

Het polijstgetal berekenen in plaats van het te meten

Paul Kuijper
Rijkswaterstaat GPO, Griffioenlaan 2, 3526 LA Utrecht

Dave van Vliet en Almar Snippe, TNO
Cyrus Gharabaghy, Cyrus Infra Engineering

Samenvatting

In dit paper wordt verslag gedaan van het verband tussen de mineralogische samenstelling van steenslag en het polijstgetal van dat steenslag. Bij dit onderzoek zijn twee typen gesteente betrokken namelijk stollingsgesteente en sedimentgesteente. Er is een regressieverband bepaald waarmee het mogelijk is om van zowel sedimentgesteente als stollingsgesteente het polijstgetal te berekenen. Dit onderzoek beschrijft verder de robuustheid van het verband en de reproduceerbaarheid van de berekende polijstgetallen. Uit het onderzoek blijkt dat de reproduceerbaarheid van het op basis van de mineralogie berekende polijstgetal voor sediment gesteente veel beter is dan de in NEN-EN 1097-8:2009 genoemde reproduceerbaarheid van het gemeten polijstgetal. Voor stollingsgesteente is de reproduceerbaarheid gelijk aan de in de norm genoemde waarde. Tot slot wordt er in dit paper een hulpmiddel gepresenteerd waarmee een gedeclareerd polijstgetal op basis van de mineralogische samenstelling op juistheid kan worden gecontroleerd. Dit hulpmiddel heeft zijn waarde inmiddels in de praktijk bewezen.

Steekwoorden

Polijstgetal (PSV), mineralogie, stroefheid, Friction after Polishing (FAP)

1. Inleiding

In 2017 publiceerde Rijkswaterstaat het rapport “Polijstgetal en mineralogie” [1]. Dit rapport ging in op het voorspellen van de stroefheidontwikkeling in de praktijk met behulp van het verband tussen het polijstgetal en de mineralogische samenstelling van het steenslag. In het rapport werden twee regressieverbanden gepresenteerd, een voor sedimentgesteente en een voor stollingsgesteente. Deze regressieverbanden zijn met een relatief beperkt aantal waarnemingen (15 monsters stollingsgesteente en 18 monsters sedimentgesteente) bepaald. Inmiddels is de dataset uitgebreid met 17 nieuwe waarnemingen (5 monsters stollingsgesteente en 12 monsters sedimentgesteente).

Met de nieuwe, uitgebreide, dataset is een robuuster regressieverband bepaald, met name omdat er één regressieverband is opgesteld voor de gecombineerde dataset. Aanvullend is de gevoeligheid van dit verband voor variaties in het gehalte aan minerale bestanddelen bepaald. Tenslotte zijn de resultaten van een ringonderzoek onder 4 mineralogen geëvalueerd op de invloed op het voorspelde polijstgetal.

Het **hoofddoel** van het onderzoek is om aan te tonen dat er een sterk verband bestaat tussen de mineralogische samenstelling van steenslag en het polijstgetal van dat steenslag waardoor het mogelijk is om op basis van de mineralogische samenstelling een polijstgetal te berekenen. Een secundair doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een hulpmiddel om op basis van de mineralogische samenstelling van het steenslag het gedeclareerde polijstgetal op juistheid te toetsen.

2. Regelgeving

2.1 Polijstgetal

De eisen aan en bepaling van het polijstgetal bevinden zich in een grijs gebied. In de Standaard RAW Bepalingen 2015 wordt in tabel 81.2.12 “Eigenschappen van grof toeslagmateriaal” verwezen naar artikel 4.2.3 van NEN-EN 13043. Deze verwijzing betreft de vigerende norm NEN-EN 13043:2003/C1:2006. Volgens artikel 4.2.3 moet het polijstgetal bepaald worden overeenkomstig EN 1097-8. Artikel 2 van NEN-EN 13043 bevat de verwijzing naar de normen voor de testmethoden. In dit artikel wordt ten aanzien van de polijstproef verwezen naar EN 1097-8:1999.

