MICHIEL VAN DER MEULEN, WIM WESTERHOFF, ARMIN MENKOVIC, STEPHAN GRUIJTERS, WIM DUBELAAR & DENIS MALJERS
Geologische Dienst Nederland TNO
Michiel.vandermeulen@tno.nl

Oorspronkelijke publicatie: Meulen, M.J. van der, Westerhoff, W.E., Menkovic A., Gruijters, SH.L.L., Dubelaar, C.W. & Maljers, D., 2009. Silica sand resources in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw 88-3, 147-160

Vertaald en bewerkt door L.E.M. de Boer & W.E. Westerhoff

# NATUURLIJKE VOORRADEN ZILVERZAND IN NEDERLAND

## Inleiding

Zilverzand is een natuurlijk zand met een zeer hoog kwartsgehalte (> 99% $SiO_2$) of een daaruit geproduceerde industriële grondstof. De kwarts wordt gebruikt voor verschillende toepassingen, zoals de productie van glas (55%), de ceramische (20%) en chemische industrie (10%) en ten behoeve van metaalgieterijen (10%). Jaarlijks wordt in Nederland ongeveer 1,5 miljoen ton gebruikt. De helft daarvan wordt in Nederland zelf gewonnen, met name in en rond Heerlen (Zuid-Limburg) (Afb. 1). Het zilverzand dat daar voorkomt, behoort tot de meest zuivere kwartszanden van Europa.

In vergelijking met andere voor industriële toepassingen in Nederland gewonnen zanden (bv. vulzand, metselzand e.d., zie Westerhoff dit nummer) is zilverzand een schaarse grondstof. Het valt daarom onder de bouwgrondstoffentoets, hoewel het zelf niet als grondstof voor de bouw wordt gebruikt. Deze toets is bedoeld om, in het kader van bestemmingsplannen, de aandacht te vestigen op voorkomens van bouwgrondstoffen. Enerzijds om te voorkomen dat potentieel winbare afzettingen ontoegankelijk worden voor exploitatie. Anderzijds om te bevorderen dat de uitvoering van grote (infrastructurele) bouwprojecten gecombineerd kan worden met de winning economisch waardevolle grondstoffen.

Afbeelding 1. Satellietopname van Heerlen (Google, 2009), waar twee bedrijven hoogwaardig zilverzand winnen.

Het uitvoeren van de bouwgrondstoffentoets vereist het gebruik van geologische informatie. De Geologische Dienst Nederland van TNO heeft daarvoor Delfstoffen Online ontwikkeld: een landelijk informatiesysteem dat op regionale schaal informatie verschaft over het voorkomen en de kwaliteit van aan, of dicht onder het oppervlak voorkomende minerale delfstoffen. In dit artikel beschrijven we de resultaten van een recent uitgevoerde inventarisatie naar de potentiële voorkomens van zilverzand in Nederland (Afb. 2).

## Uitgangspunten en gegevensbronnen

Uitgangspunt voor de inventarisatie vormen de onderzoeken over de natuurlijke voorkomens van zilverzand, in Zuid-Limburg en elders in Nederland, die al in de jaren 1990 en het begin van de 21ste eeuw zijn uitgevoerd. Doel hiervan was onder meer om te bezien wat de lange-termijn mogelijkheden zijn voor de binnenlandse productie van zilverzand. Voor een deel werden daarbij ook zanden betrokken met een iets lager $SiO_2$ percentage (< 99%) dan de normaal gebruikelijke waarden die de Nederlandse exploitanten hanteren. Dat heeft onder meer te maken met het feit dat in andere landen voor de opwerking van zilverzand lagere uitgangspercentages voor het $SiO_2$ gehalte worden gehanteerd. In Engeland bijvoorbeeld definieert de British Geological Survey zilverzand als "sand with a high proportion of silica (up to 99%)". Wat wij hier als

Afbeelding 2. Beknopte geologische overzichtskaart van Nederland met de ligging van de onderzoeksgebieden.

ondergrens voor zilverzand beschouwen is in Engeland dus de bovengrens.

De belangrijkste vraagstellingen van het door ons uitgevoerde onderzoek zijn:
- het beschrijven van de relevante eigenschappen van de bekende zilverzand voorraden in Zuid-Limburg;
- aangeven of deze eigenschappen gelden voor vergelijkbare afzettingen elders in het land;
- het in kaart brengen van dergelijke alternatieve voorraden;
- het verifiëren van de uitkomsten met beschikbare geochemische gegevens.

De basisinformatie die voor het onderzoek werd gebruikt, is afkomstig uit de digitale gegevensbronnen van de Geologische Dienst Nederland:
1. DINO (Data en Informatie Nederlandse Ondergrond); dit systeem bevat op dit moment informatie over meer dan 400.000 boringen op het vasteland van Nederland (gemiddeld ± 10 per km2). Naast boringen bevat DINO ook aanvullende informatie zoals, gegevens over korrelgrootte, geochemische samenstelling (slechts in beperkte mate) en diverse soorten microfossielen.
2. DGM (Digitaal Geologisch Model); een 3-dimensionaal model van de ondergrond van Nederland tot een diepte van ca. 500 m dat gebaseerd is op de lithostratigrafische interpretatie van ca. 16.500 boringen. Het model beschrijft de dikte en de diepteligging van de boven- en onderkant van alle Neogene en Kwartaire formaties. De informatie is vastgelegd in een raster met gridcellen van 100 x 100 m.

