering weer makkelijk uit het cunet te verwijderen. Met Duomix 0-8 mm wordt een dunne funderingslaag verkregen met een hoog draagvermogen.

Doorgaande wegen met elementenverharding

Op doorgaande wegen waar ook vracht- en busverkeer gebruik van maken is een funderingslaag van Duomix 0-8 mm niet meer toereikend en moet een Duomix 0-22 worden gebruikt. Een funderingslaag van 20 à 25 cm Duomix 0-22 mm op een zandbed geeft een dusdanig draagvermogen dat spoorvorming tot een minimum beperkt blijft. Duomix 0-22 mm heeft een hoge verbrijzelingsweerstand en voldoet aan de eisen voor verhardingslagen van steenmengsel, zoals opgenomen in de Standaard RAW Bepaling 2005.

Duomix onder straatlaag

Op een funderingslaag van Duomix komt bij een elementenverharding een laagje zand van ca. 3 cm straatlaag om daar de elementenverharding in aan te brengen. Bij dikkere straatlagen wordt het positieve effect van de Duomix op de spoorvorming minder. De spoorvorming zal dan in de straatlaag ontstaan.

Industrieterreinen /terminals met elementenverharding

Op terreinen met een intensief vrachtverkeer, zoals industrieterreinen, terminals e.d. is een Duomix 0/22 op een goed verdicht zandbed een goede constructie voor een funderingslaag met een hoog draagvermogen. Door de hydraulische eigenschappen van de Duomix zal dit draagvermogen geleidelijk in de tijd toenemen.

Producten van duomix: straatmix

Ook bestaat er een mogelijkheid om met Duomix 0-8 mm een licht gebonden straatzand te maken: Straatmix. Dit mengsel bestaat uit ongeveer 50 % wadzand en 50 % Duomix 0-8 mm. Straatmix onder een elementenverharding biedt een betere weerstand tegen vervorming.

Duomix onder graskeien

Duomix wordt al vele jaren gebruikt in bermen als bermverharding (zie hiervoor de brochure Duomix als halfverharding van aanleg tot onderhoud). Door het landbouwverkeer en vrachtverkeer worden de bermverhardingen vaak extra zwaar belast. Door de fijne gradering en bindende werking is Duomix 0-8 mm of 0-22 mm ook zeer geschikt om te gebruiken als fundering onder graskeien in bermen.

Duomix als stelspecie

Bij Duomix als funderingslaag of straatlaag is voor het stellen van trottoirbanden het gebruik van stelspecie overbodig geworden. De trottoirbanden kunnen rechtstreeks op de Duomix gesteld worden en om wegdrukken van de trottoirbanden te voorkomen kan ook achter de banden Duomix worden gebruikt. Voor de verwerking van de Duomix als stelspecie achter de banden dient extra water aan de Duomix te worden toegevoegd. De eigenschappen van Duomix komen ook bij deze toepassing goed tot hun recht.



Duomix onder elementenverharding



Duomix fundering onder grasbetonblokken



Stellen trottoirbanden in Duomix

keuze uit diverse toepassingen van Duomix funderingen

6



Duomix onder verkeersdrempels



Duomix als fundering onder een halfverharding



Duomix met elementverharding 6 jaar na aanleg

Milieuaspecten

Duomix voldoet aan de eisen van het Bouwstoffenbesluit en het Besluit Bodemkwaliteit. Het meegeleverde certificaat vormt in combinatie met de leveringsbonnen het wettige bewijsmiddel.

De maximale laagdikte waarin Duomix onder het Bouwstoffenbesluit mag worden toegepast wordt op de leveringsbonnen vermeld. Deze maximale laagdikte is ruimschoots voldoende voor de in deze brochure omschreven toepassingen van Duomix.

Duomix bevat circa 85 % (m/m) LD-staalslak, met een geringe hoeveelheid vrije kalk. Duomix mag daarom nooit in vijvers, sloten (oppervlaktewater) of in direct contact met het grondwater worden toegepast. Door uitspoeling van de vrije kalk kan een tijdelijke verhoging van de pH ontstaan. Dit effect zal na verloop van de tijd verminderen en uiteindelijk verdwijnen. De mate waarin is mede afhankelijk van de eigenschappen en aard van de bodem.

