

Afb. 4. Wanneer een jarosiet-bekken vol raakt wordt een nieuw bassin gemaakt, dat ter afdichting bekleed wordt met folie. Foto Drs. B.J. Wilkens.

water. Door Budelco is een systeem ontwikkeld waarbij dit vervuilde grondwater wordt opgepompt en gereinigd, zodat er geen verdere verspreiding optreedt. Bovendien is er door het bedrijf een methode ontwikkeld om bij zeer hoge temperatuur de jarosiet te verglazen, waarbij sommige metalen kunnen worden teruggewonnen. De kosten van dit proces zijn evenwel zo hoog, dat het niet toegepast kan worden.

“Waste to waste”: jarosiet + varkensmest

We hebben gezien dat varkensmest afgebroken kan worden door er bij hoge temperatuur zuurstof aan toe te voegen, terwijl jarosiet juist afgebroken kan worden door er zuurstof aan te onttrekken. Het was daarom de moeite waard om eens te kijken of beide stappen gecombineerd kunnen worden. Bij experimenten in de proefinstallatie van VerTech met mengsels van varkensmest met jarosiet, in een verhouding van 6 : 1, bleek dit inderdaad mogelijk. De organische bestanddelen van de varkensmest werden inderdaad afgebroken tot CO₂ en water, of tot simpele organische moleculen, die gemakkelijk biodegradeerbaar zijn. De jarosiet werd volledig omgezet in een mengsel van hematiet en loodsulfaat, terwijl een gedeelte van het ijzer als ferrosulfaat in oplossing gaat. De reactie tussen jarosiet en varkensmest kan globaal als volgt geschreven worden: $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{III})_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + \text{mest} \rightarrow \text{NH}_4^+ + 3 \text{Fe}^{2+} + 2 \text{SO}_4^{2-} + 3 \text{HCO}_3^-$. De oplossing was (vrijwel) vrij van zware metalen, die grotendeels in de vaste rest waren geïmmobiliseerd. Een paar milieudoelen worden dus kennelijk zonder moeite bereikt, zoals:

- belangrijke reductie van het volume van de afvalstoffen;
- volledige afbraak van een grote hoeveelheid varkensmest;
- productie van een vaste reststof waarin de zware metalen veilig ingekapseld zitten;
- productie van een vloeibaar effluent met een vrijwel neutrale pH, waarvan we verwachten dat het na een eenvoudige biologische zuivering en verwijdering van de laatste resten zware metalen geloosd kan worden.

Wat bij deze experimenten nog niet is bereikt is de mogelijkheid om (enige van) de zware metalen terug te winnen. Dat is natuur-



lijk jammer, omdat er in twee miljoen ton jarosiet o.a. 120.000 ton lood en 360 ton zilver zitten. Als deze metalen teruggewonnen kunnen worden vertegenwoordigen ze een waarde van ongeveer f. 240.000.000.

Op basis van de tot nu toe behaalde resultaten werd een industrieel researchvoorstel ingediend bij de EG. Dit voorstel is toegewezen en in juli 1994 is met dit onderzoek in Europees verband gestart. Het onderzoek wordt geleid vanuit Nederland door Geochem Research BV en uitgevoerd in samenwerking met twee vooraanstaande metallurgische onderzoeksgroepen in Spanje en Frankrijk. Andere partners zijn VerTech BV en Asturiana de Zinc, de grootste zinkfabriek van de wereld, in Noordwest-Spanje. De bedoeling is om de tot nu toe bereikte milieudoelen te optimaliseren, te kijken of we methodes kunnen ontwikkelen om de metalen gedeeltelijk terug te winnen, en vervolgens het proces op te schalen voor industriële toepassing. Een belangrijk voordeel is natuurlijk dat de gebruikte “chemicalie”, de varkensmest, met geld toe geleverd wordt en dat het proces heel weinig energie kost. Natuurlijk is niet overal een mestoverschot beschikbaar, maar we denken dat het proces met andere organische afvalstromen ook zal werken, bijvoorbeeld met rioolwaterzuiverings-slib. Hopelijk kunnen we over vier jaar zeggen:

Mest als chemicalie? Zeker geen shit-oplossing!

Wat is zand?

door drs. W.C.P. de Vries

Inleiding

Geologisch gezien wordt de naam ‘zand’ gegeven aan een ongeconsolideerd sediment, waarvan de korrels een bepaalde grootte hebben. In tweede instantie wordt naar andere factoren gekeken, die het ‘zand’ een nadere naam zullen geven. Een van die factoren is de samenstelling van de korrels (gips, vulkanische fragmenten, kalk, enz.) Ook de mate van afronding, de sortering en de verschillende soorten van mineralen en gesteentefragmenten die in het sediment aanwezig zijn spelen een rol. Uit al deze

factoren tezamen kan er een idee worden verkregen over de omstandigheden waaronder het sediment werd afgezet, over de gesteenten die in het oorsprongsgebied van het detritus aan de dag traden en over de verweringsomstandigheden, zoals het klimaat.