Er bestaat een NEN-EN 13043:2015 Ontw. In deze norm wordt naar een niet gedateerde versie van de EN 1097-8 verwezen, maar omdat deze norm nog niet van kracht is blijft de EN 1097-8:1999 van kracht. Er bestaat wel een NEN-EN 1097-8:2009, maar daar wordt in de vigerende productnorm uiteraard nog niet naar verwezen. Tevens wordt opgemerkt dat er inmiddels een FprEN 1097-8:2019 is verschenen. In deze norm wordt ten opzichte van de versie uit 1999 en 2009 een nieuwe controlesteen toegepast. Dit is het Herrnholzer Granit dat beschreven is in de TP Gestein-StB, Teil 5.4.1, Ausgabe 2010. Volgens dit document had de Herrnholzer Granit een polijstgetal van 54 bij een bandbreedte van ± 3 punten. In de nieuwe norm wordt voor hetzelfde gesteente een polijstwaarde van 56 punten bij een bandbreedte van ± 5 punten aangehouden. Dit heeft voor zowel de eisenstelling als voor de onterechte goed- en afkeurkansen gevolgen. Saillant detail is verder dat de NEN-EN 1097-8:1999 door het NEN is

ingetrokken. De vraag rijst dus volgens welke norm en met welke waarde voor de controlesteen in de komende tijd de polijstgetallen moeten worden gedeclareerd.

De in dit onderzoek gerapporteerde resultaten voor het polijstgetal zijn verkregen volgens de in NEN-EN 1097-8:2009 beschreven methode waarbij als controlesteen het Herrnholzer Granit is gebruikt. Hierbij is voor het polijstgetal van dit materiaal de waarde 54 aangehouden.

2.2 Petrografische beschrijving (Mineralogische samenstelling)

Het bepalen van de mineralogische samenstelling van het toeslagmateriaal is niet nieuw. In NEN-EN 13043:2003/C1:2006 wordt ten aanzien van de mineralogische samenstelling verwezen naar NEN-EN 932-3 voor een vereenvoudigde petrografische beschrijving. In de NEN-EN 13043 wordt de petrografische samenstelling uitsluitend gebruikt om iets te kunnen zeggen over de bestandheid tegen vorst/dooiwisselingen. De norm geeft een aantal mineralen die mogelijk een ongunstige invloed hebben op deze bestandheid. In dat geval is nader onderzoek door de bepaling van de wateropneming en/of een vorst/dooiproef noodzakelijk.

NEN-EN 932-3 beschrijft onder andere de bepaling van de mineralogische samenstelling van gesteenten. Deze samenstelling wordt uitsluitend gebruikt om het gesteente daarmee te beschrijven volgens de nomenclatuur in bijlage A van de norm. Dit betekent dat het steenslag beschreven wordt in termen van Graniet, Gabbro, Diabaas, Rhyoliet, Andesiet, Basalt, Zandsteen, Grauwacke, Kalksteen, etc. Deze beschrijving is onvoldoende om iets te zeggen over de weerstand tegen polijsten.

De in dit paper beschreven mineralogische samenstelling van het gesteente is bepaald volgens NEN-EN 932-3:1996/A1:2003. Aangezien de norm uit 1996 is, moge het duidelijk zijn dat de beschreven apparatuur gedateerd is. Tegenwoordig wordt van modernere apparatuur gebruik gemaakt. Deze apparatuur verschilt per laboratorium. Daarnaast is de beschrijving van de mineralen een subjectieve zaak, afhankelijk van de bekwaamheid en interpretatie van de mineraloog.

3. Regressieverband Polijstgetal-Mineralogische samenstelling

In het in de inleiding genoemde rapport van Rijkswaterstaat [1] is een hulpmiddel beschreven om op basis van de mineralogische samenstelling een gedeclareerd polijstgetal op juistheid te schatten. Gezien de in Paragraaf 2.1 geschetste problematiek rond de bepaling van het polijstgetal is dit een bittere noodzaak. Een robuust regressieverband tussen de mineralogische samenstelling en het polijstgetal is dan ook noodzakelijk. Een robuust model wordt verkregen door parameters te kiezen die meerdere mineralen omvatten. Een en ander is weergegeven in Tabel 1. De groepen zijn zodanig gekozen dat hierover bij de deelnemende mineralogen uit het ringonderzoek consensus bestaat. Dit omdat, zoals al eerder gezegd, de beschrijving en indeling in subgroepen en variabelen binnen deze subgroepen een subjectieve zaak is, afhankelijk van de kennis en ervaring van de mineraloog en de gebruikte apparatuur.