Voor de gangbare toepassingen van Duomix zijn voor zover bekend geen schadelijke milieueffecten geconstateerd.

Arbo-aspecten

Bij het werken met Duomix moet stofvorming voorkomen worden, waarbij de in de wegenbouw gangbare stofbestrijding (sproeien) kan worden gevolgd. (Standaard RAW bepalingen 2005, 28.12.03 en 28.14.02)

Stof van Duomix kan ogen, huid en ademhalingswegen irriteren. Na aanleg (in de gebruiksfase) is onder normale gebruikskondities de stofvorming nihil. In relatie tot de arbo-aspecten kan Duomix bij het verwerken worden vergeleken met betonmortel.

Contact met huid en ogen moet worden vermeden en het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen wordt aangeraden.

Voor meer informatie verwijzen wij u naar het veiligheidsinformatieblad dat op aanvraag beschikbaar is.

Wenken voor het probleemloos toepassen van Duomix

- In opslag kan Duomix los gestort langere tijd worden bewaard. Rijdt niet met een shovel op het los gestorte materiaal. Na een maand zullen er wat klonten in het materiaal gaan ontstaan. Deze klonten zijn met een shovelpak eenvoudig te verpulveren.
- Iedere grondsoort onder de funderingsconstructie heeft zijn eigen specifieke eigenschappen. Bij het maken van een constructie moet hiermede rekening worden gehouden.
- De genoemde laagdiktes zijn niet tot stand gekomen d.m.v. berekeningen, maar zijn gebaseerd op een langdurige praktijkervaring.
- Om een goede verdichting en een snelle stabiliserende werking van de Duomix te verkrijgen is het besproeien van de fundering direct na aanleg een eerste vereiste.
- Bij het gebruik van Duomix als versteviging achter uw banden, moet de Duomix op de hoop worden nat gemaakt en worden verwerkt als specie.



