

Circulariteit van ballast

Naam: Lourens-Jan ten Hove
Studienummer: 5339782
Begeleiders: Markine, Dollevoet



VOORWOORD

Dit rapport is het eindwerk van de bachelor opleiding 'Civiele Techniek' aan de Technische Universiteit Delft en gaat over de circulariteit van ballast. In dit rapport wordt onderzocht hoe ballast een circulair materiaal kan worden.

Specialisten die vooral geïnteresseerd zijn in de mogelijke doeleinden van ballast aan het eind van de levensduur, kunnen deze vinden in hoofdstuk 7. De manieren om ballast schoon te maken worden beschreven in hoofdstuk 6.

Ik wil graag mijn begeleiders Markine en Dollevoet bedanken voor de begeleiding en waardevolle adviezen. Ook wil ik de medewerkers van Railpro en de BAM bedanken die mij hebben geholpen met het beantwoorden van vragen.

Katwijk, juni 2023

Lourens-Jan ten Hove

SAMENVATTING

Nederland heeft ongeveer 7000 km spoor en bij het onderhoud daaraan komt er jaarlijks ongeveer 500 duizend ton aan ballast vrij. Het zou dus mooi zijn als dit allemaal hergebruikt kan worden. Maar doordat het ballast tijdens de levensduur vervuild en versleten raakt kan dit niet zomaar. De ballast wordt als chemisch afval beschouwd doordat er zware metalen in zitten door slijtage van metalen componenten rondom het spoor.

Het doel van dit rapport is om antwoord te geven op de hoofdvraag: *'Hoe kan ballast een circulair materiaal worden?'*

Ballast wordt vaak gebruikt voor spoorwegen omdat het relatief goedkoop is om aan te leggen en omdat het makkelijk te onderhouden is. Ballast wordt altijd uit het buitenland geïmporteerd omdat het in Nederland niet voorkomt. Vaak uit Duitsland, Noorwegen of België.

Circulariteit staat voor het zo weinig mogelijk gebruiken van materiaal, het hoogwaardig hergebruiken van materiaal en het recyclen van materiaal. Om ballast circulair te laten worden moeten er dus ten eerste zo weinig mogelijk gebruikt worden, moet het zo vaak mogelijk voor de spoorwegen hergebruikt worden en moet het daarna op een andere manier hoogwaardig hergebruikt worden.

Dit wordt al voor een groot deel gedaan maar kan nog beter. Door middel van horren en zeven op locatie wordt al veel ballast hergebruikt voor de spoorwegen. Maar daarna wordt het vaak afgevoerd en niet op een hoogwaardige manier hergebruikt. Het gebeurt wel dat ballast wordt hergebruikt in beton maar het wordt ook vaak vermengd met puinkorrel.

Voor de circulariteit is het belangrijk dat er alles wordt hergebruikt, dus ook het kleinere grind en zand. Dit kan ook op veel manieren worden hergebruikt in bijvoorbeeld beton, asfalt of voor decoratief gebruik.

Tenslotte zijn er ook alternatieven voor ballast onderzocht, want ballast zou pas echt circulair zijn als het er helemaal niet meer is. Er kan bijvoorbeeld beton gebruikt worden, echter is dit veel duurder. Ook kunnen er metaalslakken gebruikt worden, alleen moet er nog meer onderzoek gedaan worden naar de vervuiling die het kan veroorzaken.

Kortom, ballast kan een circulair materiaal worden door alles op een hoogwaardige manier her te gebruiken. Waarbij er dus geen restproducten zijn, ook niet bij de tweede levenscyclus. Hierbij is het belangrijk dat het ballast niet zijn waarde verliest en dat het wordt hergebruikt voor iets wat aan gelijkwaardige waarde is of zelfs nog meer waard is, zoals beton of asfalt.

INHOUDSOPGAVE

Voorwoord	i
Samenvatting	ii
1 Inleiding	1
2 Wat is ballast?	2
2.1 Waarom ballast	2
2.1.1 Taken en eisen ballast	2
2.2 Soorten ballast	3
2.2.1 Basalt	3
2.2.2 Gneis	4
2.2.3 Graniet	4
2.2.4 Porfier	4
2.3 Kwartsloos ballast	5
2.3.1 Basaniet	5
3 Waarom is ballast niet circulair?	6
3.1 Wat is circulariteit	6
3.1.1 Reduce	6
3.1.2 Reuse	6
3.1.3 Recycle	6
3.2 Slijtage ballast	6
3.2.1 Locale schaal	6
3.2.2 Globale schaal	7
3.3 Vervuiling	7
3.3.1 Zand/stof	7
3.3.2 Metalen	8
4 Wat wordt er nu gedaan met ballast aan het eind van de levensduur?	9
4.1 Hergebruik ballast	9
4.1.1 Kettinghor	9
4.1.2 Zeven	9
4.2 Zeefzand	10
4.2.1 Bouwstof of grond?	10
4.3 Recycle locaties	10
4.3.1 Locaties door Nederland	11
5 Hoe kan ballast worden schoongemaakt?	12
5.1 Zeven	12
5.1.1 Droog zeven	12
5.1.2 Nat zeven	13
5.2 Wassen	14
5.2.1 sproei installatie	14
5.3 Ontwateren	14
5.3.1 Centrifugeren	14
5.3.2 Filtreren	14
5.3.3 Zandvanger	14
5.4 Zware metalen verwijderen	14
5.4.1 Chemische methode	14
5.4.2 Biologische methode	15

5.4.3	Immobilisatie	15
6	Waar kan schoongemaakt ballast het beste voor worden gebruikt?	16
6.1	Grove fractie	16
6.1.1	Beton	16
6.1.2	Schanskorf	17
6.1.3	Fundering onder weg	17
6.1.4	Hergebruik voor lightrail	17
6.1.5	Decoratief gebruik	18
6.2	Grind	18
6.2.1	Beton	18
6.2.2	Decoratief gebruik	18
6.2.3	Asfalt	18
6.3	Zand-fractie	18
6.3.1	Beton	19
6.3.2	Asfalt	19
6.3.3	Zandlichaam onder spoor	19
6.4	Op andere manier ballast hergebruiken voor spoor	19
6.4.1	Opgesloten ballast	19
6.4.2	Verlijmd ballast	20
7	Zijn er alternatieven voor ballast?	21
7.1	Metaalslakken	21
7.2	Beton	22
7.3	Riviergrind	22
7.4	Puinkorrel	23
8	Conclusie en aanbevelingen	24
8.1	Conclusie	24
8.2	Aanbevelingen	25
9	Discussie	26
	Literatuurlijst	27
10	Bijlagen	30

1 INLEIDING

Een belangrijk deel van een spoor constructie is ballast. Dit ligt onder de dwarsliggers en verspreidt de krachten naar de ondergrond. Helaas moet dit om de zoveel tijd vervangen worden door slijtage, hierdoor komt er jaarlijks 500 duizend ton aan ballast vrij (Carta, 2021). Maar het afvoeren van ballast is nog niet zo gemakkelijk. Ballast wordt als chemisch afval gezien, dit betekend dat het als onveilig moet worden beschouwd tot het tegendeel bewezen is. Dit maakt het heel lastig om te recyclen, ballast moet daarom dus eerst worden schoongemaakt voordat het verder kan worden verwerkt. In vuile ballast kunnen verschillende soorten metalen voorkomen en er zit zand en stof in. De metalen komen in de ballast terecht door slijtage van de metalen componenten in de buurt van het spoor, zoals de remmen van de trein of de rails zelf. Het zand en stof komt in de ballast terecht door slijtage van de ballast stenen. De zware metalen zijn het grootste probleem omdat deze schadelijk voor de gezondheid en het milieu zijn, maar zand/stof is ook niet gewenst omdat het de kwaliteit van ballast vermindert.

Het is echter wel belangrijk dat ballast hergebruikt kan worden omdat nieuw ballast geïmporteerd moet worden en dus veel geld kost. Het hergebruiken van ballast kost ook geld maar dat geld wordt tenminste in het eigen land uitgegeven. Ook is hergebruik belangrijk om het spoor milieuvriendelijker te maken. Doordat nieuw materiaal geïmporteerd moet worden is de impact op het milieu ook groter door het transport. Bij hergebruik hoeft het ballast veel minder ver getransporteerd te worden dus is dat beter voor het milieu.

Omdat ballast niet voor altijd her te gebruiken is voor de spoorwegen moeten er ook andere alternatieven worden onderzocht.

Dit rapport beantwoordt de volgende vraag: **'Hoe kan ballast een circulair materiaal worden?'** Dit gebeurt op basis van een **literatuuronderzoek**. Dit onderzoek zal vooral op ballast gefocust zijn maar ook op het restproduct na het reinigen van ballast. De hoofdvraag zal beantwoord worden in 6 deelvragen. Na deze 6 deelvragen zal er een conclusie worden getrokken en hopelijk een aanbeveling over hoe ballast efficiënter kan worden hergebruikt.

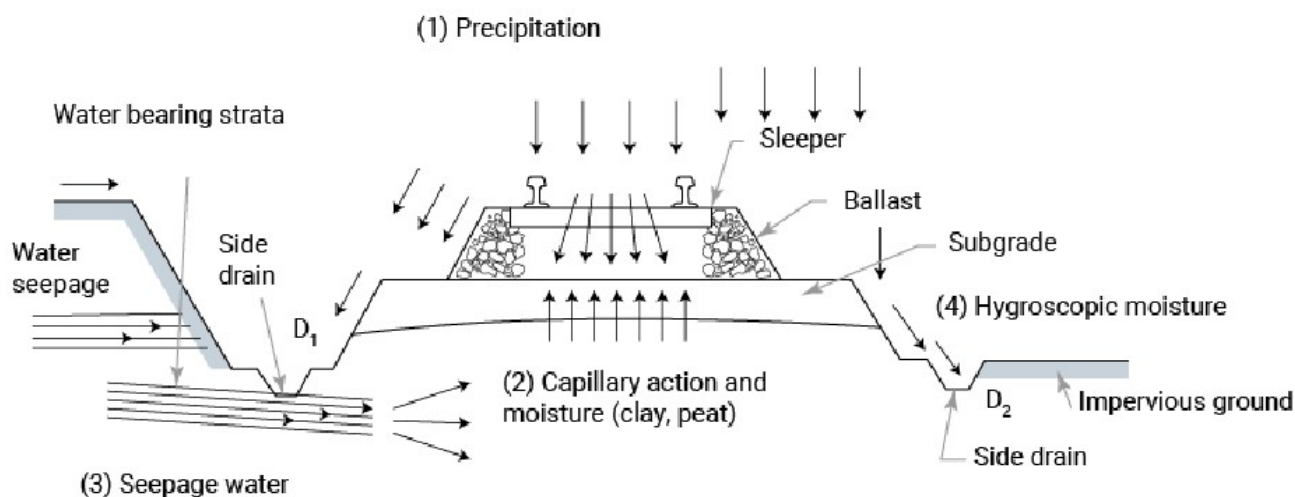
Opbouw rapport is als volgt in hoofdstuk 2 wordt er onderzocht waarom er ballast onder het spoor ligt, wat de functies zijn en waar het vandaan komt. Dit is belangrijk voor de rest van het onderzoek. In hoofdstuk 3 wordt onderzocht waarom ballast niet circulair is en in hoofdstuk 4 wordt er onderzocht wat er nu met ballast aan het eind van de levensduur gebeurt. In hoofdstuk 5 wordt onderzocht hoe het vervuilde ballast schoongemaakt kan worden en in hoofdstuk 6 worden er mogelijke doeleindes gegeven en geëvalueerd voor het hergebruik van het schoongemaakte ballast. Ten slotte worden er in hoofdstuk 7 alternatieven voor ballast onderzocht.