Tabel 1: groepen mineralen

Hoofdgroep	Subgroep	Variabele	Diverse mineralen
Hard (H)	Hard splijtbaar (HS)	Kaliveldspaat	Sanidien, Microklien, Orthoklaas
		Plagioklaas	Albiet, Plagioklaas
		Overig hard splijtbaar	Hornblende, Epidoot, Diopsied, Hematiet, Rutiel, Anataas, Monaziet
	Hard niet splijtbaar (HNS)	HNS	Kwarts, Phreniet, Zeoliet, Olivijn, Ilmeniet, Zirkoon, Magnetiet, Spinel, Piriet, Nepheline, Analcien, Titaniet, Pumpeliet, Pyroxeen
Zacht (Z)	-	Smectiet	Saponiet, Montmorilloniet
		Kaolinit	Kaolinit
		Carbonaat	Calciet, Ankeriet, Dolomiet, Sideriet
		Mica	Biotiet, Chloriet 2B4, Muscoviet
		Overig zacht	Goetiet, Apatiet, Sphene

Op deze wijze ontstaan er slechts negen variabelen waarmee het regressieverband bepaald moet worden. De som van de variabelen is voor elk onderzocht steenslagmonster steeds 100%. Daarnaast zijn er nog interacties tussen sommige variabelen. In [1] is uitgegaan van twee regressieverbanden, een voor sedimentgesteente en een voor stollingsgesteente. Het is nu gelukt om één regressieverband te bepalen voor zowel sedimentgesteente als stollingsgesteente. Hierbij worden de volgende opmerkingen gemaakt:

- Het model moet weten of het om stollings- dan wel sedimentgesteente gaat. Voor het onderscheid in beide typen zijn de volgende vuistregels aangehouden:
 - Stollingsgesteente bevat minder dan 98% Carbonaat, en
 - Stollingsgesteente bevat minder dan 40% Kwarts
- De gehalten van de variabelen zijn met behulp van de formule $y = 0,02 \cdot x - 1$, waarin x het gehalte van de variabele is, en y is dit gehalte omgerekend naar een waarde tussen -1 en +1 is. De reden om te schalen is dat er dan interacties meegenomen kunnen worden, én om een betere interpretatie te krijgen van de constante. Doordat de waarden nu zowel negatief als positief kunnen zijn, kunnen ze enerzijds wat toevoegen aan het gemiddelde, of anderzijds iets aftrekken van het gemiddelde. Bij enkel positieve percentages is het óf altijd iets toevoegen aan het gemiddelde, óf altijd iets aftrekken van het gemiddelde.

Het gevonden regressieverband is hieronder weergegeven, waarbij de coëfficiënten zijn afgerond op één decimaal om de leesbaarheid te vergroten.

$$P = 153.7 - 28.8 \cdot x_1 + 128.71 \cdot x_1 + 8.7 \cdot x_3 - 6.9 \cdot x_4 + 104.0 \cdot x_5 - 14.0 \cdot x_6 + 122.2 \cdot x_2 \cdot x_5 - 30.6 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Hierin is:

P = het polijstgetal (PSV)

x_1 = type steenslag (stolling (1), sediment (0))