Duomix fundering onder granulaat paden



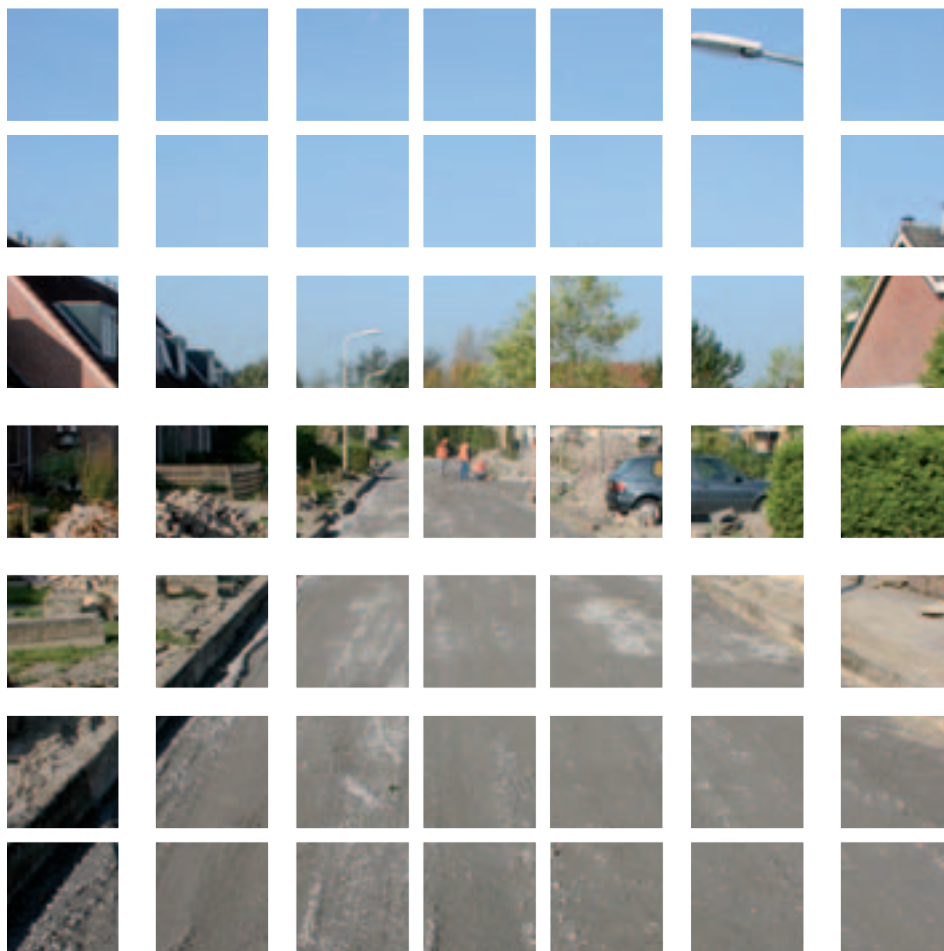
Duomix 0-22/straatmix



Duomix fundering als werkvloer

7

DUOMIX funderingen



Vertrouwde kwaliteit en deskundig advies

Pelt & Hooykaas is in 1901 als vennootschap opgericht, toen de firma Pelt te Rotterdam al 10 jaar een bekende leverancier van natuursteen was. In 1932 werd begonnen met de productie van slakgranulaten op het terrein van Hoogovens in IJmuiden, het huidige Corusterrein. Als tweede productielocatie kwam daar in 1968 het toenmalige Hoechst te Vlissingen bij, tegenwoordig Thermphos. In 1999 werd de Pelt & Hooykaas groep uitgebreid met zand- en grindhandel Waalwijk, die naast zand en grind tevens gespecialiseerd is in natuursteenkorrels.

Al vele decennia lang ontwikkelt Pelt & Hooykaas producten voor de weg- en waterbouw. Jaarlijks verwerken wij zo'n 1,4 miljoen ton product als toeslag-, stabilisatie- en bestortingsmateriaal, zowel voor fundering als halfverharding. Onze grote ervaring en deskundigheid verzekert u niet alleen van vertrouwde kwaliteit, maar staat u ook ten dienste. Om te beginnen met de praktische informatie in deze folder.

Wij zijn graag bereid om u persoonlijk nader te adviseren over de toepassing van Duomix.

Voor meer informatie of advies kunt u contact opnemen met:



Bijlstraat 1, 3087 AA Rotterdam, Postbus 59011 3008 PA Rotterdam
Telefoon +31 (0)10-42 85 111, Telefax +31 (0)10-42 98 836,
E-mail info@pelt-hooykaas.nl, Internet www.pelt-hooykaas.nl

Bijlage 7 Mineralogische reacties en praktijkonderzoek

Inleiding

Staalslak kan in de praktijk diverse mineralogische reacties ondergaan, dit geldt ook voor Duomix waarin staalslak het belangrijkste bestanddeel is. Alvorens in te gaan op de reacties, wordt kort stil gestaan bij de samenstelling van staalslak. Dit materiaal bestaat voor het grootste deel uit de elementen calcium, ijzer, silicium, magnesium en mangaan, daarnaast zijn in lagere gehalten ook aluminium, fosfor (fosfaat) en titaan aanwezig [1, 2]. Al deze elementen zijn normale bestanddelen van grond (klei, zand) maar de verhouding tussen de elementen is anders en dat geldt ook voor de mineralogie:

- Calcium en silicium zijn vooral aanwezig in de vorm van calciumsilicaten, hiervan is larniet (Ca_2SiO_4) het belangrijkste mineraal. Daarnaast is een beperkt deel van het calcium aanwezig als vrij calciumoxide, dit is verantwoordelijk voor de hoge pH van het materiaal
- IJzer is vooral aanwezig in de tweewaardige valentie, in de vorm van dubbeloxiden met mangaan en magnesium. Daarnaast is magnetiet een belangrijk mineraal (een dubbeloxide van twee- en driewaardig ijzer) en zijn er meer complexe verbindingen van ijzer, calcium, zuurstof, titaan en aluminium (ook wel ferieten of spinellen genoemd). Verder is een klein deel van het ijzer in metallische vorm aanwezig
- Magnesium is vooral aanwezig in de hierboven genoemde bindingsvorm met ijzer, maar het is niet uitgesloten dat een beperkt deel als vrij magnesiumoxide aanwezig is