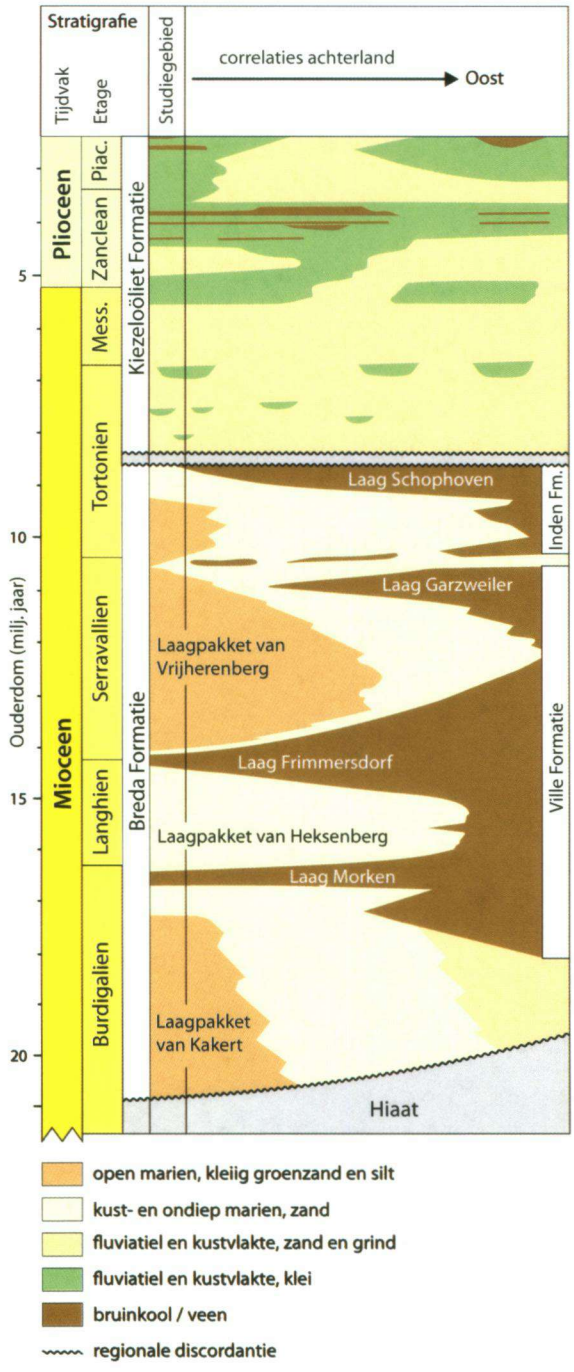
| | | Toepassingen | | | | | | | Chemische kakraterisatie | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | B | C | D | E | F | G | $SiO_2$ | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $TiO_2$ | LOI | Zware mineralen |
| Categorieën | 1 | | | | | ■ | ■ | ■ | 99.80 | 0.01 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | geen (smeltbare) zware mineralen |
| | 2 | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | 99.70 | 0.02 | 0.08 | 0.03 | 0.10 | n.v.t. |
| | 3 | | | | ■ | ■ | ■ | | 99.50 | 0.03 | 0.14 | 0.04 | 0.25 | n.v.t. |
| | 4 | | ■ | ■ | | | | | 99.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 | n.v.t. |
| | 5 | ■ | ■ | | | | | | 97.0 | 0.5 | 0.5 – 1.0 | 0.3 | 1.0 | n.v.t. |

Tabel 1.
Vijf categorieën zilverzand (1 t/m 5) geordend naar het toegepast gebruik: A) grove ceramiek, B) metaalgieterij, C) laagwaardig glas, D) fijne ceramiek, E) hoogwaardig glas, F) waterglas & zeeoliet, G) carborundum (SiC). Per categorie zijn de kwaliteitseisen vermeld: minimale waarde voor het kwartsgehalte ($SiO_2$), maximum toegestaan gehalte aan ijzer ($Fe_2O_3$), aluminium ($Al_2O_3$), en titanium ($TiO_2$). Daarnaast de maximum waarden voor het gloeiverlies (LOI = loss of ignition). De cijfers gelden voor opgewerkt zilverzand (dus niet voor onbehandeld materiaal).

## De kwaliteit van zilverzand

Tabel 1 geeft een overzicht van de kwaliteitseisen voor zilverzand per toepassing. De kwaliteit wordt chemisch bepaald en uitgedrukt in percentages van oxide-verbindingen die naast silicium-oxide voorkomen. IJzeroxide ($Fe_2O_3$) komt vooral voor in de vorm huidjes (coating) van limoniet en goethiet op de kwarstkorrels en door de mogeljke bijmenging van

Afbeelding 3. Stratigrafie van het Boven-Neogeen voor Zuid-Limburg en omgeving in samenhang met de lithologische kenmerken van de in de tekst besproken afzettingen. De correlatie met het bruinkoolgebied in de Nederrijnse Laagvlakte (Duitsland) is aangegeven voor een beter begrip van de stratigrafische ontwikkelingen (naar: Wong et al., 2009).




glauconiet. Aluminiumoxide ($Al_2O_3$) is vooral afkomstig van kleimineralen (incl. glauconiet; in de Nederlandse omstandigheden is veldspaat een te verwaarlozen bron). Titaniumoxide ($TiO_2$) wijst op de aanwezigheid van rutiel of ilmeniet in het zand. Afhankelijk van de toepassing kunnen ook de korrelgrootteverdeling, het gehalte aan chroomoxide ($Cr_2O_3$) en zware mineralen van belang zijn.

De waarden in Tabel 1 gelden voor in de fabriek opgewerkt zilverzand. Natuurlijke en onbewerkte zlverzanden voldoen doorgaans niet aan deze normen. Kleideeltjes kunnen uit het ruw gedolven materiaal worden verwijderd door het te wassen. IJzer- en humushuidjes worden onder meer verwijderd door door behandeling met zuren. De in Zuid-Limburg gewonnen zilverzanden zijn zo zuiver, dat ze alleen hoeven te worden gewassen.