2 WAT IS BALLAST?

Om de hoofdvraag beter te kunnen begrijpen is het eerst nodig om te weten wat ballast is, wat het doet en waar het vandaan komt. Daarom wordt dat in dit hoofdstuk uitgelegd.

2.1 Waarom ballast

Het ballast in dit onderzoek is spoorweg ballast. Dit zijn de kleine stenen die onder de spoorstaven en tussen de dwarsliggers liggen. Op de HSL na zijn alle spoorwegen in Nederland een ballastspoor. Dat is dus ongeveer 7000 km spoor. Ook in de rest van de wereld is een ballast spoor de meest voorkomende spoorweg constructie. Dit komt doordat ballast op veel plekken in de wereld gewonnen kan worden en het goedkoop is vergeleken met andere opties. Ook kan door ballast het spoor bij onderhoud recht gelegd worden zonder dat het al te veel moeite kost. (ProRail, 2019) Een doorsnede van een ballast spoor ziet er over het algemeen zo uit, zie figuur 2.1 (TU Delft, g.d.-a).



Figuur 2.1: Doorsnede ballastspoor (TU Delft, g.d.-a)

2.1.1 Taken en eisen ballast

Een ballastbed heeft een aantal taken om de spoorwegen goed te laten functioneren (TU Delft, g.d.-c):

- Draagkracht bieden
- Krachten verspreiden
- Drainage van water en voorkomen van capillaire stijging.
- Horizontale stabiliteit bieden aan het spoor

Ballast heeft ook een aantal eisen waar het aan moet voldoen om de taken goed te doen (TU Delft, g.d.-c):

- Materiaal sterkte

- E-modulus
- Slijtvastheid
- Hoekigheid

De individuele ballast stenen moeten sterk genoeg zijn om de krachten te kunnen dragen, ook moet de elasticiteit modulus van het hele ballastbed hoog genoeg zijn. Dit staat voor de verhouding tussen de kracht en de vervorming door deze kracht. Dit wordt echter niet vaak bepaald voor spoor constructies maar kan onder andere bepaald worden met een triaxiaalproef. (Coesfeld en Schultze, g.d.) Slijtvastheid betekend dat het materiaal hard genoeg moet zijn zodat het niet te snel zijn hoekigheid verliest. Als het materiaal niet meer hoekig genoeg is zal de E-modulus ook lager zijn en zullen de zettingen bij dezelfde kracht groter zijn. (TU Delft, g.d.-c)

Om de taak drainage van water goed uit te kunnen vormen is een grote porositeit nodig van het ballastbed. Dit wordt vaak behaald door een mix van stenen tussen de 31,5/50 mm te gebruiken. („Railpro Steenslag”, g.d.) Met deze mix zitten er grote gaten tussen de stenen waar het water door kan stromen. Ook zorgt dit er voor dat er geen water omhoog gezogen wordt door capillaire werking en werkt het ook als vorst bescherming. Deze gradatie is ook goed voor de draagkracht, want als er zand tussen de stenen zou zitten zouden deze makkelijker kunnen bewegen. In plaats van dat de stenen achter elkaar blijven haken, rollen ze langs de zandkorrels. (TU Delft, g.d.-c)

Een andere belangrijke taak van ballast is het bieden van horizontale stabiliteit. Dit biedt het door middel van een ballast berm aan te leggen aan beide kanten van de dwarsliggers. Dit zorgt ervoor dat het spoor niet verplaatst bij bochten of wissels. Ook vermindert het de kans op het uit-knikken van het spoor door warmte. (TU Delft, g.d.-c)

2.2 Soorten ballast

Ballast kan uit meerdere steensoorten bestaan, voor een uitgebreide lijst zie figuur 10.1 van TNO, 2020 in de bijlagen. De ballast die nu nog overal wordt gebruikt valt onder SPC0033 en de ballast zonder kristallijn silica (kwarts) en asbest valt onder SPC00353. In Nederland worden vooral de steensoorten basalt, gneis, graniet of porfier gebruikt, vallend onder SPC0033 („Railpro Steenslag”, g.d.).

2.2.1 Basalt

Basalt is een stollingsgesteente dat is ontstaan bij vulkanische activiteit(tussen..., 2022). In de natuur ziet dit er heel bijzonder uit, zie figuur 2.2 („Oorsprong van basalt - Handmade BV”, 2018). De grote rotsen worden gebroken om de juiste maat en vorm stenen te krijgen. Basalt is uiterst geschikt als ballast voor de spoorwegen dankzij de hoge dichtheid en hardheid. Het basalt dat in Nederland wordt gebruikt komt vooral uit de Duitse Eifel en Westerwald („Oorsprong van basalt - Handmade BV”, 2018). Ballast bestaat uit silica , alumina, ijzer, magnesium, calcium, natrium, veldspaat, nefelien en kwarts. Kwarts is hooguit 20 % van basalt, dit is een laag percentage vergeleken met andere gesteentes (Jonker, 2016).



Figuur 2.2: Basalt rotsformaties („Oorsprong van basalt - Handmade BV”, 2018)

2.2.2 Gneis

Gneis is een veel voorkomend natuurlijk gesteente. Het uiterlijk van gneis lijkt veel op graniet maar is toch net iets anders. Graniet is ontstaan door stolling van magma maar gneis is ontstaan door rekristallisatie van een ander gesteente. Dit betekent dus wel dat gneis kan ontstaan uit graniet. Gneis is geschikt voor ballast omdat het heel hard is en het meestal niet breekt langs de zwakke richting. Gneis dat gebruikt wordt in Nederland voor ballast komt meestal uit Noorwegen maar het wordt ook veel gewonnen in Zwitserland (TNO, 2020). De meeste gneis bestaat uit veldspaat en kwarts, maar kan ook uit andere elementen bestaan. (King, g.d.)

2.2.3 Graniet

Zoals eerder vermeld is graniet een stollingsgesteente dat veel voorkomt over de hele wereld, niet in Nederland (op een paar zwerfkeien na) maar wel in onze buurlanden. Echter is dit daar al veel gewonnen dus is het niet meer veel voorkomend. Graniet kan verschillen van kleur, dit komt omdat overal de verhoudingen van de componenten in graniet verschillen. Zo kan graniet roze van kleur zijn tot grijs. Graniet bestaat uit kwarts, veldspaat en mica („Paleontica - Graniet”, g.d.). Net als de andere steensoorten is graniet ook geschikt voor ballast door de hardheid. Maar graniet heeft ook vele andere doeleinden, granieten keukens, bladen of tegels zijn ook geliefd. Graniet is te veel te vinden in Scandinavië, maar komt ook nog wel voor in Duitsland en België (van Nederland, g.d.-a). Echter wordt er gekozen het graniet dat in Nederland wordt gebruikt komt te importeren uit Noorwegen of Schotland. Railpro importeert het ballast genaamd bestone uit een groeve in Noorwegen dat bekend staat als de meest duurzame steengroeve („Spoorballast in Nederland – Bontrup”, g.d.).

2.2.4 Porfier

Porfier is ook een stollingsgesteente dat ontstaat door vrij snelle stolling van magma. Ook porfier lijkt qua uiterlijk op graniet en kan ook verschillende kleuren hebben, zie figuur 2.3 („porfier”, g.d.). Porfier staat bekend om de hoge hardheid van het materiaal, ook is porfier zeer goed bestand tegen slijtage. Daarom is dit ook een uiterst geschikt materiaal om te gebruiken voor ballast. („porfier”, g.d.) Porfier is een mengsel van meerdere grove fenocrysten, dit kunnen onder andere kwarts en veldspaat zijn. Porfier dat in Nederland gebruikt wordt voor de spoorwegen komt vooral uit België, er zijn daar namelijk meerdere porfier groeves. (Infrasite, 2021b)



Figuur 2.3: Rode porfier („porfier”, g.d.)

2.3 Kwartsloos ballast

Zoals eerder is beschreven zit er in alle soorten ballast dat nu gebruikt wordt kwarts. Kwarts is een mineraal dat in heel veel verschillende steen soorten voorkomt, dit geeft het vaak ook de nodige hardheid. Het is dus een heel handige component van ballast. Echter zit dus ook in de stof dat gevormd wordt tijdens werkzaamheden ook kwarts. Als dit ingeademd wordt door mensen kan men daar ziek van worden. Kwartsstof kan namelijk leiden tot longkanker of stoflongen. Daarom wil de overheid van het kwartshoudend ballast af.

Om de mensen die bij het spoor werken te beschermen zijn de machines over het algemeen uitgerust met overdruk, dit zorgt er voor dat er geen stof in de cabine kan komen. De mensen die buiten werken hebben FFP3-maskers tot hun beschikking. Maar de mensen die in de buurt van het spoor wonen hebben dit niet. (ProRail, g.d.-b)

Doordat kwarts bijna overal in voorkomt is het heel lastig om aan kwartsloze stenen te komen. Er is daarom ook niet genoeg kwartsloos ballast om al het spoor in Nederland te vervangen. De kwartloze stenen zullen daarom voorlopig alleen maar in tunnels en overkappingen gebruikt worden. (ProRail, 2021)

2.3.1 Basaniet

Basaniet is een vulkanisch gesteente, bestaande uit veldspaat, olivijn, plagioclase en augiet (The Editors of Encyclopaedia Britannica, 1998). Een deel van deze mineralen komen ook voor in de andere gesteentes die eerder behandeld zijn. Echter zit hier geen kwarts in. Basaniet is een niet veel voorkomend gesteente dus dat maakt het ook lastig om aan te komen. In Europa komt het alleen in Duitsland, Hongarije, Italië en Spanje voor. Maar alleen in Duitsland liggen er groeves voor ballast en die kunnen Nederland niet van genoeg ballast voorzien voor alle spoorwegen. (TNO, 2020)

3 WAAROM IS BALLAST NIET CIRCULAIR?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden is het ook belangrijk om te weten waarom ballast nu niet circulair is en wat de problemen daarmee zijn. In dit hoofdstuk wordt dat verder onderzocht.

3.1 Wat is circulariteit

Circulariteit lijkt in enige zin op recyclen of duurzaamheid. Echter gaat circulariteit iets verder. In een circulaire economie bestaat er geen afval, alles wordt hergebruikt voor iets anders. Hierbij zijn 3 begrippen het belangrijkste: (Slagt, 2022)

- Reduce
- Reuse
- Recycle

3.1.1 Reduce

Dit staat voor het verminderen van grondstofverbruik, hoe minder materiaal er in omloop is hoe beter. Dit betekent voor ballast dat er geen onnodig dikke ballast laag moet worden gebruikt. Ook betekend dit dat de hele levensduur van ballast gebruikt moet worden. Dus als de ballast stenen nog goed zijn hoeven ze nog niet vervangen worden.

3.1.2 Reuse

Dit staat voor het maximaal hergebruik van de materialen. Er moet niks verloren gaan want anders is het niet circulair. Bij het hergebruik van ballast betekent dit dat er niks ergens op een afvalberg terecht mag komen. Dus bijvoorbeeld het zeefzand moet ook een doeleinde krijgen.