Staalslak en hoogovenslak zijn materialen met reducerende eigenschappen [3]. Dit vindt zijn oorsprong in de aanwezigheid van stoffen in een gereduceerde vorm, zoals metallisch en tweewaardig ijzer, tweewaardig mangaan en sulfiden. Overigens is het gehalte aan sulfiden in staalslak laag. Verder worden beide materialen gekenmerkt door een hoge pH van circa 12. Dit is het gevolg van de aanwezigheid van vrij calciumoxide (CaO) en eventueel magnesiumoxide. Gezien deze eigenschappen, zijn bij toepassingen van Duomix onder atmosferische condities diverse reacties mogelijk, namelijk:

1. Hydratatie: dit zijn reacties met water. Als bijvoorbeeld calciumoxide in contact komt met water, ontstaat calciumhydroxide. Dergelijke reacties leiden ook tot binding van materialen met 'cementerende' eigenschappen, vergelijk het toevoegen van water aan cementmortel
2. Oxidatie: dit zijn reacties met zuurstof. Hierdoor kan gereduceerd zwavel via een aantal stappen worden omgezet in sulfaat en kan metallisch en tweewaardig ijzer oxideren naar de driewaardige vorm
3. Carbonatatie: dit is een reactie van basische mineralen, met name hydroxiden en silicaten van calcium en magnesium, met CO_2 . Hierbij worden stabiele carbonaten (calcium- en magnesiumcarbonaat) gevormd

In de volgende subparagrafen wordt besproken in hoeverre deze reacties optreden in de praktijk en wat de consequenties zijn voor de milieuhygiënische kwaliteit van het materiaal.

Hydratatie

Hydratatie-reacties vormen de grondslag van binding van materialen. In cementmortels of beton reageert het cement met water, hierbij worden nieuwe mineralen gevormd die de aanwezige korrels (zand, grind) aan elkaar kitten. Gegraneerde hoogovenslak (ook slakkenzand genoemd) is de belangrijkste grondstof voor hoogovencement. Voor toepassing in cement wordt dit slakkenzand onder meer fijn gemalen. Het slakkenzand zelf is minder reactief dan cement, maar heeft wel bindende eigenschappen en wordt daarom toegevoegd aan het Duomix mengsel. De bindende eigenschappen van staalslak zijn aanzienlijk minder dan van hoogovenslak. Het ontstaan van een halfverharding is dus primair het gevolg van de reactiviteit van het slakkenzand.

Uit onderzoek [4] blijkt dat hydratatie van staalslak een gunstig effect heeft op de emissies van chroom, vanadium, antimoon en arseen (deze dalen, vooral voor vanadium is het effect groot) terwijl de emissie van barium stijgt, maar wel zeer ruim binnen de norm blijft. De pH stijgt na hydratatie enigszins tot maximaal 11,8, de hoge pH is normaal voor staalslak. Het onderzochte materiaal wijkt af van standaard staalslak omdat het luchtgekoeld is in plaats van watergekoeld. Hierdoor kunnen de emissies van vanadium en chroom hoger zijn dan normaal. De afname van de emissies is echter wel in lijn met andere onderzoeksresultaten. Nieuwvorming van mineralen, zoals ook bij immobilisatie optreedt, leidt tot fysische inkapseling maar de metalen kunnen ook in de matrix van de nieuwgevormde mineralen worden ingekapseld. Uit de bepalingen van diverse mineralen blijkt duidelijk dat nieuwvorming van mineralen bij hydratatie optreedt [4].

Oxidatie

Oxidatie kan meerdere effecten hebben op de uitloging van staalslak:

- Verzuring, vooral als gevolg van zwaveloxidatie. Het gehalte aan gereduceerd zwavel in staalslak is echter relatief laag en de buffercapaciteit is hoog. Uit onderzoek van ECN [5] blijkt dat er na oxidatie weinig verandert aan de buffercapaciteit (het zuurneutraliserend vermogen), daarom worden geen significante effecten op de pH verwacht (pH-effecten worden verder besproken in de volgende subparagraaf).
- Toename van de sulfaatemissie door zwavel-oxidatie: dit effect blijkt gering aangezien staalslak relatief weinig gereduceerd zwavel bevat [5]
- Toe- of afname van de emissies van metalen. Oxidatie kan leiden tot een verandering van valentie of van mobilisatie van sulfide-gebonden metalen. Anderzijds kunnen nieuwgevormde (driewaardige) ijzerhydroxiden ook zware metalen binden.