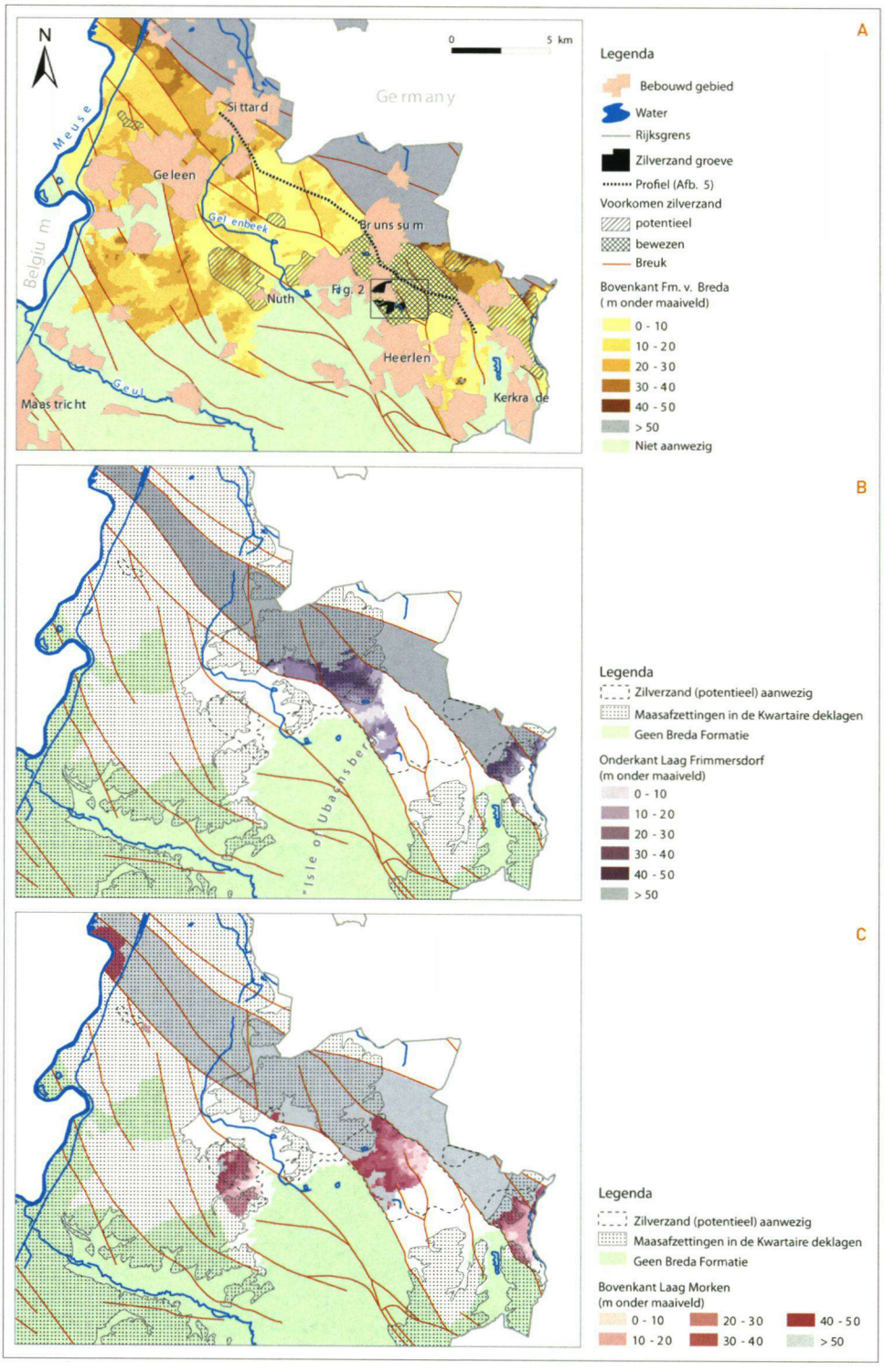
## Wat leert het Limburgse zilverzand ons over mogelijke andere voorkomens van zilverzand in Nederland?

De zilverzanden van Zuid-Limburg komen hoofdzakelijk voor in het Laagpakket van Heksenberg en plaatselijk in het Laagpakket van Vrijherenberg. Deze twee laagpakketten vormen de bovenste eenheden van de Formatie van Breda (Afb. 2, 3 & 4). Daar waar het Laagpakket van Heksenberg dagzoomt, bestaat de afzetting uit goed gesorteerd, fijnkorrelig zand, dat werd afgezet op stranden en in getijdengebieden langs de zuidelijke rand van het Noordzee Bekken tijdens het Midden-Mioceen. Het Laagpakket van Heksenberg wordt begrensd door twee bruinkoollagen: de Laag Morken aan de onderkant en de Laag Frimmersdorf aan de bovenkant. Deze bruinkoollagen zijn ontstaan door de uitbreiding, in westelijke richting, van de enorme kustmoerassen in de Nederrijnse laagvlakte. De twee bruinkoolagen zijn goed te correleren met de veel dikkere voorkomens van bruinkool in Duitsland (Ville Formatie), die zo'n 20-40 km ten oosten van de landsgrens geëxploiteerd worden in de dagbouwgroeven van Garzweiler, Frimmersdorf, Inden en Hambach.

Het bronmateriaal van het Laagpakket van Heksenberg bestond uit sterk verweerd (en dus kwartsrijk) zand dat beschikbaar was langs de zuidelijke rand van de Miocene Noordzee. De uniforme korrelgrootteverdeling wijst op transport en sortering door stroming en golfwerking langs de kust. Na afzetting volgde een proces van uitloging veroorzaakt door humuszuren die vanuit de bovenliggende organische (veen)-lagen naar beneden drongen. Vooral de niet-kwarts componenten van het zand zijn daardoor opgelost en met het grondwater afgevoerd. Het effect van dit proces is het meest duidelijk direct onder de bruinkoollaag want daar vinden we de meest zuivere zilverzanden. Ook het ontbreken van fossielen in de lagen onder de bruinkool kan door naar onderen sijpelende humuszuren veroorzaakt zijn. De uitloging en bodemvormende processen die daaraan ten grondslag liggen zijn waarschijnlijk door gunstige klimatologische omstandigheden beïnvloed. De vorming van het Laagakket van Heksenberg en de Laag Frimmersdorf vondt plaats tijdens klimaat-optimum van het Midden-Mioceen, vlak voordat de koelere fase van het Laat-Mioceen/Plioceen begon.