In Nederland is het begrip ‘zand’ synoniem aan ‘kwartzand’. Het zand dat we aan ons strand, in de duinen en in de rivieren vinden bestaat voornamelijk uit kwartzkorrels. Maar er zijn dus veel meer soorten zand: gipszand, vulkanisch zand en kalkzand, dit is zand waarvan de korrels uit kalk bestaan.

Detritus: van grind tot klei

Volgens de door sedimentologen gehanteerde definitie bestaat zand uit korrels die tussen de 2 mm en 1/16 mm groot zijn. Zijn de fragmenten groter dan 2 mm dan praten we over gravel of grind; sedimenten die bestaan uit korrels die kleiner zijn dan 1/16 mm heten silt en klei. Een veelgebruikte indeling is de zogenaemde Wentworth-schaal.

naam	korrelgrootte
gravel	> 2 mm
zeer grof zand	2 - 1 mm
grof zand	1 - 1/2 mm
middenkorrelig zand	1/2 - 1/4 mm
fijnkorrelig zand	1/4 - 1/8 mm
zeer fijnkorrelig zand	1/8 - 1/16 mm
silt	1/16 - 1/256 mm
klei	< 1/256 mm

Hoewel in de definitie besloten ligt dat deze termen alleen afhankelijk zijn van de korrelgrootte, is er toch vaak een associatie met een samenstelling, bv. een klei bestaat uit kleimineralen. Daarom wordt uitsluitend voor de korrelgrootte-indeling wel een andere serie termen gebruikt:

rudiet	groter dan 2 mm
areniet	tussen 2 mm en 1/16 mm
lutiet	kleiner dan 1/16 mm.

Er hoeft dus niet gesproken te worden over een **kalkklei** maar over **calcilutiet**, wanneer sprake is van een kalkafzetting waarvan de (kalk-)korrels kleiner zijn dan 1/256 mm.

Het ontstaan van zand

Zand is een afzetting, een sediment. De korrels zijn ergens naar toe vervoerd waar zij konden bezinken en lagen vormen. Dit aanvoeren van materiaal wordt gedaan door de transporterende krachten op aarde: wind, water en ijs. Deze transporteurs maken het materiaal niet zelf, wel kunnen zij het materiaal bewerken. Zij moeten het echter altijd aangeboden krijgen. Dit aanbieden gebeurt door de krachten die de materialen van het aardoppervlak, zowel de zachte sedimenten als harde gesteenten, afbreken. Deze afbrekende processen worden samengevat als **verwerking**.

Verwerking

Verwerking omvat de processen die de gesteenten van de aardkorst *ter plaatse* kapot maken. We onderscheiden als belangrijkste processen: **mechanische** en **chemische verwerking**.

Mechanische verwerking gebeurt onder meer door verwarmen en afkoelen. Bij verwarming door de zon zet het gesteente uit, donkere mineralen worden heter dan de lichtgekleurde. Dit geeft spanningen in het gesteente, die leiden tot het uiteenvallen in losse kristallen van het gesteente, tot het vergruizen ervan. Afb. 1. Als bij afkoeling de temperatuur onder het vriespunt daalt zal water in

Afb. 1. Aan de voet van een granietrots ligt het vergruisde materiaal dat van het gesteente is afgevallen. Vooral aan de zonzijde vertoont de graniet zeer sterke verwerking. Serra da Estrela, Portugal, op 1450 m hoogte.



scheurtjes in het gesteente bevroren; omdat ijs een groter volume heeft dan water wordt het gesteente uit elkaar gedrukt. Deze 'stenenkraker' is een zeer effectieve verwerkingskracht. Door koude kunnen massieve gesteenten barsten (het vriest dat het gesteente - letterlijk - kraakt!) Er ontstaan door de vorstverwerking enorme massa's gesteentepuin van scherpgerande brokken. Door deze en andere mechanische verwerkingsprocessen ontstaan gesteentefragmenten: stukken, brokken, mineraalfragmenten. Mechanische verwerking is effectief in koude gebieden en in de hete en droge streken op aarde.

Chemische verwerking voltrekt zich doordat chemische stoffen, die in regen- en grondwater opgelost zijn, reacties aangaan met de materialen van de aardkorst en deze veranderen en zelfs gedeeltelijk oplossen. Regen- en grondwater zijn altijd zuur, doordat er koolzuurgas (CO₂) uit de atmosfeer in het water wordt opgelost en doordat planten zuren produceren, zoals de humuszuren. Daarnaast ontstaan er in de bodem onder andere zwavel- en salpeterzuur en vele andere stoffen die reageren met de mineralen in de gesteenten. In gesteenten voltrekken zich onder invloed van deze zuren chemische veranderingen, zo verandert de veldspaat in kleimineralen. Er zijn zelfs gesteenten die geheel of gedeeltelijk in oplossing gaan. Het laatste geval is natuurlijk het meest bekend in de vorm van de oplossing van kalksteen door regenwater. Het zout dat in de oceanen is opgelost is afkomstig van de verwerkingsprocessen op het landoppervlak en is dus door de rivieren met hun 'zoete' water naar zee gevoerd.

De chemische verwerking is het meest effectief in vochtige, warme gebieden, zoals de tropen.