Door ECN (nu TNO) is onderzoek gedaan naar het effect van oxidatie door middel van laboratoriumproeven met en zonder additie van waterstofperoxide. Dit is een worstcase-benadering, waterstofperoxide is een aanzienlijke sterkere oxidator dan zuurstof en komt normaliter niet in het milieu voor. De effecten moeten daarom als indicatief worden beschouwd. De sterke oxidatie in combinatie met pH-sturing leidt tot een vergelijkbare of wat lagere emissie van barium en strontium. De klassieke metalen (Cd, Cr, Pb en dergelijke) laten veelal een toename zien, voor vanadium is het beeld niet eenduidig, bij hoge en neutrale pH is er weinig verschil, daartussen (pH 9-11) zijn de emissies na oxidatie wat hoger.

Zoals gezegd zijn de condities bij deze proeven rigoureus, daarnaast is er bij kortdurende proeven niet of nauwelijks gelegenheid voor nieuwvorming van mineralen, die vrijkomende metalen kunnen binden. Desondanks geven ook andere bronnen wel aanwijzingen dat de mobiliteit van vanadium kan toenemen bij oxidatie. Dit is bijvoorbeeld waargenomen bij diffusie- en lysimeter-proeven [5, 6] en wordt als volgt verklaard: door het reducerende karakter van staalslak is vanadium aanvankelijk vooral in de vierwaardige vorm aanwezig. Door oxidatie kan het overgaan naar de meer mobiele vijfwaardige vorm. Voor chroom is dit niet waargenomen, dit element is aanwezig in de driewaardige vorm en gebonden in zeer stabiele mineralen. Er is bij veroudering van de staalslak geen sprake van oxidatie naar de zeswaardige vorm, die in een toename van de emissie zou resulteren [6]. Het pH-redox diagram van chroom is in overeenstemming met deze constatering: als de pH van de staalslak daalt, neemt de stabiliteit van driewaardig chroom toe (dat wil zeggen, dit is bij hogere redoxwaarden – meer geoxideerde condities – stabiel, in vergelijking met de hoge begin-pH van staalslak).

Samenvattend wordt geconcludeerd dat oxidatie in beginsel kan resulteren in een toename van de mobiliteit van vanadium, voor de andere metalen zijn hiervoor geen duidelijke aanwijzingen. Aangezien oxidatie plaatsvindt door contact met luchtzuurstof en lucht ook CO₂ bevat, wordt in de volgende paragraaf ook ingegaan op het gecombineerde effect van carbonatie en oxidatie.

Carbonatie

Carbonatie is de reactie van calcium- en magnesium- (hydr)oxiden en silicaten met CO₂, zie als voorbeeld onderstaande reacties. Carbonatie resulteert in neutralisatie (daling van de pH) en de vorming van calcium- of magnesiumcarbonaat. Hierdoor wordt CO₂ stabiel vastgelegd.



Carbonatie is een algemeen voorkomend proces, dit is onder meer aangetoond in opslagdepots van staalslakken [11, 13] en bij diverse proeven [8, 9], in een praktijktoepassing van AEC-bodemas [14] en het treedt ook op in beton [15]. Staalslak zal in praktijktoepassingen zeker met CO₂ reageren, maar het is de vraag hoe snel dit verloopt. Dit is van meerdere factoren afhankelijk:

- De snelheid van toevoer van CO₂ is een zeer belangrijke factor. CO₂ kan zowel uit de atmosfeer als uit de bodemlucht afkomstig zijn. In de bodemlucht zijn de CO₂-concentraties veelal enkele procenten, dus aanzienlijk hoger dan in de atmosfeer. Toevoer vanuit de atmosfeer kan gehinderd worden door een verhardingslaag (zoals asfalt) maar dat speelt geen rol als Duomix als halfverharding wordt toegepast.
- Vochtgehalte: optimaal is een vochtige situatie, zowel droge als waterverzadigde condities remmen het proces. De condities in een fundering zijn in beginsel gunstig.
- Laagdikte van de constructie: carbonatie begint zowel aan het oppervlak (CO₂ uit de atmosfeer) als aan de onderzijde van de laag (CO₂ uit de bodem), de reactie zal zich langzaam naar binnen verplaatsen.