Het Laagpakket van Vrijherenberg ligt op het Laagpakket van Heksenberg en bestaat uit mariene zanden die in een kustnabije omgeving zijn afgezet. Plaatselijk hebben deze afzettingen een hoog $SiO_2$-gehalte. De afzettingsomstandigheden lijken veel op die tijdens de vorming van het Laagpakket van Heksenberg. Echter, de gunstige effecten van korrelgroottesortering langs de kustlijn en uitloging vanuit een bovenliggende veenlaag ontbreken; een effect dat te maken heeft met de verschuiving van de kustlijn in oostelijke richting.

Het samengaan van hoogwaardig zilverzand met bruinkool is niet alleen het gevolg van uitloging. Na de inkoling werkten de bruinkoollagen ook als absorptiefilters voor het van boven komende grondwater. Veel van de door het grondwater meegevoerde stoffen werden daardoor uitgefilterd en drongen niet meer door tot het zilverzand.




**Afbeelding 4.**
**A) Het voorkomen van zilverzand in Zuid-Limburg. De bovenkant van de Formatie van Breda is aangegeven omdat de voorraden zilverzand beneden dit vlak liggen.**
**B) en C) tonen respectievelijk de ondergrens van de Laag Fimmersdorf en de bovengrens van de Laag Morken. Deze twee bruinkoollagen begrenzen het hoogwaardig zilverzand van het Laagpakket van Heksenberg (zie tekst). Op beide kaartjes is het voorkomen van Maasafzettingen aangegeven omdat van daaruit de kwaliteit van het onderliggende zilverzand is beïnvloed.**

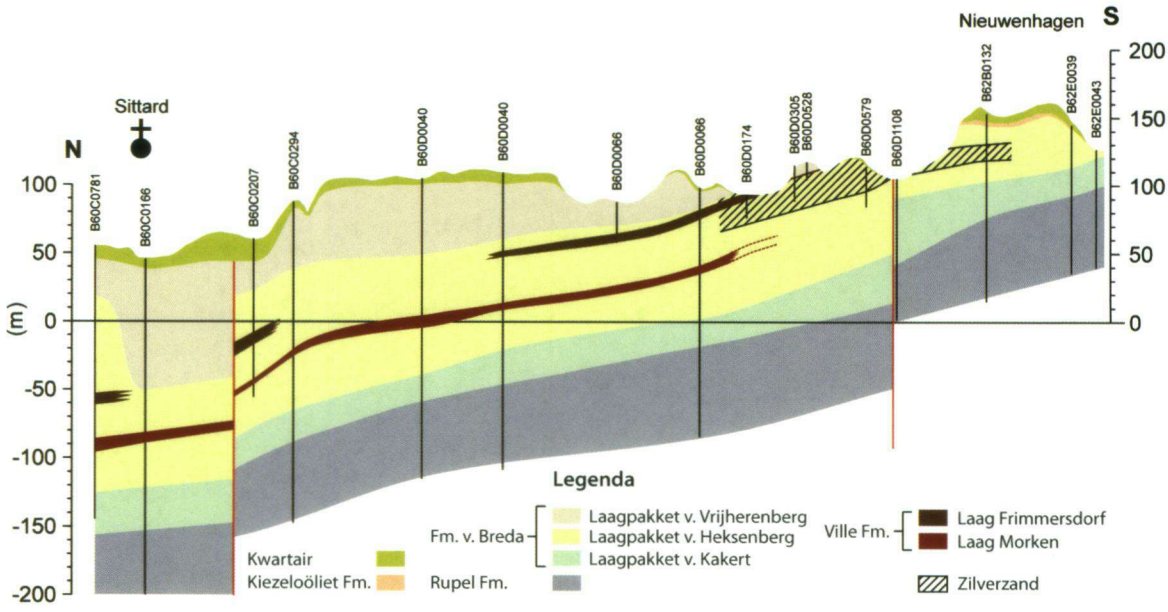
## Condities na de afzetting

Vanaf de overgang Mio/Plioceen wordt Zuid-Limburg, als onderdeel van het Rijns Massief (Ardennen en Eifel), tectonisch opgeheven. Estuariene en fluviatiele omstandigheden vervangen de eerdere mariene situaties en in het gebied wordt door rivieren afwisselend zand, grind en klei afgezet. Lokaal worden veenlagen gevormd. De afzettingen uit deze fase behoren tot de Kiezeloöliet Formatie die discordant op de Formatie van Breda ligt (Afb. 3). Aanvankelijk voeren de rivieren uit het achterland (hinterland), het Rijns Massief, sterk verweerd, kwartsrijk sediment aan. De Kiezeloöliet Formatie bevat daarom zanden die voldoen aan de minimumeisen voor laagwaardig zilverzand. In Zuid-Limburg worden deze echter niet geëxploiteerd.

Tegen het eind van het Laat-Plioceen stopt de afzetting van de Kiezeloöliet Formatie. De doorgaande tectonische opheffing veroorzaakt drastische veranderingen in de rivierpatronen en in het gebied van de zilverzanden in Zuid-Limburg vindt erosie plaats. Vooral in het oosten van Zuid-Limburg is de Maas nu de belangrijkste rivier en stroomt door het dal van de zogenoemde Oost-Maas. De rivier veroorzaakt insnijdingen tot in de dieper gelegen Tertiaire afzettingen en voert vooral grof zand, grind en stenen aan (zie Westerhoff, dit nummer).

Tectonische bewegingen vormen ook de reden waarom de Maas vanaf de overgang van het Vroeg- naar het Midden-Pleistoceen haar hoofdstroom heeft verlegd van het dal van de Oost-Maas naar de meer westelijke gelegen

Afbeelding 5. Profiel door Zuid-Limburg (voor ligging zie Afb. 4a.), met de voorkomens van zilverzand.




positie rond het huidige Maasdal. Zowel in het dal van de Oost-Maas als in het dal van de West-Maas heeft de Maas gedurende het Pleistoceen een hele serie rivierterrassen gevormd. Vanuit de grofkorrelige rivierafzettingen zijn ijzerhoudend grondwater en ook stoffen afkomstig van oxiderende glauconiet in het zand van het Laagpakket van Vrijherenberg naar beneden gesijpeld en geïnfiltreerd in de zanden van het Laagpakket van Heksenberg. Dit proces is vooral gebonden aan de plekken waar de bruinkoollagen geërodeerd zijn. De hoofdafvoeren van de vroegere Oost-Maas en de huidige West-Maas zijn gescheiden door een ZW-NO verlopende tectonische structuur bij Heerlen: het zogenaamde 'Eiland van Ubachsberg'. Hier vinden we dan ook de beste kwaliteit zilverzand, omdat daar geen aantasting door stoffen afkomstig van de jongere Maasafzettingen heeft plaats gevonden (Afb. 4b).