3.1.3 Recycle

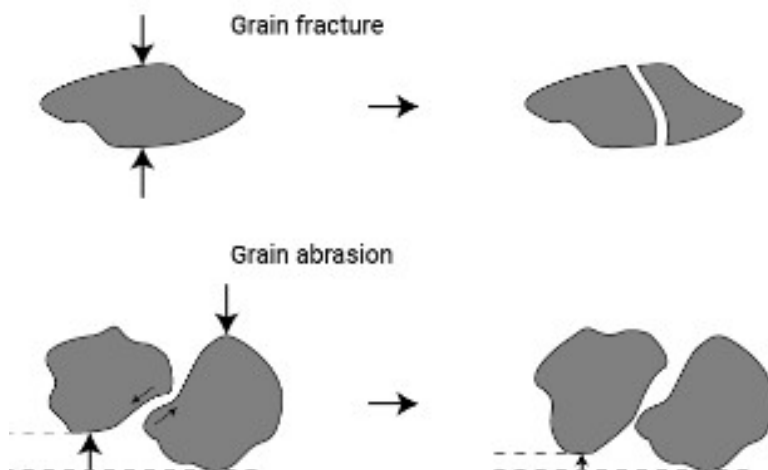
Recycle staat voor hoogwaardig hergebruik van grondstoffen. Dit betekent dat het materiaal het liefst hergebruikt moet worden zonder dat er veel aanpassingen aan het materiaal nodig zijn en dat het materiaal zijn waarde niet verliest. Ook betekent dit dat aan het eind van de volgende levensduur het materiaal geen afval mag worden. Bijvoorbeeld zal ballast het liefst worden hergebruikt op manieren waarvoor het niet gebroken hoeft te worden.

3.2 Slijtage ballast

De belangrijkste taak van ballast is het verspreiden en dragen van krachten. Hierdoor slijten na verloop van tijd de ballast stenen en is het niet mogelijk om ballast oneindig lang voor spoorwegen te gebruiken. Slijtage op de lange termijn gebeurt op locale schaal en op globale schaal. (TU Delft, g.d.-b)

3.2.1 Locale schaal

Degradatie op locale schaal zorgt voor een vermindering van kwaliteit van individuele stenen. Locale degradatie kan optreden in 2 vormen, te zien in figuur 3.1 (TU Delft, g.d.-b).



Figuur 3.1: Locale degradatie ballast stenen (TU Delft, g.d.-b)

Korrel fractuur

Bij een korrel fractuur breekt een steen, dit komt door een te hoge normaal kracht. Hierdoor verandert de zeef-kromme en dus de materiaal eigenschappen. (TU Delft, g.d.-b)

Korrel slijtage

Ballast bestaat uit gebroken natuursteen, zoals in het vorige hoofdstuk is uitgelegd. Doordat het gebroken is heeft ballast veel scherpe randen, dit is heel handig omdat het krachten moet verdelen. Bijvoorbeeld een laag met ronde rivierstenen zal veel minder kracht kunnen dragen dan een laag ballast. Door de scherpe randen van ballast blijven de stenen aan elkaar hangen en schuiven ze dus minder snel weg. Aan het eind van de levensduur van ballast zijn deze scherpe randen echter weggesleten door de schuifspanningen en heeft het ballastbed niet meer de nodige eigenschappen om hergebruikt te worden voor spoorwegen. (TU Delft, g.d.-b)

3.2.2 Globale schaal

Op globale schaal kan degradatie van ballast zakkingen van het spoor veroorzaken, doordat de individuele stenen permanent vervormd zijn. Door de slijtage kunnen de stenen makkelijker langs elkaar bewegen en kan het spoor iets meer bewegen onder belasting en voldoet het niet meer aan de eisen van een ballastbed. (TU Delft, g.d.-c)

3.3 Vervuiling

Tijdens de levensduur van ballast raakt het ballast vervuild, door slijtage vrijgekomen stoffen van ballast zelf en van andere onderdelen rondom het spoor komen in het ballast terecht. Hierdoor wordt ballast gezien als chemisch afval, dit betekend dat het als onveilig moet worden beschouwd tot het tegendeel bewezen is. Uit een keuring kan blijken dat de ballast binnen de normen is, dit ligt vaak aan de locatie van het ballast en de hoeveelheid neerslag er is in dat gebied. Neerslag kan namelijk een deel van de vervuiling wegspoelen en een stuk open spoor waar bijna nooit geremd hoeft te worden raakt dus minder snel vervuild dan een stuk spoor vlakbij een station.

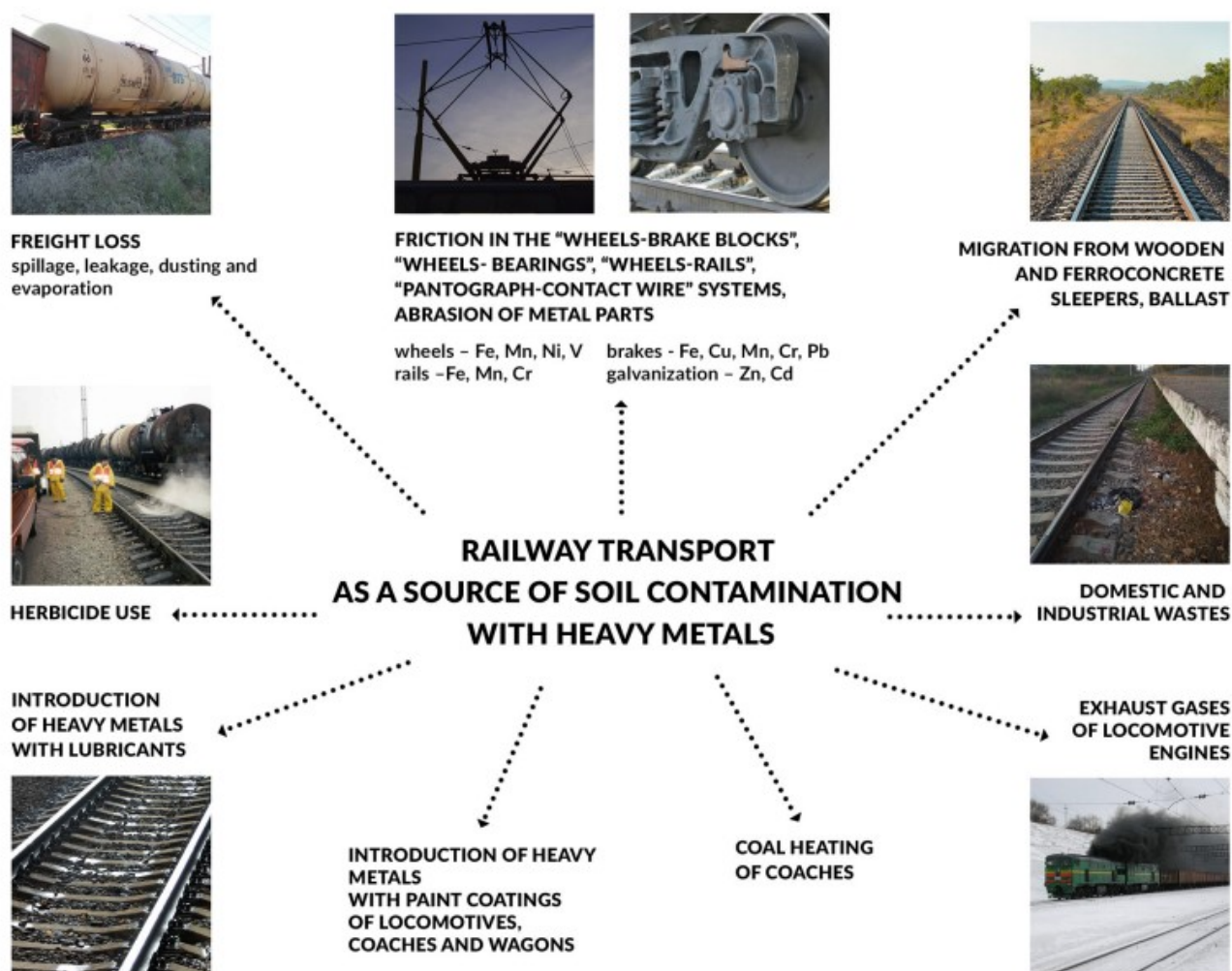
3.3.1 Zand/stof

Door afronden van de ballast stenen komt er zand/stof tussen de stenen terecht. Dit zakt door regen naar de onderkant van de ballastlaag of blijft aan de stenen plakken. Dit vermindert de draagkracht van ballast en vermindert ook de water-afvoerende werking van ballast. Ook kan dit er voor zorgen dat

er vegetatie gaat groeien in de ballast laag. Dit is allemaal niet gewenst en zorgt er ook voor dat ballast niet direct her te gebruiken is. Omdat ballast voor een groot deel uit kwarts bestaat zit er in dit stof ook veel kwarts, dit is schadelijk voor de gezondheid als dit wordt ingeademd.

3.3.2 Metalen

Door verschillende oorzaken kunnen er zware metalen terecht komen in ballast, zie figuur 3.2 (Samarska e.a., 2020). Het grootste deel van de vervuiling komt door spoorstaven, de wielen en remmen van de trein. Deze zware metalen bestaan dus uit de metalen waar deze componenten van worden gemaakt. Op volgorde van meest voorkomend naar minst voorkomend is: Fe, Mn, Cu, Cr, Ni, Zn, Pb, As. Deze metalen zijn schadelijk voor de gezondheid en schadelijk voor de natuur. Hierdoor moeten deze metalen er eerst uit worden gehaald voordat ballast hergebruikt kan worden. (Samarska e.a., 2020)



Figuur 3.2: Bronnen van zware metalen (Samarska e.a., 2020)

4 WAT WORDT ER NU GEDAAN MET BALLAST AAN HET EIND VAN DE LEVENSDUUR?

4.1 Hergebruik ballast

Het liefst wordt ballast hergebruikt op locatie, dit kan echter alleen als de ballast nog niet te erg versleten is. Hiervoor wordt er in de praktijk eerst onderzoek gedaan of het hele ballast bed vernieuwd moet worden of dat bijvoorbeeld horren ook voldoende is. Dit onderzoek bestaat uit een civieltechnisch en milieuhygiënisch onderzoek. Het civieltechnisch onderzoek bepaald of de gradatie nog voldoet aan de voorgeschreven eisen en of het materiaal nog hoekig genoeg is. Het bepalen van de hoekigheid wordt door naar foto's van de stenen te kijken. Het milieuhygiënische onderzoek bepaalt hoe erg de ballast verontreinigd is en of het dus nog hergebruikt mag worden. (Carta, 2021)

4.1.1 Kettinghor

Als blijkt dat het ballastbed hergebruikt kan worden voor de spoorwegen is de kettinghor een goede optie, zie figuur 4.1 (van Zetten, 2020) voor een foto van deze machine. Deze machine kan ballast reinigen zonder het spoor af te hoeven breken dus is heel efficiënt als de rest van het spoor nog in goede conditie is. De machine graaft met behulp van een ketting onder het spoor de ballast af en zeeft het. De grove fractie met het herbruikbare ballast wordt weer teruggelegd onder het spoor en wordt zo nodig aangevuld met nieuw ballast. Het vervuilde deel wordt afgevoerd naar een recycle locatie. Nadat het ballastbed gehord is komt er een stopmachine die het spoor weer waterpas legt. Het enige nadeel aan deze methode is dat het heel veel stof veroorzaakt en daar kunnen omwonende last van hebben. („Kettinghor-Mfs”, g.d.)