De omzetting kost uiteraard meer tijd naarmate de laag staalslakken dikker wordt. Ook hiervoor geldt dat de condities in toepassingen van Duomix gunstig is omdat de laagdikte beperkt is (orde van grootte 10 cm).

- Korrelgrootte: de reactie met CO₂ begint aan de buitenzijde van de korrels. Een volledige omzetting kan snel bereikt worden voor fijne korrels, maar naarmate de korrels grover worden duurt het langer. Duomix 0-8 mm zal dus sneller reageren dan Duomix 0-31,5 mm.

Zoals hierboven beschreven, reageert CO₂ zowel met calcium(hydr)oxide als met calciumsilicaten. Staalslak bevat enkele procenten calcium(hydr)oxide en enkele tientallen procenten calciumsilicaten [2]. Behalve dit verschil in gehalte, speelt ook een verschil in oplosbaarheid een rol: de oplosbaarheid van calcium(hydr)oxide is globaal 1 gram/l, terwijl voor silicaten de oplosbaarheid beperkt is tot enkele tientallen milligram. Dit betekent dat calcium(hydr)oxide aanzienlijk sneller wordt omgezet dan de aanwezige calciumsilicaten. Dit is belangrijk voor het pH-effect: de pH van calcium(hydr)oxide ligt rond de 12, die van calciumsilicaten rond de 10. Als alleen calcium(hydr)oxide zou reageren met CO₂, worden de risico's van de hoge pH dus al grotendeels weggenomen.

Als op lange termijn zowel calcium(hydr)oxide als calciumsilicaten zijn omgezet wordt kalk (calciumcarbonaat) het mineraal dat de pH bepaalt. De pH van kalk in evenwicht met de atmosferische CO₂-concentratie bedraagt circa 8,5 [16].

Uit oogpunt van daling van de pH is carbonatatie een gunstig proces. Behalve in de staalslak zelf, kan ook een eventuele pH-verhoging in de omringende bodem of het grondwater door deze omzetting ongedaan worden gemaakt.

Het effect op de uitloging, zoals al aangestipt in paragraaf 5.1.3, verschilt per stof. De verandering in pH heeft direct invloed op de oplosbaarheid van metalen. Deze effecten zijn uitgebreid bestudeerd met pH-gestuurde roerproeven, zie bijvoorbeeld [3, 16]. De algemene trend is dat carbonatatie in een afname van de emissies van metalen in kationogene vorm resulteert (zoals lood, zink, koper, aluminium), terwijl het effect op metalen in anionvorm (zoals molybdeen, vanadium) neutraal tot negatief is. Hierbij geldt wel de beperking dat pH-sturing een worst case benadering is in die zin dat nieuwvorming van mineralen niet of onvoldoende wordt meegenomen. In de proeven wordt de pH verlaagd door additie met salpeterzuur gedurende 1 dag. In de praktijk is vooral de reactie met CO₂ bepalend, deze reactie vindt jarenlang plaats en hierbij worden nieuwe mineralen, zoals kalk, gevormd. Deze mineralen kunnen vrijkomende metalen binden. In [13] is bijvoorbeeld aangetoond dat kalk vanadium bevat. Ook andere onderzoeken wijzen op een belangrijke rol van de nieuwvorming van mineralen [17].

Met de voorgaande opmerkingen in gedachten, worden de resultaten besproken van pH-gestuurde roerproeven met zowel staalslak als hoogovenslak [5]. Hieruit blijkt dat:

- De emissie van aluminium snel daalt; bij een pH van 10,5 is de emissie uit staalslak al afgenomen van naar circa 0,1 mg/kg ds (emissie bij pH 12 circa 3 mg/kg ds)
- De emissie van barium duidelijk toeneemt als de pH daalt; bij pH 12, 10 en 8 bedraagt deze respectievelijk circa 1,5, 4 en 8 mg/kg ds. Deze emissies voldoen nog wel aan de NVG-eis

- De emissie van vanadium eveneens duidelijk toeneemt als de pH daalt; bij pH 12, 9,5 en 8 bedraagt deze respectievelijk circa 1, 30 (maximum) en 20 mg/kg ds. De emissies bij de lagere pH-waarden overschrijden de NVG-eis (1,8 mg/kg ds) in sterke mate

Voor hoogovenslak geldt dat de emissie van vanadium op een laag niveau ligt ($<<1$ mg/kg ds) en weinig gevoelig is voor pH-verandering. De toevoeging van hoogovenslak kan dus tot op zekere hoogte een dempend effect hebben op de emissie van Duomix. De emissie van barium uit hoogovenslak is globaal gezien vergelijkbaar met die uit staalslak, een afname van de pH heeft echter minder invloed.