## Potentiële voorkomens van zilverzand elders in Nederland

De combinatie van omstandigheden die geleid heeft tot de hoge kwaliteit van het zilverzand in de Laagpakketten van Heksenberg en Vrijherenberg komen uitsluitend in Zuid-Limburg voor. Om potentiële voorraden elders in Nederland te kunnen lokaliseren hebben we daarom de kwaliteitsbepalende criteria beperkt.

In eerste instantie zijn de zoekvragen in de digitale databestanden gericht op de lithostratigrafische eenheden die lithologische overeenkomsten hebben met de afzettingen van het Laagpakket van Heksenberg. Daarnaast hebben we gezocht naar sedimentpakketten met vergelijkbare afzettingsomstandigheden, en naar sedimenten die om andere redenen bekend staan vanwege een relatief hoog kwartsgehalte. Aan deze criteria voldoen afzettingen van de al genoemde Kiezeloöliet Formatie, ondiep-mariene afzettingen van het Laagpakket van Lievelde, een afzetting uit de Formatie van Oosterhout (Boven-Mioceen/Plioceen), fluviatiele afzettingen van de Formatie van Peize (Boven-Plioceen en Onder-Pleistoceen), en fluviatiele en lokale afzettingen van de Formatie van Stramproy (Onder-Pleistoceen).

Binnen de genoemde lithostratigrafische eenheden is vervolgens gericht gezocht naar kwartszand met een korrelgrootte van 80 tot 320 µm of met zandmedianen uit de klassen 'zeer fijn' tot 'matig grof' (respectievelijk ≥105 en <300 µm). Dit zijn min of meer de korrelgrootten die bij voorkeur in de industrie worden gebruikt. Ook de kleur is belangrijk, want kwartstrijk zand is doorgaans licht gekleurd: wit, grijswit of geelwit.

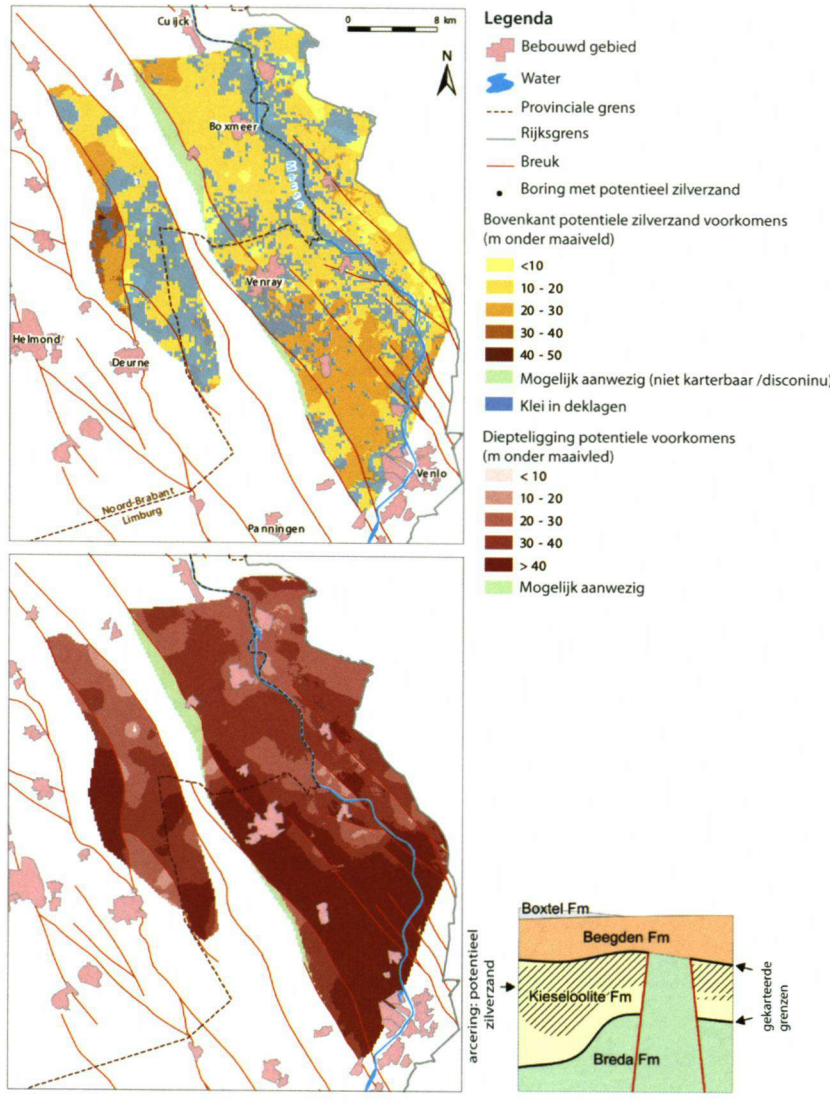
De zoektocht is beperkt tot een diepte van 50 m beneden maaiveld. Beneden deze diepte neemt de dichtheid van het aantal boorgegevens af en exploitatie op grotere diepten is vooralsnog economisch niet realistisch.

Uiteindelijk bleken 534 boringen aan onze criteria voor kwartsrijke zanden te voldoen. Ze komen geclusterd voor in drie gebieden in Nederland (Gebieden A t/m C; Afb. 2). In een vierde gebied (Midden-Limburg) is op verspreide locaties kwartszand aangetroffen, maar hier zijn de gegevens te onvolledig voor een goede analyse.

De resultaten voor de drie gebieden worden hieronder kort samengevat.