x_2 = gehalte aan Kaliveldspaat

x_3 = gehalte aan Mica

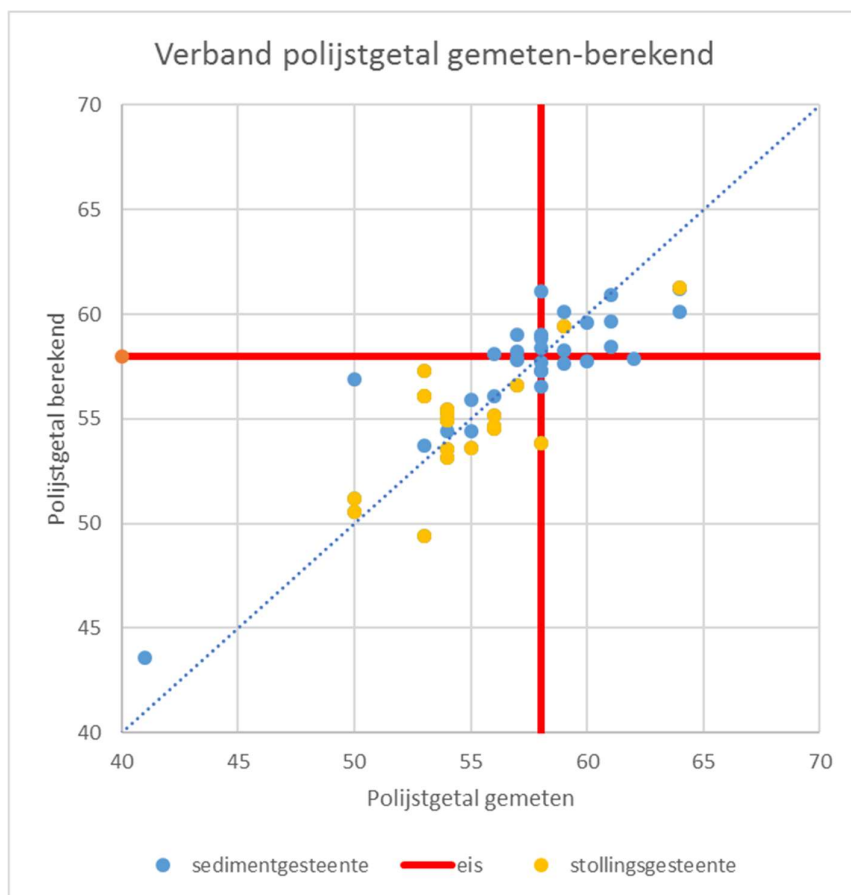
x_4 = gehalte aan Carbonaat

x_5 = gehalte aan Smectiet

x_6 = gehalte aan Overig hard splijtbaar

Merk op dat de laatste twee termen in het regressieverband producttermen zijn, i.e. de interacties. Bij de eerste interactie wordt het gehalte aan Kaliveldspaat vermenigvuldigd met het gehalte aan Smectiet, en vervolgens vermenigvuldigd met de bijbehorende coëfficiënt (122.2 in dit geval). Dit gebeurt ook bij de tweede interactie alleen dan met het type steenslag (waarde: 0 of 1) en het gehalte aan Kaliveldspaat.

Merk verder op dat niet alle van de 9 variabelen uit Tabel 1 in dit regressieverband zitten; de ontbrekende 4 variabelen hebben geen statistisch significante invloed op het polijstgetal. Het regressieverband is grafisch weergegeven in Figuur 1.