De proeven zijn zowel met het materiaal als zodanig ("reducerend") als na behandeling met een sterke oxidator (waterstofperoxide) uitgevoerd. Zoals eerder gezegd leidt deze behandeling waarschijnlijk tot een overschatting van de effecten van oxidatie. De tendens is dat oxidatie tot hogere emissies van vanadium en lagere emissies van barium leidt. De effecten van oxidatie zijn duidelijk minder groot dan de effecten van pH-verandering.

Bij deze proeven komen, afgezien van het pH-effect, de effecten van nieuwvorming van mineralen niet tot uiting. Bekend is dat calcium- en bariumcarbonaat slecht oplosbaar zijn en dat vanadium in nieuwgevormde mineralen kan worden opgenomen. Ook kan de nieuwvorming van driewaardige ijzer(hydr)oxiden tot adsorptie van metalen leiden. Het effect van pH-daling kan in de praktijk dus minder groot zijn dan uit deze proeven blijkt maar desondanks geldt voor vanadium wel een potentieel risico, wat aandacht verdient.

Praktijkwaarnemingen

De effecten van 'veroudering' van staalslak moeten bij voorkeur geverifieerd worden onder praktijkcondities of door langdurige, grootschalige proeven met niet verkleind materiaal. Helaas vindt er nauwelijks langdurige monitoring in de praktijk plaats en ook langdurige, grootschalige proeven worden nauwelijks uitgevoerd. Uit gesprekken die we hebben gevoerd blijkt wel dat een aantal gemeente het voornemen heeft toepassingen met Duomix of vergelijkbare producten te monitoren. Wat betreft Duomix is er onderzoek gedaan aan materiaal dat is toegepast in fietspaden in Drenthe. Dit betreft enerzijds partijkeuringen van materiaal dat werd afgevoerd, anderzijds onderzoek van bodem en grondwater onder en nabij de fietspaden. Verder heeft het RIVM een risicobeoordeling uitgevoerd op basis van de resultaten van deze onderzoeken [18]. De onderliggende onderzoeksrapporten zijn deels via Staatsbosbeheer verkregen, maar dit betreffen alleen trajecten waarin Koers fietspadenmix (KFP) is toegepast, niet het traject met (alleen) Duomix. Hoewel bekend is dat in de KFP ook staalslak zit, is de samenstelling voor het grootste deel onbekend.

In tabel B7.1 zijn emissies van vanadium en andere parameters, voor zover bekend, weergegeven. Hieruit blijken vooral voor KFP (zeer) hoge waarden, dit materiaal is niet meer toepasbaar als NVG-bouwstof. De emissies van Duomix zijn duidelijk lager, een deelmonster voldoet nog aan de NVG-eis, gemiddeld voldoet ook deze partij niet aan de eis.

Daarentegen is de emissie van barium laag en ook alle andere standaardparameters zijn niet aantoonbaar of ze voldoen ruim aan de NVG-eis. In het RIVM-rapport [18] worden ook vanadiumemissies vermeld van KFP-mix afkomstig uit fietspaden nabij Sleen. Ook voor deze partijen zijn relatief hoge waarden, tussen 17,4 en 23,7 mg/kg ds, aangetoond.

Tabel B7.1 Emissies vanadium en andere parameters o.b.v partijkeuringen van verwijderd materiaal uit fietspaden in Drenthe. Duplo-monsters, Emissies in mg/kg ds. N.b. is niet bekend (onderliggende rapportage is niet beschikbaar).

	Ruinen	Dwingeloo	Drents Friese Woold		
Type materiaal	KFP	KFP	Duomix	KFP/Duomix	KFP
Vanadium	4,1/20	26,2/28,6	1,38/4,45	35/35,7	23,1/41,6
Barium	<0,6/<0,6	<0,6/<0,6	N.b.	N.b.	N.b.
Sulfaat	73/37	<300/<300	N.b.	N.b.	N.b.
pH	8,1/8,7	8,9/8,6	N.b.	N.b.	N.b.