Figuur 4.1: Foto kettinghor in bedrijf, (van Zetten, 2020)

4.1.2 Zeven

Een andere optie is om het ballastbed te zeven. Dit is soms handiger als bijvoorbeeld ook het spoor en de dwarsliggers vervangen moet worden. Dit kan op ook locatie gebeuren zodat de ballast geen grote afstanden hoeft af te leggen. In principe gebeurt er hetzelfde als met het horren alleen wordt de ballast niet gelijk terug gelegd.

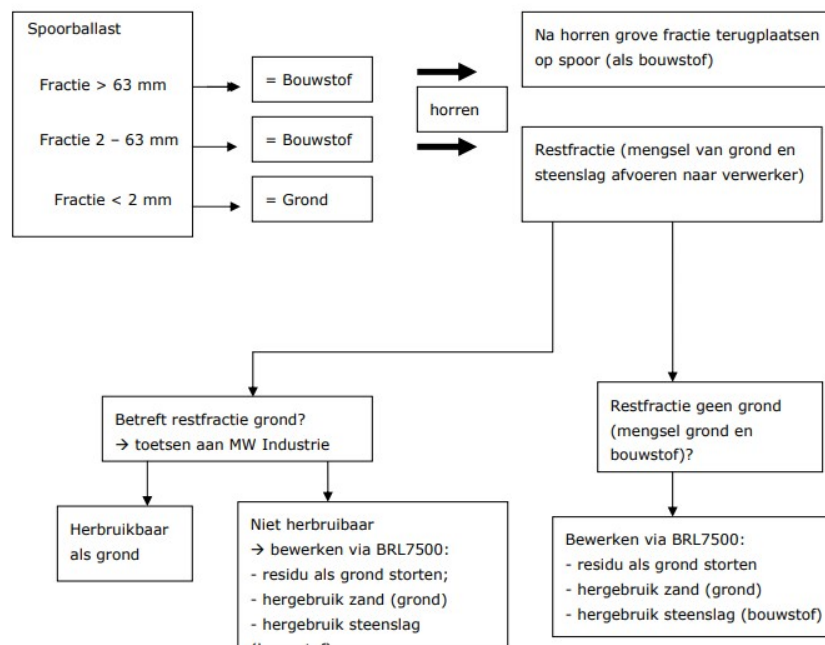
4.2 Zeefzand

Het restproduct van zeven of horren is zeefzand oftewel de zand-fractie van ballast. Om dit verder te verwerken zijn er een aantal voorschriften voor. Deze zijn opgesteld door de stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer, afgekort SIKB.

4.2.1 Bouwstof of grond?

De zand-fractie van ballast wordt in principe als afval beschouwt, afhankelijk van de gradatie en milieuhygiënische kwaliteit kan het als grond of bouwstof worden beschouwd. De zand-fractie bestaat over het algemeen uit beide dus zal nog verder gescheiden moeten worden. (grond & bagger e.a., 2011)

De zand-fractie van ballast mag als grond gezien als het een korrelgrootte heeft die kleiner is dan 2 mm, dit betekend ook dat het gekeurd moet worden als grond. De rest wat dus groter is dan 2 mm wordt gezien als bouwstof en heeft dus andere eisen. Dit is ook weergegeven in het schematisch overzicht in figuur 4.2 (grond & bagger e.a., 2011). Als het zeefzand als grond gezien wordt moet het ook als grond gekeurd worden en zal dus misschien verder gereinigd moeten worden.



Figuur 4.2: Schematisch overzicht verwerking spoorballast (grond & bagger e.a., 2011)

4.3 Recycle locaties

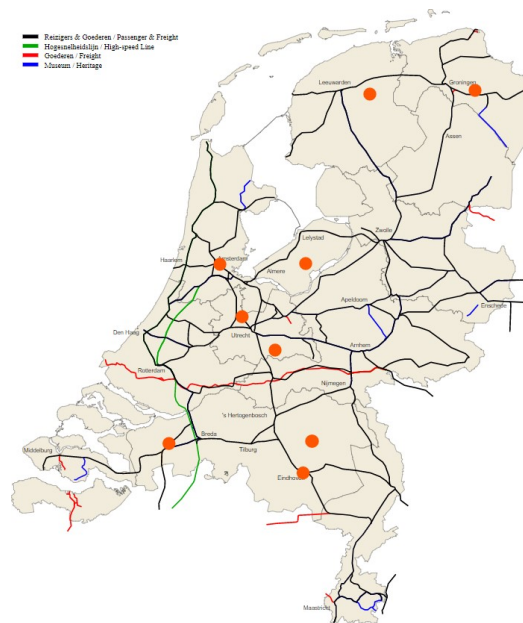
Op een recycle locatie gaat de ballast door een reinigingssysteem, hierin wordt de ballast gezeefd en gewassen. Dit kan ook met mobiele machines op of dichtbij het spoor, maar omdat dit permanente locaties zijn en de machines niet verplaatst hoeven kunnen worden, zijn de machines uitgebreider en maken ze de ballast beter schoon. Er kan voor gekozen worden om de ballast naar een recycle locatie te brengen als er bijvoorbeeld weinig ruimte is naast het spoor of als het voor te veel overlast voor de omgeving zorgt. Op een recycle locatie wordt de ballast eerst gezeefd om zo een groot deel van de zand-fractie en grind-fractie eruit te halen. Daarna wordt het gezeefde ballast schoon gespoten met water zodat er geen stof meer op zit. Hierdoor veroorzaakt het minder stof bij de verwerking van het gerecyclede ballast en worden de laatste restjes zand eruit gehaald. Dit zorgt ook voor betere werkomstandigheden voor de arbeiders, want het stof kan zorgen voor stoflonen of longkanker. (ProRail, g.d.-a)

4.3.1 Locaties door Nederland

In Nederland zijn er niet heel veel locaties waar ballast wordt ingenomen, dit komt omdat mobiele machines of kleine tijdelijke locaties dichtbij het project populairder zijn. Permanente locaties zijn alleen rendabel als ze dichtbij het project zitten of een groot deel van de eindproducten in de buurt kunnen worden afgezet. Ook mogen bedrijven niet zomaar ballast innemen, de bedrijven moeten namelijk gecertificeerd zijn om ballast in te mogen zamelen en reinigen. Door de ontwikkelingen omtrent kwartsstof en stofbeperking kan het wel zo zijn dat permanente locaties een grotere rol gaan spelen in de toekomst.

- Roosendaal (GBN)
- Utrecht (Durail)
- Eindhoven (van Berkel)
- Veghel (van Berkel)
- Amsterdam (Rewin recycling)
- Zeewolde (De Waard Transport & Overslag B.V.)
- Wijk bij Duurstede (Fred Prinsen)
- Drachten (van der Wiel)
- Sappemeer (Olthof groep)

Zoals te zien in figuur 4.3 (Dennis, 2017) zijn de locaties verspreid over Nederland. Vaak gelegen op locaties die op meerdere manieren te bereiken zijn, zodat niet alles per vrachtwagen getransporteerd hoeft te worden. Echter zijn er maar een paar locaties bereikbaar per spoor. Dit zijn GBN in Roosendaal, Durail in Utrecht en de Olthof groep in Sappemeer. Deze locaties zijn ook meer gespecialiseerd in het verwerken van ballast, bij de meeste andere locaties is het meer een van de neven taken. Op een aantal van deze locaties wordt de ballast ook gelijk hergebruikt in beton en andere zijn meer gericht op het hergebruik voor spoorwegen.



Figuur 4.3: Recycling locaties door Nederland, oranje stip is een locatie. Spoorwegen kaart:(Dennis, 2017)

5 HOE KAN BALLAST WORDEN SCHOONGE- MAAKT?

Om ballast circulair te maken moeten het vervuilde ballast gescheiden worden om zo herbruikbare materialen te krijgen. In dit hoofdstuk worden meerdere technieken beschreven die van toepassing zijn voor het schoonmaken van ballast.

5.1 Zeven

Zeven scheidt het materiaal op korrelgrootte. Dit werkt het beste als het materiaal helemaal droog is. Zo blijven de kleine korrels niet aan de grotere plakken. Er zijn daarom dus 2 opties bij zeven, droog zeven en nat zeven. Bij ballast zijn er 3 materialen die gescheiden moeten worden: ballaststenen, grind en zand. Deze hebben allemaal een andere korrelgrootte dus zeven is een geschikte optie.

5.1.1 Droog zeven

Bij droog zeven moet het materiaal helemaal droog zijn voor optimale werking. Als het nog een beetje vochtig is zullen er veel kleine korrels blijven plakken aan de grotere korrels. In de praktijk is het meestal nog een beetje vochtig omdat drogen duur is. Zeven kan ex-situ maar ook on-situ plaatsvinden met mobiele machines. Binnen droog zeven zijn er verschillende opties namelijk: trommelzeef, horzeef, sterrenzeef, bandzeef en schudzeef. („Open ontgraven, Zeven verwijderde grond | Bodemrichtlijn”, g.d.)

Trommelzeef

Een trommelzeef is een grote installatie met een roterende cilindervormige zeef, zie figuur 5.1 („Mechielsen machineverhuur”, g.d.). Door deze zeef aflopend af te stellen verplaatst het materiaal door de zeef. Trommelzeven zijn er in veel verschillende maten en kunnen mobiel zijn of vast op een plek staan. Veel grond verwerkingsbedrijven hebben dit soort installaties omdat de trommel vervangen kan worden voor een met een andere zeefmaat en het dus een multifunctionele machine is. Voor ballast is het misschien niet heel handig omdat daar het grootste deel de grove fractie is en de zand fractie een veel kleiner deel is. Ook blijven hierbij de zandkorrels die aan de ballaststenen zitten eerder zitten dan bij bijvoorbeeld een schudzeef.



Figuur 5.1: Mobile trommelzeef („Mechielsen machineverhuur”, g.d.)

Horzeef

Zeven door middel van horren komt veel voor bij het zeven van spoorballast. Hier is al meer over beschreven in H 4.1.1. Het restproduct is echter een mengsel van grind en zand, om dat te scheiden zal het nog een keer gezeefd moeten worden met een van de andere methoden.

Sterrenzeef

In een sterrenzeef zitten veel rollen naast elkaar met punten erop, zie figuur 5.2 („Sterrenzeef - Konings Transportbanden”, 2022). Deze rollen draaien snel rond en de kleine fractie kan er doorheen vallen. Ook kunnen meerdere lagen worden toegepast om zo op meerdere maten tegelijkertijd te kunnen zeven. De sterren kunnen worden gemaakt van rubber of van staal, ligt eraan wat er gezeefd wordt. Bij het zeven van ballast zullen rubberen sterren niet lang overleven dus is geen goede optie. Een sterrenzeef gebruiken voor ballast is ook niet de beste optie omdat het het materiaal kapot kan slaan. Er blijven dus minder bruikbare ballast stenen over.



Figuur 5.2: Binnenkant sterrenzeef („Sterrenzeef - Konings Transportbanden”, 2022)

Schudzeef

Een schudzeef wordt ook veel gebruikt om ballast te scheiden, de ballast wordt op een trillende zeef gestort en de fijne materialen vallen er doorheen, voor een voorbeeld van hoe de machine eruit kan zien zie figuur 5.3 („Powerscreen Warrior 1800 Scalping Screen”, g.d.). Ook dit hiervoor kunnen meerdere lagen gebruikt worden om zo op meerdere groottes te zeven. Dit soort machines hebben een grote capaciteit en scheiden de verschillende materialen goed.