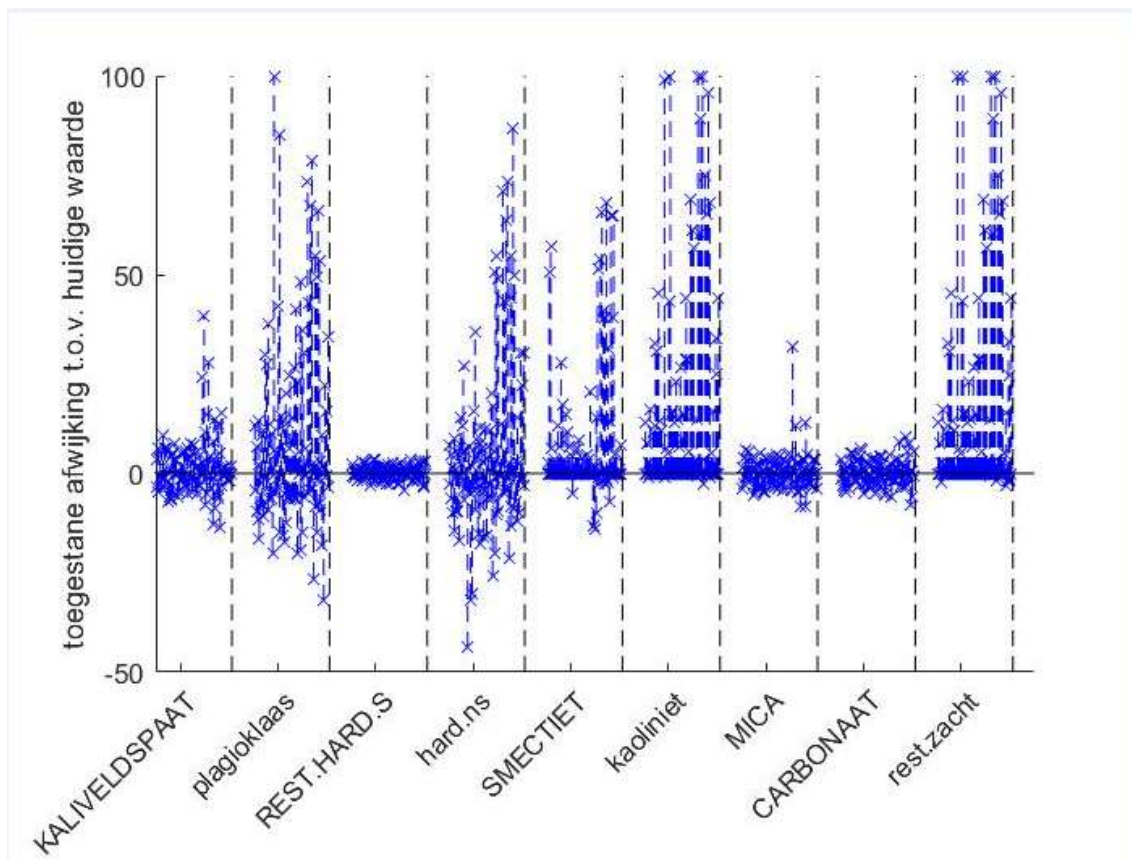


Figuur 1: Relatie tussen berekend en gemeten polijstgetal van sediment en stollingsgesteenten.

Het regressieverband verklaart 72,4% van de variantie, hetgeen betekent dat er een sterk verband bestaat tussen het polijstgetal en de mineralogische samenstelling van het steenslag [2].

4. Gevoeligheid van het regressieverband

De bepaling van de mineralogische samenstelling is een subjectieve zaak, afhankelijk van de gebruikte apparatuur, de methode en de kennis en ervaring van de mineraloog. Het is dan ook van belang om de gevoeligheid van het verband te kennen voor variaties in de percentages van de variabelen. Er is een analyse uitgevoerd, waarbij het gehalte van steeds één mineraal is gevarieerd. Omdat de som van alle variabelen steeds 100% moet zijn, is de verandering van het gehalte van een variabele steeds verdeeld over de overige variabelen. Het resultaat is weergegeven in de figuur 2.



Figuur 2: Resultaat gevoeligheidsanalyse

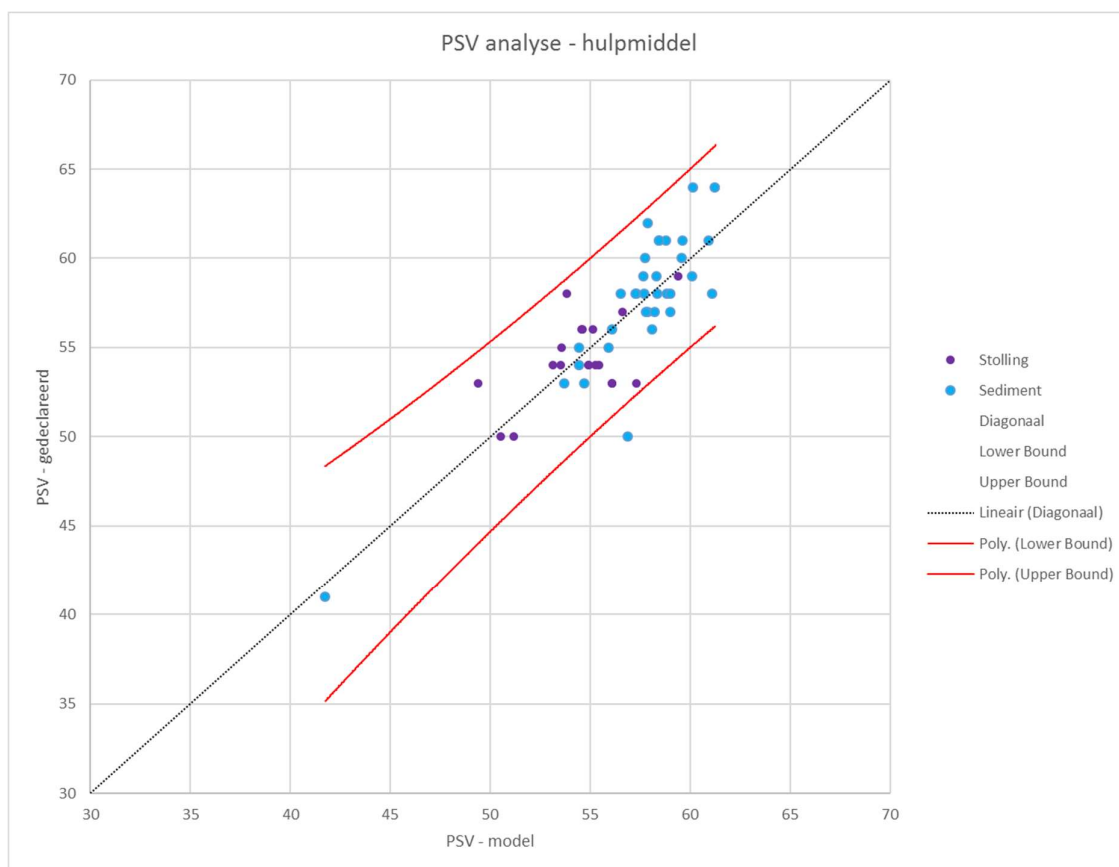
In Figuur 2 is steeds per monster aangegeven hoeveel een variabele mag veranderen om (afgerond) nog op hetzelfde polijstgetal uit te komen. De in hoofdletters weergegeven variabelen zijn de variabelen in het regressieverband. Uit het figuur valt af te leiden dat geringe veranderingen in het gehalte aan “Rest hard splijtbaar” en “Carbonaat” een grote invloed op het polijstgetal hebben. Dit geldt in mindere mate voor de variabelen “Kaliveldspaat” en “Mica”. De variabele “Smectiet” mag nog de meeste variatie hebben. Merk op dat de variabelen die niet in het regressieverband zitten een grote variatie mogen hebben om (afgerond) alsnog op hetzelfde polijstgetal uit te komen. Dit is een extra onderbouwing dat de variabelen in het regressieverband de belangrijke variabelen zijn.