Gebied A ligt in oostelijk Noord-Brabant en Noord-Limburg en bestaat uit twee ZO-NW georiënteerde subgebieden die gescheiden worden door een horst-achtig hoger liggend gebied. Eén subgebied bevindt zich tussen Venlo en Cuijck, het andere ligt ten noorden van Deurne (Afb. 6). De hier voorkomende kwarstzanden behoren tot de Kiezeloöliet Formatie en worden afgewisseld met laagjes bruinkool, klei en zandpakketten die niet voldoen aan de criteria voor kwartszand. Onder de Kiezeloöliet Formatie ligt de Formatie van Breda, in dit gebied met een meer open mariene facies dan in Zuid-Limburg. Op de Kiezeloöliet Formatie liggen Rijn/Maas-afzettingen (Formaties van Waalre, Beegden of Kreftenheye), of, onder periglaciale omstandigheden gevormde windafzettingen van de Formatie van Boxtel.

Kwartszanden komen in dit gebied (afwisselend) voor in het gehele bereik van de Kiezeloöliet Formatie. Uitzondering daarop vormen de afzettingen die in het onderste, dikste en meest westelijk gelegen deel van de formatie voorkomen. De aan- of afwezigheid van potentiële kwartsrijke afzettingen lijkt samen te hangen met specifieke faciesontwikkelingen, zoals




Afbeelding 6. Gebied A (voor ligging zie Afb. 2). De onder- en bovenkant van de Kiezeloöliet Formatie begrenzen de positie van potentiële voorraden zilverzand. De schematische dwarsdoorsnede laat zien dat formatiegrenzen niet samenvallen met die van het potentieel aan zilverzand.

geulafzettingen. Om dat precies in kaart te kunnen brengen is de dichtheid van de beschikbare boorgegevens niet groot genoeg. We hebben ons daarom beperkt tot de aanname dat de onder- en bovengrens van de Kiezeloöliet Formatie in Gebied A de grenzen aangeeft van potentieel bruikbare pakketten kwartszand. Daarbij wordt aangetekend dat niet alle zanden van de formatie voldoen aan de gestelde kwaliteitscriteria voor zilverzand.
De diepte van de bovengrens van de Kiezeloöliet Formatie varieert in Gebied A van 0 - 40 m beneden maaiveld (gemiddeld -16 m). De diepteligging van de basis ligt tussen 10 en 100 m onder maaiveld (gemiddeld 30 m). De totale dikte van de potentiele lagen kwartszand loopt uiteen van 2 tot 20 m, met een gemiddelde van 8 m. Dat is ca. 45% van de totale dikte van de Kiezeloöliet Formatie.

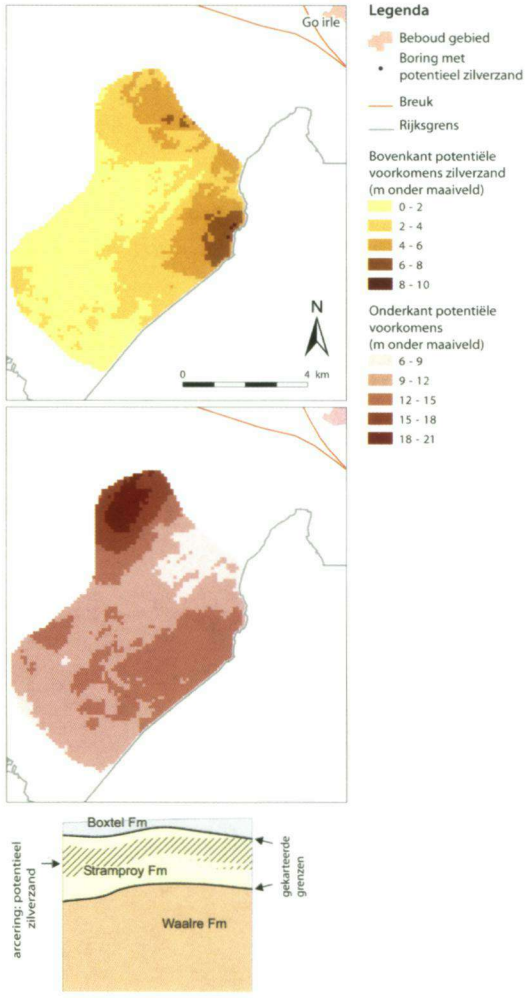
Chemische analyse van zeven monsters toonde een kwartsgehalte aan van 96.8 tot 99.5%. Deze waarden vallen in de categorieën laag- tot hoogwaardig zilverzand (zie Tabel 1).

Gebied B ligt in de omgeving van Goirle (Noord-Brabant) (Afb. 7). Hier komen in de Formatie van Stramproy witte zanden voor die aan de criteria voor zilverzand voldoen. De betreffende afzettingen liggen onder de Formatie van Boxtel. De Formatie van Stramproy bestaat hier vooral uit kwartsrijk, sterk verweerd sediment dat door rivieren vanuit Centraal en Noord België is aangevoerd (zie Westerhoff in dit nummer). De afzettingen zijn gevormd tijdens het Vroeg-Pleistoceen en liggen op fluviatiele afzettingen van de Formatie van Waalre.

Afhankelijk van de facies vertonen de kwartsrijke witte zanden van de Formatie van Stramproy meer of minder afwisseling met silt- en kleilaagjes. De totale dikte van de potentieel kwartsrijke zandpakketten bedraagt hier 4 m (40-45% van de totale dikte van de Formatie van Stramproy in dit gebied).

Chemische analyse van twee monsters laten kwartspercentages zien van 99.0 en 99.1%, waarden die wijzen op een kwaliteit in de middencategorie voor natuurlijk (onbewerkt) zilverzand. (Tabel 1).