Figuur 5.3: Schudzeef („Powerscreen Warrior 1800 Scalping Screen”, g.d.)

5.1.2 Nat zeven

Bij nat zeven wordt er juist extra water aan het te zeven materiaal toegevoegd. Dit zorgt ervoor dat er geen kleine korrels aan de grote korrels blijven plakken en vergeleken met droog zeven hoeft het materiaal niet eerst gedroogd worden. Ook is het wassen van de ballast stenen na het zeven niet meer nodig omdat het al gewassen is tijdens het zeven. Deze techniek wordt echter nog niet op grote schaal

toegepast en is nog in ontwikkeling. In principe zou er ook al zuur kunnen worden toegevoegd om de metalen op te laten lossen, meer hierover in H5.4.1. („Natte reiniging grond, uitgangspunten voor het ontwerp | Bodemrichtlijn”, g.d.)

5.2 Wassen

Bij het wassen wordt het overige zand wat nog vastgeplakt zit aan de ballast stenen eraf gespoten, hierdoor veroorzaakt het minder stof bij de verdere verwerking en wordt het laatste deel van de zand-fractie terug gewonnen.

5.2.1 sproei installatie

Ballast kan goed worden schoongespoten door het verdeeld op een loopband te storten en onder een aantal hoge druk sproeiers door te laten gaan. Het water kan worden afgevangen en het zand wat in het water zit kan eruit worden gehaald om het water her te gebruiken.

5.3 Ontwateren

Na het wassen of nat zeven is er een mengsel van zand en water ontstaan, ook wel slib genoemd, om het water eruit te halen zijn er een aantal opties. Namelijk: centrifugeren, filtreren of het door een zand vanger laten lopen. Dit is belangrijk om het water te kunnen hergebruiken en om het zand te kunnen gebruiken. („Natte reiniging grond, uitgangspunten voor het ontwerp | Bodemrichtlijn”, g.d.)

5.3.1 Centrifugeren

Bij centrifugeren wordt het zand en water gescheiden door middel van centrifugaal krachten. Het slib stroomt door een roterende cilinder. Het zand wordt tegen de binnenwand van de cilinder geslingerd omdat het een hogere dichtheid heeft dan water en wordt daar afgevoerd. Het kost echter wel veel energie om de machine snel te laten roteren. („Trevi Environmental Solutions - Decanteercentrifuge”, g.d.)

5.3.2 Filtreren

Bij filtreren wordt het zand en water gescheiden door het door een filterdoek te laten stromen. Het zand blijft hierin achter en het water gaat er doorheen. Om het te laten stromen wordt er druk op het slib uitgeoefend of er wordt vanaf de onderkant gezogen. („Trevi Environmental Solutions - Ontwateren met filterdoek”, g.d.)

5.3.3 Zandvanger

Het is ook mogelijk om het water van het zand te scheiden met behulp van zwaartekracht. Het mengsel van water en zand stroomt door een zogenoemde zand vanger. Het zand bezinkt omdat het een hogere dichtheid heeft dan water en wordt zo gescheiden van het water. („zandvang, zandvanger”, g.d.)

5.4 Zware metalen verwijderen

De voorafgaande methodes zorgen er niet voor dat de zware metalen worden verwijderd. De metalen zitten door het zeven en wassen in de zand-fractie van de mix, daarom moet de zand-fractie extra gewassen worden. Dit moet alleen als blijkt uit een keuring dat het zand te erg vervuild is om te mogen gebruiken. Hier kunnen meerdere methodes voor worden gebruikt.

5.4.1 Chemische methode

Omdat de vervuiling bestaat uit metalen kan het met een chemische methode gesaneerd worden. Het zand moet gemengd worden met een zuur, bijvoorbeeld verdund zoutzuur. De metalen zullen zich

daaraan binden en kunnen daarna uit het zand gespoeld worden. Dit haalt echter niet 100% van de zware metalen eruit maar wel een heel groot deel.(Arora en Khosla, 2021)

5.4.2 Biologische methode

Het idee van biologisch schoonmaken is door de zware metalen om te zetten in minder schadelijke elementen. Het biologisch schoonmaken is natuurvriendelijk en economisch effectief voor het verwijderen van zware metalen. Het reinigen wordt gedaan door bacteriën, schimmels of algen die zich voeden met de metalen. Het is hierbij wel belangrijk dat de grond genoeg lucht krijgt en dat de grond een bepaalde temperatuur heeft waarbij de micro organismen goed werken.(Arora en Khosla, 2021)

5.4.3 Immobilisatie

Immobilisatie is een techniek waarbij de fysische of chemische eigenschappen worden gewijzigd. Hierdoor worden de negatieve effecten van de grond verminderd. De zware metalen worden door middel van een chemische reactie gekristalliseerd of opgeslagen in een waterdicht inert polymeer. Hierdoor zijn de metalen geen bedreiging meer voor het milieu en kan de grond gebruikt worden als bouwstof.(„Immobilisatie grond, principe van de techniek | Bodemrichtlijn”, g.d.)

6 WAAR KAN SCHOONGEMAAKT BALLAST HET BESTE VOOR WORDEN GEBRUIKT?

Nadat het vervuilde ballast is schoongemaakt kan het voor meerdere doeleindes gebruikt worden. In dit hoofdstuk wordt een aantal van deze doeleindes uitgewerkt en wordt er gekeken hoe circulair deze doeleindes zijn.

6.1 Grove fractie

Het vervuilde ballast zal voor het grootste deel bestaan uit ballast stenen. Dit is de grove fractie van de mix. De grove fractie kan voor meerdere doeleindes gebruikt worden. Het verschilt per doeleinde hoe goed iets hergebruikt wordt voor de circulariteit, daarom wordt per doeleinde de voor en nadelen beschreven. Het liefst moet er zo min mogelijk aan het materiaal gedaan worden en moet het ook hoogwaardig worden hergebruikt.

6.1.1 Beton

Een belangrijk onderdeel van beton is steenslag. Dit geeft de sterkte van het beton en zorgt er voor dat er minder cement nodig is. Echter zijn ballast stenen meestal ergens tussen de 30 en 50 mm, dit is best groot voor het gebruik in beton en kan dus alleen in grote blokken beton gebruikt worden, bijvoorbeeld betonnen lego blokken, zie figuur 6.1 (Visual, g.d.) voor een voorbeeld. Dit komt omdat de stenen niet tussen de wapening staven mogen blijven hangen. Maar verder is ballast een zeer geschikt materiaal voor beton. Dit kan ook meestal in de buurt van een recycle locatie gemaakt worden en dat bespaart een hoop transport. Als dit niet het geval is, kan een andere optie beter zijn voor de milieu impact.



Figuur 6.1: Betonblok (Visual, g.d.)

Verder kan beton ook circulair gebruikt worden en wordt het alleen maar beter met hergebruikte toeslag materialen. Dit vermindert het aantal nodige nieuwe materiaal en er wordt ook gelijk hergebruikt. Ook kan het beton zelf aan het eind van de levensduur gerecycled worden voor nieuw beton. Hiermee zijn gelijk aan alle 3 de punten van circulariteit voldaan, zie H3.1. („Inname van spoorballast - Olthof groep”, g.d.)

6.1.2 Schanskorf

Een schanskorf is een stalen kooi gevuld met gebroken steen, zie figuur 6.2 (Kuhlkamp, g.d.). Dit kan voor verschillende doeleindes gebruikt worden, zoals een erfafscheiding of als een keerwand. Omdat hiervoor ook stenen geïmporteerd moeten worden is gebruikt ballast een goed alternatief voor opvul materiaal.

Schanskorven moeten op locatie gevuld worden. Dat kan dus ook in de buurt van treinsporen zijn. Als het ballast op locatie is gezeefd en gewassen en gelijk hergebruikt kan worden in een schanskorf zou dat een hoop transport kosten. Schanskorven gaan ongeveer 50 jaar mee zonder al te veel onderhoud en daarna zijn de stenen nog steeds goed te gebruiken voor nog een keer een schanskorf of een andere optie. In een schanskorf slijten de stenen niet veel, maar zal de stalen kooi eerder versleten zijn. Kortom, met het gebruik van ballast voor schanskorven worden er minder nieuwe materialen gebruikt, worden oude materialen hergebruikt, kunnen daarna ook weer hergebruikt en gerecycled worden. Echter moet hier wel voldoende vraag naar zijn want anders heeft het geen nut. (Schanskorven, g.d.)



Figuur 6.2: Voorbeeld van een schanskorf (Kuhlkamp, g.d.)

6.1.3 Fundering onder weg

Onder wegen wordt vaak een laag met meng-granulaat aangebracht. Dit heeft ook de taak om krachten te dragen en verspreiden. Meng-granulaat bestaat uit gebroken puin en gebruikt ballast kan daar prima mee gemengd worden. Echter is er in Nederland al genoeg puin korrel dus is daar niet echt veel vraag voor. Het gebruik van nieuwe materialen wordt dus niet verminderd. Ook is meng-granulaat niet evenveel waard als ballast en verliest het dus waarde. Het kan wel zo zijn dat er heel dichtbij van het spoor meng-granulaat nodig is en dan kan het wel veel transport kosten schelen en dus ook CO₂ uitstoot. Kortom, ballast kan goed gebruikt worden voor de wegen maar het is daar niet nodig. Het zou alleen interessant zijn als het heel dichtbij is.

6.1.4 Hergebruik voor lightrail

Afgekeurd ballast voor normale spoorwegen kan misschien nog worden hergebruikt voor lightrail of metro. De krachten die daarbij optreden zijn minder groot omdat de treinen minder snel rijden en de treinen minder zwaar zijn. Het afgekeurde ballast zou daar een 2e leven kunnen krijgen. Echter zou het kunnen dat dit niet gewild is omdat het ballast bed eerder onderhoud nodig zal hebben dan bij een geheel nieuw ballast bed.

Het hergebruik voor lightrail zorgt er wel voor dat er minder nieuwe materialen nodig zijn, maar zorgt wel voor meer onderhoud. Echter is het nog wel mogelijk dat de ballast stenen weer hergebruikt kunnen worden voor een van de andere doeleindes die hier beschreven zijn. Dus dit doeleinde voldoet ook aan de eisen van circulariteit.

6.1.5 Decoratief gebruik

Veel paden in tuinen of opritten zijn gemaakt van gebroken steen. Hier is ballast ook een mooi materiaal voor. Deze grove fractie is misschien iets te grof en zal dus nog gemengd moeten worden met kleinere stenen. Het hergebruik van ballast zou dus de hoeveelheid nieuw materiaal verminderen. Echter bij het recyclen van een oprit is de kans groot dat de steenslag bij het puin korrel terecht komt.

6.2 Grind

Het deel tussen zand en ballast stenen is grind, dit kan ook op veel manieren hergebruikt worden. Dit is handig want ook grind, op rivier grind na, komt niet in Nederland voor. De hoekigheid van het grind is ook belangrijk voor asfalt en beton.