Uit een in 2018 gehouden ringonderzoek onder 4 laboratoria is gebleken dat de Reproduceerbaarheid van het op basis van het model berekende polijstgetal voor stollingsgesteente gelijkwaardig is aan de Reproduceerbaarheid volgens NEN-EN 1097-8:2009 en dat deze voor sedimentgesteente aanmerkelijk beter is dan de in NEN-EN 1097-8:2009 genoemde waarde. De Reproduceerbaarheid voor stollingsgesteente bedraagt 5 punten en voor sedimentgesteente 1 punt.

5. Het hulpmiddel om een gedeclareerde waarde op juistheid te toetsen

Nu het verbeterde model bekend is, is ook het hulpmiddel om de juistheid van een gedeclareerd polijstgetal op waarde te beoordelen verbeterd. In het verleden bestond er een hulpmiddel voor stollingsgesteente en eentje voor sedimentgesteente. Het is gelukt om één hulpmiddel te maken waarmee voor zowel stollings- als sedimentgesteente het gedeclareerde

polijstgetal op basis van de mineralogische samenstelling getoetst kunnen worden. Het nieuwe hulpmiddel is weergegeven in Figuur 3.



Figuur 3: Het nieuwe hulpmiddel om een gedeclareerd polijstgetal op juistheid te beoordelen.

In **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is het nieuwe hulpmiddel gepresenteerd met op de x-as het PSV getal volgens het nieuwe model en op de y-as het gedeclareerde PSV getal. Verder is er onderscheid gemaakt tussen stollingsgesteente (paarse stipjes) en sedimentgesteente (blauwe stipjes) en is met een stippellijn de diagonaal aangegeven (idealiter liggen alle punten hier op of dichtbij in de buurt). Als laatste is met rode lijnen de bandbreedte aangegeven, als een punt hier buiten valt is er een te grote discrepantie tussen het PSV getal op basis van het model en het gedeclareerde PSV getal.

Het hulpmiddel is als Excelfile verkrijgbaar bij het Steunpunt Wegen en Geotechniek. Als voorbeeld wordt nu een toets op een teruggewonnen steenslag uitgevoerd dat volgens zeggen een Bestone uit de Bremanger Groeve in Noorwegen zou zijn. Het gedeclareerde polijstgetal bedraagt 62. De toets is uitgevoerd omdat er op wegvak 3 problemen met de stroefheid waren ontstaan.