Er zijn geen uitgangswaarden van KFP-mix bekend maar in de veronderstelling dat het materiaal bij aanbrengen voldeed aan de NVG-eisen en dat de pH hoog was, wordt geconcludeerd dat:

1. Neutralisatie is opgetreden
2. De vanadiumemissie in de loop van de tijd sterk is toegenomen
3. De bariumemissie wellicht is afgenomen

De toename van vanadium is bij Duomix veel geringer dan bij KFP-mix. Omdat pH-waarden van deze keuring ontbreken, is onduidelijk of deze geringere toename is te verklaren door een minder sterke afname van de pH. De toename van vanadium bij de KFP-mix is namelijk wellicht het gevolg van de pH-daling en komt goed overeen met de resultaten van pH-gestuurde roerproeven die door ECN zijn uitgevoerd [5]. Anderzijds voorspellen deze proeven ook een toename van barium, die niet is opgetreden. Wellicht wordt barium vastgelegd, mogelijk door carbonaatvorming. Bij versnelde veroudering van AEC-bodemassas via het doorleiden van CO₂, is ook een afname van barium gevonden [19]. De analyses van sulfaat laten zien dat oxidatie van zwavel, voor zover dat is opgetreden, geen grote effecten heeft.

Op de locaties Ruinen en Dwingeloo is ook onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de grond onder en naast de fietspaden en naar de kwaliteit van het grondwater. In de laag van 10 cm grond onder de halfverharding is barium niet aantoonbaar. Vanadium is alleen op de locatie Ruinen bepaald, de gehalten waren 25 en 28 mg/kg ds. Deze vallen binnen de achtergrondwaarde voor grond. De nulsituatie is voor zover bekend niet vastgelegd, het is denkbaar dat het gehalte wel enigszins is toegenomen. De pH-CaCl₂ was op de locatie Ruinen 7,1 (2x) en op de locatie Dwingeloo 6,4 en 5,8. Er zijn daarmee geen aanwijzingen dat de pH is gestegen door de toepassing van staalslakken.

De vanadiumgehalten in de bermen naast de fietspaden laten een grote variatie zien. De analyses hebben meestal betrekking op mengmonsters van 4 boringen van 0-0,5 m -mv. Twee mengmonsters zijn uitgesplitst in deelmonsters, soms is ook onderscheid gemaakt in lagen.

Op basis van alle analyses geldt dat de grond 28x algemeen toepasbaar is, 5x toepasbaar is als klasse industrie en 4x niet toepasbaar is. De niet toepasbare monsters betreffen 2x een toplaag van 10 of 20 cm (het onderliggende materiaal is dan wel toepasbaar), voor de klasse Industrie betreft het 1x een toplaag van 10 cm. In de onderzochte monsters is vanadium 14x niet aantoonbaar. In de bermen worden op sommige plaatsen dus veel hogere gehalten gevonden dan onder de fundering. Dit wordt door de onderzoekers verklaard uit afstroming over het oppervlak van de fietspaden (het water zou meer afstromen dan door het materiaal percoleren). Hoewel dit een rol kan spelen, kan hiermee niet de grote variatie in gehalten worden verklaard. Immers, deze afstroming zal overal optreden en hoge gehalten zijn slechts op een deel van de locaties aangetroffen. De meest aannemelijke verklaring lijkt daarom dat op de locaties met hoge gehalten bouwstof is vermengd met grond. Met name als het om fijn materiaal gaat, is dit lastig te onderscheiden. Naast de grote fluctuaties, geven de gemeten uitloogemissies evenmin een verklaring voor de hoge gehalten in grond.

Op de locaties zijn in totaal 11 peilbuizen geplaatst. De pH in het grondwater varieerde tussen 4,6 en 6,2, dit zijn natuurlijke waarden voor dit gebied. Er is geen indicatie voor invloed van de (sterk basische) staalslakken. De vanadiumconcentratie varieerde tussen <2 en 16 µg/l, gemiddeld was deze 4,6 µg/l. Dit zijn concentraties die ook van nature voorkomen.