6.2.1 Beton

Zoals eerder vermeld is grind een belangrijke onderdeel van beton. De grind fractie van oud ballast kan hier volledig voor worden gebruikt aangezien deze fractie kleiner is dan de eerder behandelde ballast stenen. De stenen hebben ook een hele hoge hardheid omdat het gewoon nog gebroken natuursteen is, dus vergeleken met ander gerecycled materiaal dat gebruikt wordt in beton is het ook goed voor de sterkte van beton. Het beste is natuurlijk als het grind dichtbij de recycle installatie gebruikt kan worden. Beton kan hergebruikt worden als beton maar de kans is ook aanzienlijk dat het wordt gebroken en daarna wordt gebruikt als puin korrel.

6.2.2 Decoratief gebruik

Ook de grind-fractie van ballast kan gebruikt worden voor decoratief gebruik. Zelfs nog beter dan de grove fractie want er hoeft niet gemengd te worden met kleinere stenen. Het kan bijvoorbeeld ook gebruikt worden voor een voetpad naast het spoor om zo het transport te minimaliseren. Dit zorgt er ook voor dat er geen grind geïmporteerd hoeft te worden, maar bij het recyclen van het grindpad is de kans ook groot dat in puin korrel wordt verwerkt.

6.2.3 Asfalt

Asfalt bestaat uit 2 delen: aggregaat en bitumen. De grind-fractie van oud ballast kan hier prima voor gebruikt worden. Hierdoor wordt asfalt ook weer milieuvriendelijker omdat er minder nieuw materiaal geïmporteerd hoeft te worden. Oud asfalt wordt ook vaak hergebruikt in nieuw asfalt, dus de grind-fractie van ballast wordt hoogwaardig gerecycled en is dus ook een goede optie. (Asfaltbouw B.V., g.d.)

6.3 Zand-fractie

Een deel van het vervuilde ballast is zand. Dit zijn de kleinere korrels die ontstaan door het slijten van de ballast stenen. Ook komt zand in het vervuilde ballast terecht door het mengen met het zandbed onder het ballastbed. Het zand kan ook voor meerdere doeleindes gebruikt worden, dit is handig want er dreigt een te kort aan zand te komen. (Kraaijvanger, 2017)

6.3.1 Beton

Naast grind en de grotere korrels is zand ook een belangrijk onderdeel van beton. Het zand daarom dan ook goed te gebruiken voor beton. Als de overige fracties ook al gebruikt worden voor beton is het alleen maar handig om ook het zand daarvoor te gebruiken. Want dit bespaart dan op transport. Hiervoor gelden ook de eerder genoemde voor en nadelen van het gebruik van de zand-fractie van oud ballast voor beton.

6.3.2 Asfalt

Een onderdeel van het minerale aggregaat dat nodig is voor asfalt is zand. Dit vult de kleinere openingen tussen de grotere korrels op en zorgt daarmee voor een hogere dichtheid. Het verschilt per asfalt soort hoeveel zand er nodig is, maar is wel altijd nodig. De zand-fractie van ballast kan hier dus ook goed voor gebruikt worden. Er is dan minder of geen nieuw zand nodig. Ook omdat asfalt vaak wordt hergebruikt voor nieuw asfalt is dit een goed doeleinde.

6.3.3 Zandlichaam onder spoor

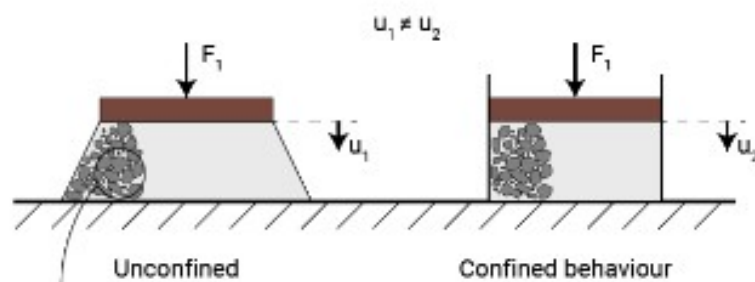
Onder het ballast bed ligt er meestal een zandlichaam. Zoals de naam dat al zegt is dat gemaakt van zand. De zand-fractie zou hiervoor gebruikt kunnen worden, dit scheelt weer nieuw zand. Meestal liggen spoor lichamen er voor een hele lange tijd, maar als het moet zou het ook nog hergebruikt kunnen worden omdat het altijd zand blijft. Dus het hergebruik van zand voor spoorwegen voldoet aan de 3 punten van circulariteit, want het vermindert de vraag naar nieuwe materialen, het hergebruik materialen en is zelf ook her te gebruiken.

6.4 Op andere manier ballast hergebruiken voor spoor

Ballast kan niet hergebruikt worden voor de spoorwegen omdat de stenen versleten zijn. Hierdoor kunnen ze makkelijker langs elkaar glijden. Hier zijn alternatieven beschreven over hoe ballast nog kan laten werken met wat hulp.

6.4.1 Opgesloten ballast

Een normaal ballastbed is niet opgesloten aan de zijkanten, dit betekent dat de stenen makkelijk in horizontale richting kunnen bewegen. Hierdoor slijten de stenen sneller en moet er meer onderhoud gedaan worden. Door de stenen op te sluiten in horizontale richting bewegen ze minder snel en wordt de draagkracht verhoogd. In principe kan dus ook oud ballast gebruikt worden en wordt het verlies in draagkracht gecompenseerd door het opgesloten gedrag van het ballastbed. Een opgesloten ballastbed heeft ook minder ballast nodig dan een normaal ballastbed want er zijn geen ballast bermen meer nodig. De horizontale stabiliteit wordt nu door de keerwanden gegeven. Het is echter wel meer werk om een opgesloten ballastbed te maken vergeleken met een normaal ballastbed, want er moeten ook keerwanden geplaatst worden. (Chen e.a., 2012)



Figuur 6.3: Niet opgesloten gedrag vs opgesloten gedrag (TU Delft, g.d.-c)

6.4.2 Verlijmd ballast

Het probleem van oud ballast is dat de stenen makkelijk langs elkaar kunnen bewegen, door de ballast te verlijmen gebeurt dit minder snel. Het verlijmen van ballast gebeurt in Nederland nog niet vaak maar in andere landen gebeurt dit wel al vaker. Het verlijmen van ballast heeft namelijk een aantal voordelen, zoals:

- Het verminderd de zettingen
- Het verhoogd de horizontale stabiliteit
- Het werkt goed voor een transitie zone
- Voorkomt dat ballast meegezogen wordt door hoge snelheidstreinen
- Het zorgt er voor dat afval eruit gezogen kan worden zonder dat stenen worden opgezogen
- Het creëert een goed beloopbaar oppervlak

Het gebruik van lijm zou dus de nadelen van oud ballast weg kunnen nemen of als het vanaf het begin gebruikt wordt kan het de levensduur van ballast verlengen. De lijm zorgt er niet voor dat de porositeit van het ballastbed verandert, dus de drainage zal voldoende blijven. Ook kan het ballastbed nog worden verwerkt nadat het verlijmd is omdat de lijm niet schadelijk is voor het milieu. (Infrasite, 2021a)

7 ZIJN ER ALTERNATIEVEN VOOR BALLAST?

In Nederland kan geen ballast worden gewonnen, daarom komt het uit het buitenland. In dit hoofdstuk wordt onderzocht of er geen alternatieve materialen zijn die wel uit Nederland komen. Met in gedachten het idee om niet iets te optimaliseren wat niet hoort te bestaan, maar ook in een kwartsloze toekomst zijn andere opties misschien ook interessant. Per optie worden de verschillende vereiste functies beoordeeld.

7.1 Metaalslakken

Bij het produceren van staal zijn metaalslakken een van de bijproducten. Deze kunnen voor meerdere doeleindes worden gebruikt, maar er worden er altijd minder gebruikt dan geproduceerd. De metaalslakken kunnen onder andere worden gebruikt voor de fundering van wegen, in cement of beton en in kunstmest. Maar metaalslakken kunnen ook voor spoorwegen gebruikt worden, zie figuur 7.1 (Hussain en Hussaini, 2022). Het onderzoek van Hussain en Hussaini, 2022 heeft de volgende conclusies:

- Metaalslakken hebben een hogere schuifsterkte en een vergelijkbare wrijvingshoek als normaal ballast
- De permanente vervorming met metaalslakken vergeleken met normaal ballast is lager onder cyclische belasting
- Metaalslakken breken minder snel, dus is er minder onderhoud nodig
- De terugveringsmodulus is hoger bij metaalslakken, dus comfort voor de reizigers is beter met metaalslakken dan met normaal ballast
- De maximale contact spanning tussen de dwarsligger en de ballast is lager bij metaalslakken dan bij normaal ballast
- De horizontale weerstand is bij metaalslakken hoger dan bij normaal ballast, dit komt voornamelijk doordat metaalslakken zwaarder zijn.

Dit zijn natuurlijk alleen maar de voordelen en als er geen nadelen waren had het al in gebruik geweest voor spoorwegen. De metaalslakken zetten in verloop van tijd iets uit en kunnen afhankelijk van waar en hoe ze zijn ontstaan zware metalen lekken. Dit kan echter wel verminderd worden door de metaalslakken te behandelen door middel van carbonisatie en siliconen harsen. Ook zoals eerder vermeld is de dichtheid van metaalslakken hoger dan normaal ballast. Dit is ook niet gewenst omdat dit de spanningen op de ondergrond verhoogd en het is niet handig voor bruggen. Het zal dus misschien niet overal toegepast kunnen worden en daarmee zijn metaalslakken misschien niet de meest conventionele materiaal, maar het voldoet in principe wel aan al de eisen. (Hussain en Hussaini, 2022)



Figuur 7.1: Foto van spoor met metaalslakken in Canada (Hussain en Hussaini, 2022)

7.2 Beton

Een van de alternatieven voor ballast is beton. Dit wordt in Nederland al toegepast op de HSL in de vorm van betonnen platenspoor. Ballast wordt vaker gebruikt door de lagere kosten en makkelijker onderhoud, maar om meerdere redenen kan er voor een betonnen platenspoor gekozen worden:

- Beschikbaarheid van het spoor
- Life cycle kosten
- Vermindering van geluid- en trillingshinder
- Toegankelijkheid van de spoorbaan voor wegvoertuigen
- Gebrek aan geschikt ballast materiaal
- Beperken van stofverplaatsing uit ballast naar de omgeving

De investeringskosten voor een platenspoor is heel hoog, maar er moet naar de totale life cycle kosten worden gekeken. Het platenspoor verdient zichzelf terug via meerdere manieren. De eerste manier is een reductie van constructie hoogte. De tunnels en viaducten hoeven dus minder hoog gemaakt te worden. De tweede manier is dat het spoor bijna onderhoudsvrij is en dus meer beschikbaar is. Hierbij wordt dus bespaard op onderhoud en kan er meer verdient worden als het spoor meer open is. De laatste manier is dat het platenspoor een langere levensduur heeft, mits het goed gebouwd is. De totale kosten worden dus verspreid over meer jaren dan een traditioneel ballast spoor. Echter zullen deze besparingen de totale kosten niet ver genoeg terug dringen om een betonnen platenspoor goedkoper te maken dan een ballast spoor. (Esveld, g.d.)

De taken waaraan een ballast spoor moet voldoen kan een platenspoor ook, het bieden draagkracht, het verspreiden van krachten en het bieden van horizontale stabiliteit kan beton ook heel goed. Het afvoeren van water zal op een iets andere manier moeten gebeuren want beton heeft geen gaten. De platen zal dus onder een afschot geplaatst moeten worden zodat het water eraf stroomt. Kortom, beton is een volwaardig alternatief voor ballast, alleen is het veel duurder en duurt het langer om aan te leggen.