Gebied C bevindt zich in het oosten van Gelderland en Overijssel, ruwweg van Almelo tot Doetinchem (Afb. 8). Kwartsrijke zanden, die voldoen aan de criteria, komen hier voor in het bovenste deel van de Formatie van Oosterhout en plaatselijk ook in de daarop liggende Formatie van Peize. De betrefffende sedimentaire opeenvolging hier is vergelijkbaar met die van de Formatie van Breda en de Kiezeloöliet Formatie in Zuid-Limburg. De sedimenten bestaan uit ondiep mariene kleiige en glauconiet-houdende zanden die naar boven overgaan in goed gesorteerde, kwartsrijke afzettingen gevormd in een getijdenmilieu. De laatst genoemde afzettingen worden lithostratigrafisch tot het Laagpakket van Lievelde (Formatie van Oosterhout)




Afbeelding 7. Gebied B (voor ligging zie Afb. 2). De onder- en bovenkant van de Formatie van Stramproy begrenzen de positie van potentiële voorraden zilverzand. Uit de schematische doorsnede blijkt dat de formatiegrenzen niet samenvallen met die van het potentieel aan zilverzand.

gerekend. De afzettingen van het Laagpakket van Lievelde lijken veel op die van het Laagpakket van Heksenberg in Zuid-Limburg.

De kwartsrijke zanden van de Peize Formatie bevatten ook instabiele mineralen zoals granaat. De Formatie van Peize is afgezet door de Eridanos-rivier die van uit het oosten sterk verweerde, kwartsrijke zanden heeft aangevoerd (zie Westerhoff in dit nummer). Discordant op de afzettingen van de Formaties van Oosterhout en Peize liggen fluviatiele zanden van de Formatie van Urk (Midden-Pleistoceen), door het landijs opgestuwde afzettingen (verschillende formaties) en daarmee verwante afzettingen van de Formatie van Drente of andere Boven-Pleistocene eenheden.

In gebied C is, als kenmerk voor het voorkomen van kwartsrijke zandpakketten, alleen de grens tussen de Formatie van Oosterhout en de Formatie van Peize in kaart gebracht. De meeste voorkomens van de hier aanwezige potentieel kwartsrijke zanden liggen net beneden deze grens. Slechts op enkele plaatsen komen ze ook daarboven in de Formatie van Peize voor. De ondergrens kan niet exact worden aangegeven, omdat deze sterk gebonden is aan locale faciesomstandigheden die niet goed genoeg in kaart kunnen worden gebracht met de beschikbare dichtheid van boringen. Afbeelding 8 geeft daarom slechts een kaart met de diepteligging van de bovengrens van de Formatie van Oosterhout en een schatting van de totale dikte van de daaronder liggende kwartsrijke zandpakketten. De diepteligging van de bovengrens van de Formatie van Oosterhout varieert van 0 tot 50 m onder maaiveld (gemiddeld 16 m). De totale dikte van kwartsrijke zanden daaronder varieert van 2 tot 22 m, met een gemiddelde van ca. 7 m.

Slechts één monster uit gebied C kon chemisch worden geanalyseerd. Met 96.6% kwarts voldoet het niet aan de eisen voor onbehandeld ziverzand (Tabel 1). Wellicht kunnen zanden uit gebied C echter door behandeling (wassen, uitlogen etc.) worden opgewaardeerd voor industriële toepassingen. Daarom wijzen we gebied C vooralsnog niet af voor mogelijke toekomstige winning, maar het vooruitzicht daarop is wel aanzienlijk kleiner dan in de gebieden A en B.

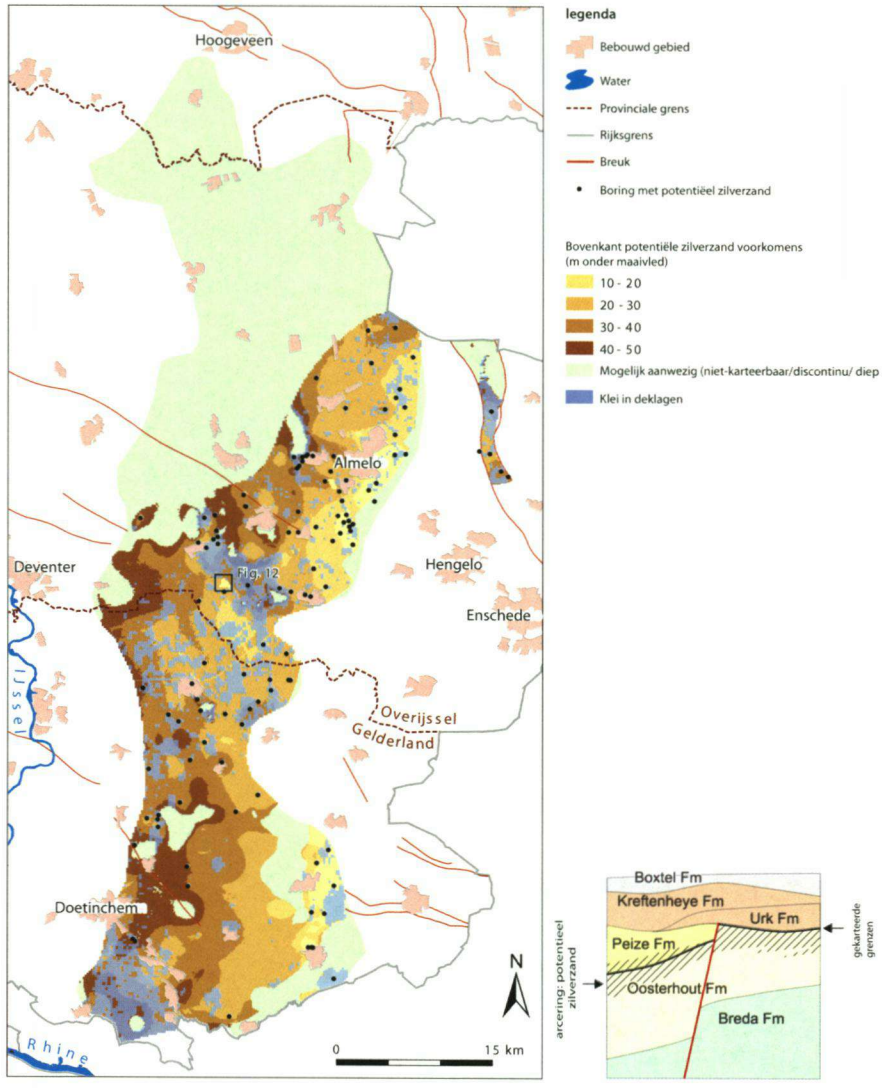
## Conclusies

Lithostratigrafie, lithologie en afzettingsomstandigheden zijn de belangrijkse critieria waarop onze inventarisatie van potentieel aanwezige voorraden zilverzand is gebaseerd. Het huidge wingebied in Zuid-Limburg is niet in de inventarisatie meegenomen. Het resultaat laat zien dat in drie gebieden potentieel goede voorraden zilverzand aanwezig zijn. De gebieden A en B bieden daarbij de betere vooruitzichten. De beschikbare chemische gegevens in de gebieden A en B wijzen erop dat delen van de afzettingen daar de potentie hebben om economisch winbaar te zijn.