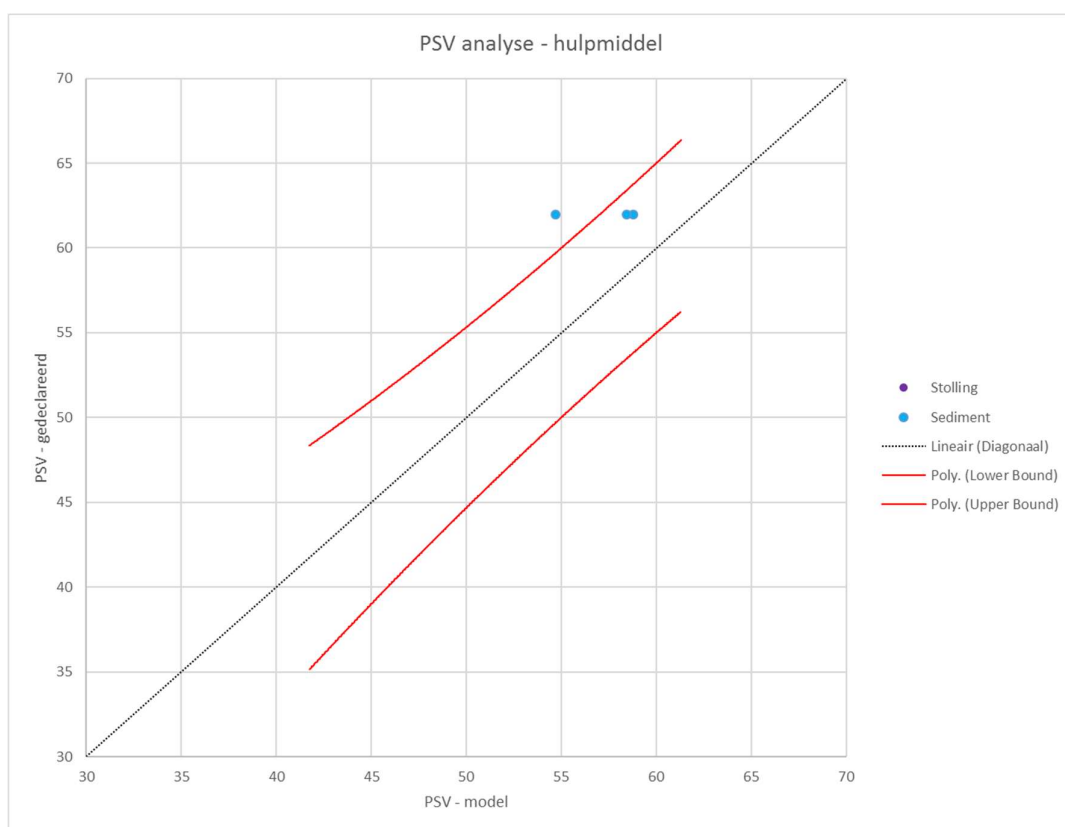
Monster	Groeve en Type	PSV - gedeclareerd	Sanidien	Albiet	Epidoot	Kwarts	Chloriet 2B4	Muscoviet	Calciet	Totaal	Type
Wegvak 1	Bremanger Quarry, Bestone	62	8,30	16,00	2,50	39,90	8,90	15,00	9,30	99,90	sediment

Wegvak 2	Bremanger Quarry, Bestone	62	6,98	15,36	2,60	41,94	7,87	15,57	9,68	100,00	sediment
Wegvak 3	bremanger Quarry, Bestone	62	5,23	5,88	0,00	65,22	1,79	3,86	18,02	100,00	sediment

Het hulpmiddel deelt de mineralen vervolgens in de in tabel 1 genoemde variabelen in.