7.3 Riviergrind

Als alternatief zou ook riviergrind gekozen kunnen worden. Dit wordt in Nederland gewonnen dus er hoeft niet meer geïmporteerd te worden. (van Nederland, g.d.-b) Maar door de ronde vorm van het grind voldoet het niet aan de eisen voor ballast. De draagkracht en horizontale stabiliteit zal veel minder

zijn dan met normaal ballast, omdat de stenen veel makkelijker langs elkaar kunnen bewegen. Wel zou het misschien mogelijk zijn met wat hulp.

De mogelijke manieren om oud ballast her te gebruiken voor spoorwegen, zie H6.4, zouden hier misschien ook van toepassing kunnen zijn. Door het opsluiten van het grind wordt de draagkracht en de schuifweerstand hoger dus zal het misschien voldoen aan de eisen. Hetzelfde voor het verlijmen van het grind, hierdoor bewegen ze minder snel langs elkaar. Een combinatie van het opsluiten en verlijmen van het grind is ook mogelijk. Een andere optie is het breken van het riviergrind, hierdoor krijgt het ook een ruwe structuur en wordt de draagkracht ook beter. Kortom, riviergrind zou misschien gebruikt kunnen worden maar er is een hoop extra werk voor nodig.

7.4 Puinkorrel

Puinkorrel ook wel meng-granulaat genoemd, is een mix van gebroken stenen, afkomstig van puinafval. Dit wordt vaak gebruikt als fundering van wegen of als grindvervanger in beton. Het zou dus misschien ook gebruikt kunnen worden als fundering voor het spoor.

De materiaal eigenschappen van puinkorrel verschilt heel erg omdat het erg afhankelijk is van de afkomst. Maar er kan van baksteen tot beton in zitten. Ook zit er vaak een gedeelte zand in. Dit zorgt er voor dat er geen of weinig poriën in de mix zitten dus de drainage is niet goed. Om dit te verbeteren kan het zand eruit gezeefd worden. Ook de hardheid van het materiaal is minder dan normaal ballast, dit zorgt er voor dat de stenen sneller zullen slijten en het ballastbed eerder vervuild raakt of niet meer aan de sterkte eisen voldoet.

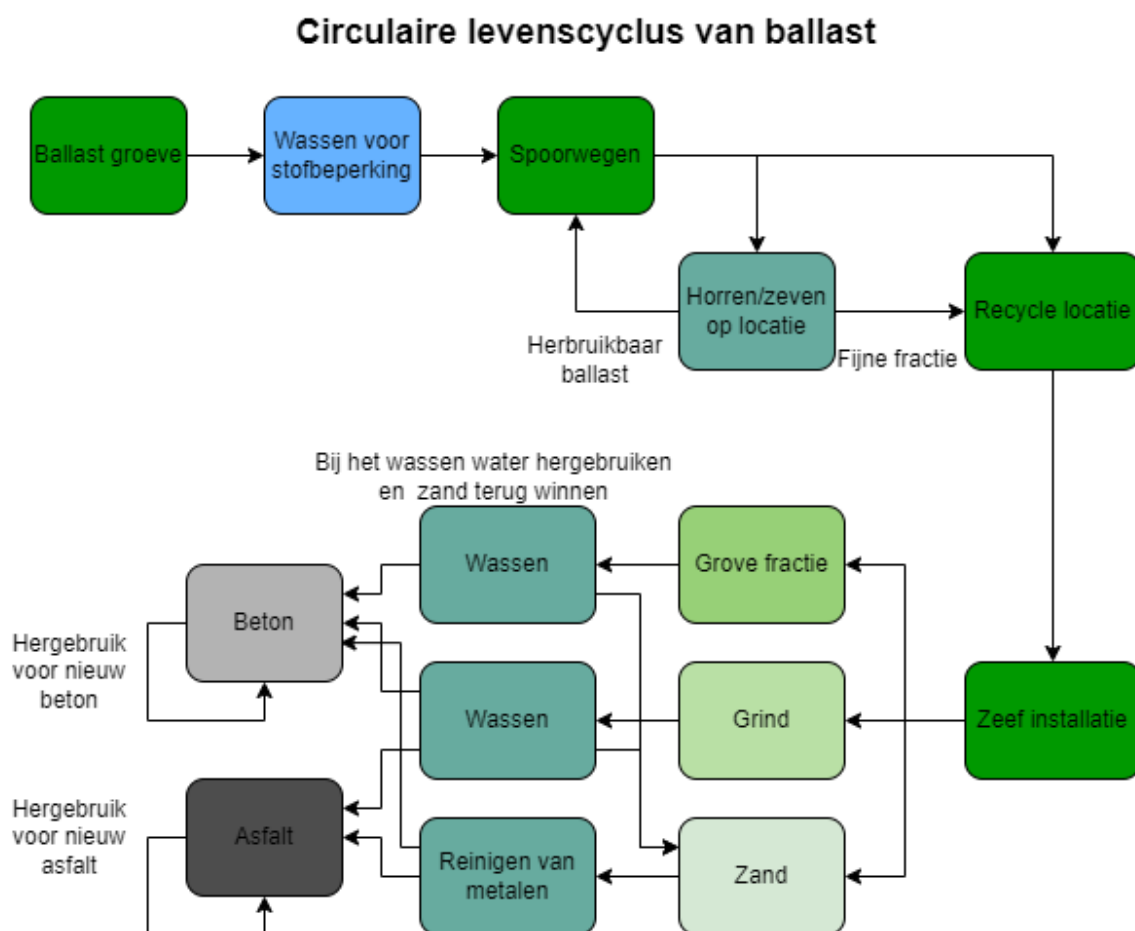
Puinkorrel zou een goedkoop alternatief zijn omdat het overal te verkrijgen is. Dit zou dus een hoop schelen op transport kosten. Echter komt het bij het werken met puinkorrel ook een hoop stof vrij en dit is niet gewenst, aangezien daar ook kwarts in kan zitten omdat puinkorrel uit veel verschillende materialen bestaat en kwarts in veel verschillende steensoorten zit.

8 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN

8.1 Conclusie

Het doel van dit rapport was om antwoord te geven op de hoofdvraag: *'Hoe kan ballast een circulair materiaal worden?'*

Ballast kan een circulair materiaal worden door alles op een hoogwaardige manier her te gebruiken. Waarbij er dus geen restproducten zijn. Hiervoor zal het eerst gewassen en gezeefd moeten worden om het her te mogen gebruiken. Een circulaire levensloop van ballast is te zien in figuur 8.1. Zoals te zien in figuur 8.1 worden alle onderdelen van het oude ballast (zand, grind en ballast stenen) op een hoogwaardige manier hergebruikt en mag het materiaal circulair worden genoemd. Voor de grove fractie, de ballast stenen, is beton het meest circulair als dit wordt hergebruikt voor nieuw beton. Ook is de levensduur van beton heel groot, wat ook voordelig is. Wel moet het beton worden hergebruikt voor beton om het hoogwaardig her te gebruiken. Voor de grind en zand-fractie is asfalt het meest circulair. Dit omdat heel veel oud asfalt gerecycled wordt voor nieuw asfalt. Beton is ook een optie als de ballast al bijvoorbeeld in de buurt van een betoncentrale is, maar beton wordt niet altijd hergebruikt voor nieuw beton en is dus minder circulair.



Figuur 8.1: Circulaire levenscyclus ballast (eigen werk)

8.2 Aanbevelingen

Het doel van dit rapport was onder andere om de klimaat impact van ballast te verminderen door te kijken naar de circulariteit van materialen. Hier kan ook nog veel worden gewonnen door bijvoorbeeld te letten op transport. Ballast is zwaar dus kost veel energie om te transporteren, dus nieuwe doeleindes die dichtbij zijn hebben meer voorkeur, hierbij moet ook gelet worden dat het materiaal niet te vaak moet worden overgeladen want dit kost ook veel energie.

Ook kan de keuze voor een groeve belangrijk zijn voor de klimaat impact van ballast. Er zijn moderne groeves waarbij er zo duurzaam mogelijk ballast wordt gewonnen, dus vergeleken met minder moderne groeves zal de klimaat impact van ballast veel kleiner zijn. Ook is het belangrijk dat er een groeve dichtbij het project gekozen wordt. Echter zal hier nog moeten worden onderzocht of de afstand tot project of de duurzaamheid van de groeve doorslaggevend is voor de keuze.

9 DISCUSSIE

Dit rapport is gebaseerd op een literatuur onderzoek, er zijn daarbij dus geen testen gedaan. Bij de alternatieven voor ballast is alles ook gebaseerd op literatuur onderzoek. Hiervoor zouden testen wel heel handig kunnen zijn, maar dat is niet mogelijk voor een onderzoek als deze. Ook voor de mogelijke doeleindes zouden testen handig zijn om te kijken of het wel echt werkt, want iets kan op papier heel mooi klinken maar kan tegen vallen in de praktijk.

Ook bij het bepalen van een circulaire levensloop van ballast zouden er meerdere opties kunnen. In plaats van beton zou er bijvoorbeeld ook een schanskorf kunnen staan en dat zou ook circulair zijn. Echter zou de vraag voor schanskorven zou waarschijnlijk niet genoeg zijn om al het ballast kwijt te kunnen. Maar omdat het altijd voor beton gebruikt kan worden is er gekozen voor beton.

Bij het bepalen van de locaties voor recyclebedrijven die ballast aannemen is er een grondige online zoektocht gedaan. Toch zou het kunnen dat niet alles gevonden is want niet alle bedrijven zijn online actief. Dit is echter niet een heel groot probleem aangezien de belangrijkste gevonden zijn.