Wel moet opgemerkt worden dat de inventarisatie een algemeen karakter heeft en beschrijvend van aard is. Dat betekent dat de gehanteerde zoekmethode niet nauwkeurig genoeg is om economisch winbare voorraden precies te lokaliseren. De inventarisatie is overigens ook niet met dat doel opgezet. Wel is duidelijk geworden dat de omstandigheden langs de Mio-Pliocene kustlijn van de het Noordzeebekken gunstig blijken voor de vorming van zilverzandafzettingen.

Een tweede opmerking betreft Zuid-Limburg. Als daar op dezelfde manier een inventarisatie wordt uitgevoerd, zal blijken dat de potentieel geschikte voorraden zilverzand in Zuid-Limburg aanzienlijk veel groter zijn dan algemeen wordt aangenomen. Dit gegeven onderstreept eigenlijk heel goed dat er verschil bestaat tussen een kwalitatief uitgevoerde inventarisatie naar potentiële voorkomens van zilverzand (zoals hierboven beschreven) en de nauwkeurige vaststelling van omvang en kwaliteit van winbare vooraden. Voor dat laatste is meer gedetailleerd onderzoek nodig met bijvoorbeeld geochemisch onderzoek aan boormonsters.

Samengevat heeft de voorraad potentieel geschikt zilverzand in de gebieden A t/m C ruwweg een volume van 6 tot 15 km$^3$. Bij uitsluiting van gebied C zijn die cijfers beduidend lager. Het mag duidelijk zijn dat genoemde hoeveelheid een enorme overschatting is van de werkelijk winbare voorraden. We gebruiken de getallen om de schaarste aan zilverzand in Nederland te benadrukken. In omvang benaderen die getallen de omvang van de aanwezige voorraad grind die ± 12 km$^3$ bedraagt. Slechts de helft van dat volume aan grind wordt als winbaar beschouwd en grind wordt daarom als een schaarse grondstof aangeduid. Slechts een veel kleiner deel van het volume aan potentiele zilverzanden zal exploiteerbaar blijken en dat rechtvaardigt de conclusie dat de bruikbare hoeveelheid zilverzand beperkt is en onderstreept de noodzaak voor een zorgvuldig beheer van de voorraden zilverzand in Nederland.




**Afbeelding 8.** Gebied C (voor ligging zie Afb. 2). De diepteligging van de bovenkant van potentiële voorraden zilverzand is aangegeven. Uit de dwarsdoorsnede blijkt dat dit vlak ongeveer samenvalt met de bovenkant van de Formatie van Oosterhout. Een deel van het potentieel aanwezige zilverzand bevindt zich onderin de Formatie van Peize.

## LITERATUUR


Berg, M.W. van den & Gaemers, P., 1993. Tertiair. In: Van den Berg, M.W. & Den Otter, C., Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1 : 50 000. Blad Almelo Oost/Denekamp (28O/29). Rijks Geologische Dienst (Haarlem, NL).

Kuyl, O.S., 1973. Pure Miocene quartz sands in southern Limburg, the Netherlands, stratigraphical occurrence and regional distribution. Verhandelingen van het Koninklijk Nederlands Geologisch en Mijnbouwkundig Genoodschap, 29: pp. 73-80.

Loon, A.J. van, 2009. Unravelling the enigmas of the 'silver sands' in the Dutch/German/ Belgian border area. Netherlands Journal of Geosciences-Geologie en Mijnbouw, 88-3: pp. 133-146.

Meulen, M.J. van der, Gessel, S.F. van & Veldkamp, J.G., 2005. Aggregate resources in the Netherlands. Netherlands Journal of Geosciences 84(3): pp. 379-387.

Meulen, M.J. van der, Broers, J.W., Hakstege, A.L., Pietersen, H.S., Heijst, M.W.I.M. van, Koopmans, T.P.F., 2007. Surface mineral resources. In: Wong, T.E., Batjes, D.A.J., De Jager, J. (Eds) Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW), Amsterdam, Netherlands: pp. 317-333.

Mulder, E.F.J., de, Geluk, M.C., Ritsema, I., Westerhoff, W.E., Wong, Th.E., 2003. De ondergrond van Nederland. Wolters Noordhof (Groningen, NL): 379 pp.

TNO, 2009a. Delfstoffen online (minerals online), www.delfstoffenonline.nl

TNO, 2009b. Dinoloket (internet portal for Dutch geodata and information) www.dinoloket.nl

TNO, 2009c. DGM (Digital Geological Model), www.dinoloket.nl/nl/download/maps/goAtlas/goAtlas.html.

Toelichtingen bij de Geologische kaart van Nederland 1:50.000. Blad Almelo Oost/Denekamp (28O/29). Rijks Geologische Dienst (Haarlem, NL): 240 pp.

Westerhoff, W.E., Kemna, H. & Boenigk, W., 2008. The confluence area of Rhine, Meuse, and Belgian rivers: Late Pliocene and Early Pleistocene fluvial history of the northern Lower Rhine Embayment. Netherlands Journal of Geosciences/Geologie en Mijnbouw 87-1: pp. 107- 126.

Wong, Th.E., De Lugt, I.R., Kuhlmann, G. & Overeem, I., 2007. Tertiary. In: Wong, Th.E., Batjes, D.A.J., De Jager, J. (Eds) Geology of the Netherlands. Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences (KNAW), Amsterdam, Netherlands: pp. 151-171.