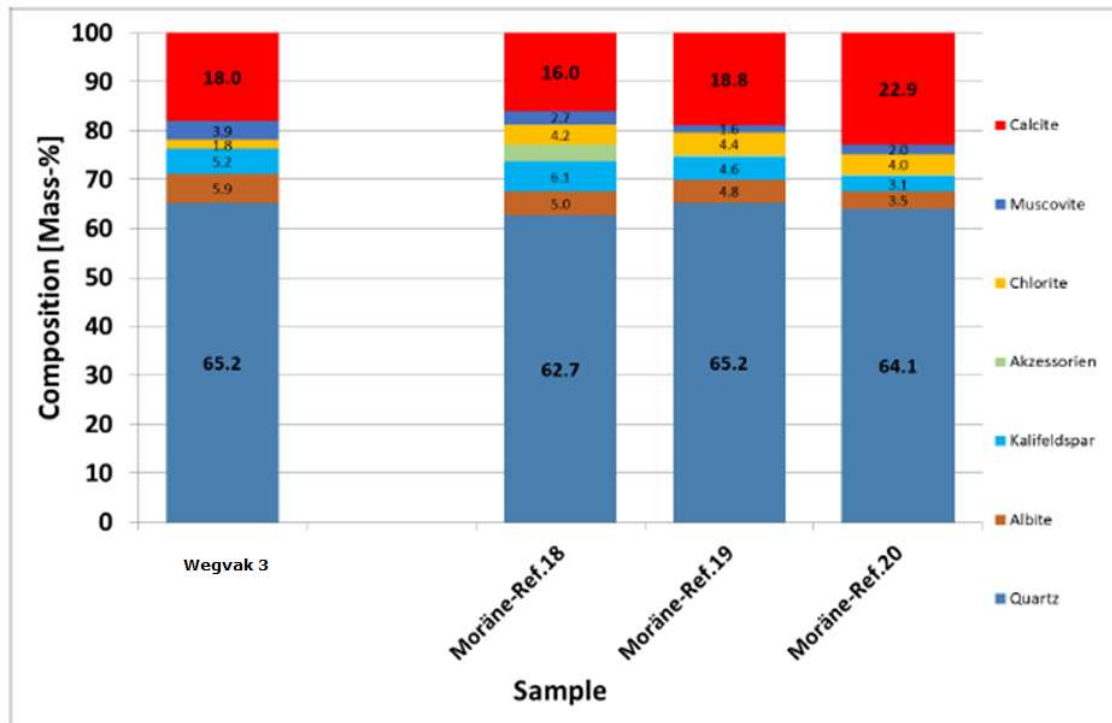
Type	Kaliveldspaat	Plagioklaas	RestHardS	HardNS	Smectiet	Kaoliniet	Mica	Carbonaat	RestZacht	Totaal
sediment	8,30	16,00	2,50	39,90	0,00	0,00	23,90	9,30	0,00	99,90
sediment	6,98	15,36	2,60	41,94	0,00	0,00	23,44	9,68	0,00	100,00
sediment	5,23	5,88	0,00	65,22	0,00	0,00	5,65	18,02	0,00	100,00

Tot slot wordt met behulp van het model het polijstgetal berekend en grafisch weergegeven. Het resultaat is te zien in Figuur 4.



Figuur 4: Toetsresultaat Bestone

Uit Figuur 4 blijkt dat één wegvak buiten de rode band valt en dat het gedeclareerde polijstgetal niet in overeenstemming met de geschatte modelwaarde is. Het betreft hier wegvak 3, waarop dit wegvak nader is onderzocht. Door de mineralogische samenstelling te vergelijken met bekende samenstellingen kan bepaald worden wat het type steenslag wel is. In het geval van wegvak 3 betrof het een morene steenslag (zie Figuur 5).



Figuur 5: Vergelijk mineralogische samenstelling wegvak 3 met bekende steenslagen.

5. Conclusie

Het **hoofddoel** van het onderzoek is om aan te tonen dat er een sterk verband bestaat tussen de mineralogische samenstelling van steenslag en het polijstgetal van dat steenslag waardoor het mogelijk is om op basis van de mineralogische samenstelling een polijstgetal te berekenen. Uit het onderzoek is gebleken dat dit inderdaad het geval is. Het is mogelijk om met een gelijkwaardige (stollingsgesteente) of betere (sedimentgesteente) reproduceerbaarheid het polijstgetal te berekenen dan deze conform de NEN-EN 1097-8:2009 te meten.

Een secundair doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een hulpmiddel om op basis van de mineralogische samenstelling van het steenslag het gedeclareerde polijstgetal op juistheid te toetsen. Dit hulpmiddel is verbeterd ten opzichte van de eerdere versie en heeft inmiddels zijn nut bewezen.

6. Aanbeveling voor vervolgstappen

De indeling van de variabelen is tot stand gekomen door het bereiken van consensus tussen vier mineralogen na het houden van een ringonderzoek. Om na te gaan of deze consensus daadwerkelijk is beklijfd, verdient het aanbeveling om op korte termijn nogmaals een ringonderzoek onder deze en het liefst met nog andere mineralogen te houden.

7. Literatuurlijst

1. Kuijper, P.M.: “Polijstgetal en mineralogie”. RWS-GPO, Utrecht, 2017 [extern RWS](#)
2. <http://www.let.leidenuniv.nl/history/RES/stat/html/les10.html>

Bijschrift figuren (Times New Roman 12, cursief)