LITERATUURLIJST

- Arora, V., & Khosla, B. (2021, juli). *Conventional and Contemporary Techniques for Removal of Heavy Metals from Soil*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98569>
- Asfaltbouw B.V. (g.d.). Asfaltverwerking - Asfaltbouw B.V. <https://www.asfaltbouw.nl/diensten/asfaltverwerking/#:~:text=Asfalt%20is%20samengesteld%20uit%20twee,bitumen%2C%20dat%20geldt%20als%20bindmiddel>.
- Carta, T. (2021, maart). Ballastonderzoek - TerraCarta. <https://terracarta.nl/milieukundig-bodemonderzoek/ballastonderzoek/>
- Chen, C., McDowell, G. G., & Thom, N. (2012). Discrete element modelling of cyclic loads of geogrid-reinforced ballast under confined and unconfined conditions. *Geotextiles and Geomembranes*, 35, 76–86. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2012.07.004>
- Coesfeld, G., & Schultze, E. (g.d.). *Elastic Properties of Ballast* (tech. rap.). 5th International Conference on Soil Mechanics; Foundation Engineering (Paris). https://www.issmge.org/uploads/publications/1/40/1961_01_0056.pdf
- Dennis. (2017, september). Spoorwegenkaart. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=62275026>
- Esveld, C. (g.d.). TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN VAN BETON IN DE RAILINFRA.
- grond & bagger, W., Bouwstoffen, W., & implementatieteam beslijt en bodemkwaliteit, H. (2011, oktober). *Verwerking van spoorballast*. <https://iplo.nl/zoeken/@130592/verwerking-spoorballast-31-10-2011/>
- Hussain, A., & Hussaini, S. M. Q. (2022). Use of steel slag as railway ballast: A review. *Transportation geotechnics*, 35, 100779. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100779>
- Immobilisatie grond, principe van de techniek | Bodemrichtlijn. (g.d.). <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d5-immobilisatie/immobilisatie-grond-principe-van-de-techniek>
- Infrasite. (2021a, maart). Ballast verlijmen | Infraside. <https://www.infraside.nl/glossary/ballast-verlijmen/>
- Infraside. (2021b, maart). Porfier | Infraside. <https://www.infraside.nl/glossary/porfier/#:~:text=Een%20porfier%20bestaat%20uit%20een,grote%20veldspaat%2Dfenocrysten%20kan%20bevatten>.
- Inname van spoorballast - Olthof groep. (g.d.). <https://www.olthofgroep.nl/inname-van-spoorballast/>
- Jonker, H. (2016, december). *Basalt* (tech. rap.). https://www.mijnhobbykast.nl/images/documenten/G_308_Basalt.pdf
- Kettinghor-Mfs. (g.d.). <https://www.mdolman.nl/nl/kettinghor-mfs/>
- King, H. M. (g.d.). Gneiss: Metamorphic Rock - Pictures, Definition More. <https://geology.com/rocks/gneiss.shtml>
- Kraaijvanger, C. (2017). Er dreigt een wereldwijd tekort aan zand. *Scientias.nl*. <https://scientias.nl/er-dreigt-wereldwijd-tekort-aan-zand/>
- Kuhlkamp. (g.d.). Schanskorf, afm. 150 x 50 x 50 cm, verzinkt staal, maas 10 x 10 bij Buitengoed. <https://buitengoed.nl/artikel/5725/schanskorf-afm-150-x-50-x-50-cm-verzinkt-staal-maas-10-x-10.html>
- Mechielsen machineverhuur. (g.d.). <https://www.mechielsenverhuur.nl/nl/komptech-nemus-2700-trommelzeef/>
- Natte reiniging grond, uitgangspunten voor het ontwerp | Bodemrichtlijn. (g.d.). <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/d-verwerken-van-grond/d3-natte-reiniging/natte-reiniging-grond-uitgangspunten-voor-het-ontwerp>
- Oorsprong van basalt - Handsmade BV. (2018, oktober). <http://www.hansvandermade.eu/oorsprong-van-basalt/>

Open ontgraven, Zeven verwijderde grond | Bodemrichtlijn. (g.d.). <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/c-grondverzet/c2-open-ontgraven/open-ontgraven-zeven-verwijderde-grond>

Paleontica - Graniet. (g.d.). <https://www.paleontica.org/glossary/347/Graniet#:~:text=Graniet%20is%20een%20stollingsgesteente%20dat,behoort%20hiermee%20tot%20de%20dieptegesteenten>

porfier. (g.d.). <https://www.joostdevree.nl/shtmls/porfier.shtml>

Powerscreen Warrior 1800 Scalping Screen. (g.d.). <https://www.powerscreen.com/en/product-screens/scalping-screens/warrior-1800-screen>

ProRail. (g.d.-a).

ProRail. (g.d.-b). Waarom worden kwartshoudende stenen als ballast gebruikt? <https://www.prorail.nl/veelgestelde-vragen/ballast/waarom-worden-kwartshoudende-stenen-als-ballast-gebruikt>

ProRail. (2019, december). 180 jaar spoor: Het begin van de spoorwegen. <https://www.prorail.nl/nieuws/180-jaar-spoor-het-begin-van-de-spoorwegen>

ProRail. (2021, november). ProRail gaat gebruik van kwartsloze ballast voorschrijven. <https://www.prorail.nl/nieuws/prorail-gaat-gebruik-van-kwartsloze-ballast-voorschrijven#:~:text=ProRail%20heeft%20besloten%20vanaf%201,spoor%20bevatten%20het%20mineraal%20kwarts>

Railpro Steenslag. (g.d.). https://www.railpro.online/nl_NL/steenslag/15/#:~:text=Ballast%20die%20in%20de%20Nederlandse,is%20in%20verschillende%20gradaties%20leverbaar

Samarska, A., Kovrov, O., & Zelenko, Y. V. (2020). Investigation of Heavy Metal Sources on Railways: Ballast Layer and Herbicides. *Journal of Ecological Engineering*, 21(8), 32–46. <https://doi.org/10.12911/22998993/127393>

Schanskorven, G. (g.d.). Schanskorven kopen, voordelig en snel bij Gabion. <https://www.gabion-schanskorven.nl/>

Slagt, B. (2022). Wat is circulariteit? - circulairinbedrijf.nl. *Circulairinbedrijf*. <https://www.circulairinbedrijf.nl/wat-is-circulariteit/>

Spoorballast in Nederland – Bontrup. (g.d.). <https://www.bontrup.com/spoorballast-bestone/>

Sterrenzeef - Konings Transportbanden. (2022, februari). <https://www.koningstransportbanden.nl/portfolio-item/sterrenzeef/>

The Editors of Encyclopaedia Britannica. (1998, juli). Basanite | rock. <https://www.britannica.com/science/basanite>

TNO. (2020, november). <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-1d7517d1-09e5-4ba6-b2ff-0b7f961ba56e/pdf> (tech. rap.). <https://open.overheid.nl/documenten/ronl-1d7517d1-09e5-4ba6-b2ff-0b7f961ba56e/pdf>

Trevi Environmental Solutions - Decanteercentrifuge. (g.d.). <https://www.trevi-env.com/nl/water-realisaties/water-overzicht/126-water-techniekfiches/307-centrifuge>

Trevi Environmental Solutions - Ontwateren met filterdoek. (g.d.). <https://www.trevi-env.com/nl/water-realisaties/water-overzicht/126-water-techniekfiches/306-filterdoek>

TU Delft. (g.d.-a). Baanlichaam. <https://brightspace.tudelft.nl/d2l/le/content/499594/viewContent/3118051/View>

TU Delft. (g.d.-b). Degradation, Track Soil Settlement. <https://brightspace.tudelft.nl/d2l/le/content/499594/viewContent/2999960/View>

TU Delft. (g.d.-c). Granular Materials and Ballast; General Notions. <https://brightspace.tudelft.nl/d2l/le/content/499594/viewContent/2999959/View>

tussen..., V. (2022, april). Verschillen tussen grind en steenslag - Verschillen tussen... <https://verschillen-tussen.nl/verschillen-tussen-grind-en-steenslag/>

van Nederland, G. (g.d.-a). Graniet - Geologie van Nederland. <https://www.geologievannederland.nl/zwerfstenen/beschrijvingen/graniet>

van Nederland, G. (g.d.-b). Grind - Geologie van Nederland. <https://www.geologievannederland.nl/ondergrond/afzettingen-en-delfstoffen/grind>

van Zetten, J. (2020). Kettinghor. *Wikipedia*. [https://nl.wikipedia.org/wiki/Kettinghor#/media/Bestand:Flickr_-_NewsPhoto!_-_Ballastvernieuwing_Hoorn_-_Zaandam_\(2\).jpg](https://nl.wikipedia.org/wiki/Kettinghor#/media/Bestand:Flickr_-_NewsPhoto!_-_Ballastvernieuwing_Hoorn_-_Zaandam_(2).jpg)

Visual, R. (g.d.). Betonblokken - Lanbouw - Beton - Delaere Stortbeton. <http://www.delaerestortbeton.be/beton/landbouw/betonblokken.php>
zandvang, zandvanger. (g.d.). <https://www.joostdevree.nl/shtmls/zandvang.shtml>

10 BIJLAGEN

TNO code	Naam certificaathouder	Wingebied	Ballast Materiaal ¹²⁾	Datum bezoek	Monster-neming	Behandeling ballast
1 ¹⁾	Oster Pukk og Sand AS ⁸⁾	Eikefet, Noorwegen	Granietgneis	16-9-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Ongewassen
2 ¹⁾	Norwegian Sandstone Export AS ¹⁰⁾	Seljestokken Svelgen, Noorwegen	Zandsteen (Meta-Zandsteen)	17-9-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Ongewassen
3 ¹⁾	Mibau Nederland B.V.	Tau, Noorwegen	Kwartsdioriet	19-9-2019	Type 1 uit depot	Ongewassen
13 ⁷⁾				4-11-2019	In Amsterdam	Gewassen
4 ^{1,2)}	Mibau Nederland B.V.	Jelsa, Noorwegen	Granodioriet (Meta-granodioriet)	20-9-2019	Type 2 uit depot in steengroeve	Ongewassen
5 ³⁾	Graniet Import Benelux B.V.	Bremanger, Noorwegen	Bestone (Meta-zandsteen)	23-9-2019	Type 1 uit depot In Amsterdam	Gewassen
6 ^{3,4)}	Graniet Import Benelux B.V.	Glensanda, Schotland	Graniet (Granodioriet)	23-9-2019	Type 1 uit depot in Amsterdam	Ongewassen
7 ⁵⁾	Johann Düro GmbH & Co.KG	Taben-Rodt, Duitsland	Kwartsiet	7-10-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Gewassen
8 ^{6,8)}	Rheinische Provinzial Basalt- und Lavawerke GmbH & Co.oHG	Werk Nickenich, Duitsland	Basaniet (Tefrietische foïdiet)	7-10-2109	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Ongewassen
9	Carrières Unies de Porphyre ¹⁰⁾	Lessines, België	Porfier (Kwarts-microdioriet)	31-10-2019	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Gewassen
10	Sagrex - Aggregates Activity of CBR	Quenast, België	Porfier (Kwarts-microdioriet)	31-10-2019	Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Gewassen
12 ¹³⁾					Type 1 vanaf transportband in steengroeve	Ongewassen
11 ^{6,8)}	Société d'Exploitation des Carrières d'Yvoir	Yvoir, België	Zandsteen (Arkose)	31-10-2019	Type 1 uit depot in steengroeve	Gewassen

Opmerkingen bij Tabel 1:

1. Geen gewassen ballast beschikbaar, dit gesteente wordt wel altijd gewassen geleverd. Het wordt pas gewassen bij het inladen op het schip
2. Type 2 gesteente (22-40mm)
3. De ballast komt als grof gesteente uit het wingebied en wordt in Amsterdam gebroken, gezeefd en gewassen
4. Dit gesteente wordt niet gebruikt als ballastmateriaal voor ProRail (alleen als reserve), er was geen gewassen voorraad voorhanden.
5. Deze groeven leveren nauwelijks aan ProRail, dit waren oude voorraden uit depot.
6. Dit ballastmateriaal is bemonsterd direct na breken en de eerste zieving.
7. Dit ballastmateriaal is bemonsterd vanuit een tussentijds depot in Amsterdam, na transport met schip vanuit Tau.
8. Deze groeven waren tijdelijk gesloten waardoor een inspectie van de procesinstallatie niet mogelijk was
9. De naam is in 2020 verandert in DC Eikefet Aggregates AS
10. De naam is in 2020 verandert in DC Resources Seljestokken AS
11. De steengroeve in Lessines heeft het certificaat sinds augustus 2020 niet meer verlengd
12. Zowel de product-/handelsnaam en petrografische benaming (tussen haakjes) zijn hierbij benoemd.
13. De ballast wordt altijd gewassen geleverd, expliciet voor dit onderzoek is een extra monster ongewassen ballast van de lopende band genomen.

Figuur 10.1: Gegevens van ballast en de daarbij behorende steengroeven (TNO, 2020)