Erosie

Onder erosie verstaat men het proces waarbij veranderingen als vergroizing en verkleining van verwerkingsmateriaal optreden tijdens transport.

Het vervoer van de fragmenten wordt verzorgd door de transporteurs: stromend water, waaiende wind, voortschuivend ijs. Tijdens dit transport botsen, rollen en springen de fragmenten en worden daardoor verkleind en afgerond. Zo ontstaat er een veelheid aan detritus in allerlei soorten en afmetingen. Ook de korrelgroottefractie, die 'zand' wordt genoemd.

Het aangevoerde detritus

Verwerking en erosie produceren afbraakmateriaal van het landoppervlak, het terrigene detritus. Een deel van het detritus zal uit korrels bestaan van zand-grootte.

Aan het sediment zijn een aantal eigenschappen te zien die veel zeggen over de voorgeschiedenis, over het transport en de afzettingssomstandigheden. We zullen hier twee eigenschappen noemen: de **sortering** van de korrelgrootte en de mate van **afroning**.

Sortering

1. Zwaartekracht en 2. Gletsjer
Deze sorteren niet, zoals in het kader "Transporteurs" wordt opgemerkt. Zowel de zwaartekracht als de gletsjer laten het aangeboden materiaal door elkaar vallen als respectievelijk een puinwaaier en een moreneafzetting. Vooral de moreneafzetting bevat naast zeer fijne klei ook keien en huizengrote brokken (de glaciële erratica, ook 'zwerfstenen' genoemd). Beide transporteurs vergroizen het materiaal, maar er wordt niet uitgezocht naar korrelgrootte.

Transporteurs

1. Zwaartekracht

Stukken die door de verwerking los komen van de vaste rots, naar beneden vallen, waarbij de splinters eraf vliegen - dit is het eerste begin van de steeds verder gaande verkleining van de fragmenten.

2. Gletsjer

De gletsjer is de meest effectieve eroderende kracht die er op aarde bestaat. Hij schuift rigourens alles weg wat hem op zijn pad komt: zachte grond, verweringsbodan en stukken hard gesteente. Een deel van het materiaal wordt tot zeer fijn 'gletsjermeel' verwreven tussen ijs en rotsbodan, daarnaast neemt hij huizengrote blokken mee. De gletsjer is zeer slordig: aan zijn tong dumpst hij alles door elkaar neer en laat het aan anderen (wind en water) over, dit verder uit te zoeken.

3. Stromend water

Water heeft een veel minder grote capaciteit dan ijs, maar kan toch vrij grote brokken steen verplaatsen. Water vervoert ook grind, zand, silt en kleideeltjes en het opgeloste materiaal. De capaciteit is afhankelijk van waterhoeveelheid en stroomsnelheid. Zo vinden we in snelstromende rivieren een bedding van grind; in de laaggelegen gebieden van de benedenloop, waar de rivier langzaam stroomt, ligt er in de bedding zand en klei. Dit laatste is het geval in Nederland. Zo sorteert de rivier in horizontale zin het detritus. Het transport van het materiaal gaat gedeeltelijk zwevend (voornamelijk silt en klei), gedeeltelijk rollend en springend over de bodan (bijvoorbeeld zand),

waarbij het materiaal door het rollen en botsen afgerond en verkleind wordt.

Dit geldt ook voor de zee: stromingen vervoeren materiaal, het afronden en verkleinen gebeurt voornamelijk in de brandingszone. Ook hier vindt weer sortering plaats: op een breed, vlak strand zal voornamelijk zand neergelegd worden, op een rotsige kust voornamelijk keien en rolstenen. Silt en klei zullen verder van de kust worden vervoerd en vooral de kleideeltjes zullen zeer lang in het water blijven zweven tot zij uiteindelijk in de diepzee bezinken.

4. Waaiende wind

Wind heeft een nog veel beperktere mogelijkheid tot het vervoeren van grof materiaal. Korrels die door de wind worden meegenomen blijven veelal beperkt tot de fijnere zandfracties, silt en kleideeltjes. De fijne fragmenten kunnen zeer ver vervoerd worden, soms vele duizenden kilometers, en gaan soms vele kilometers hoog de lucht in. Zo kennen we in Nederland het rode stof, dat uit de Sahara afkomstig is. Löss, dat voornamelijk bestaat uit deeltjes van silt-grootte, is, vanuit de moreneafzettingen die Noord-Europa bedekten, over een grote afstand uitgewaaid naar het zuiden. Fragmenten die door de wind worden voortbewogen worden deels over de bodan gerold, gedeeltelijk worden ze verplaatst door een springende beweging: de **salatie**. Elke keer als een korrel na een vlucht van enkele decimeters of enkele meters weer op de bodan terugvalt, zal er weer een scherfje af kunnen springen en wordt de korrel verder verkleind.

3. Water

Water sorteert wel. Ook dit hebben we al in het kader opgemerkt. Een rivier zal in een bepaald gedeelte van zijn stroomgebied grind neerleggen, op andere plaatsen bv. grof zand, elders een zandige silt, afhankelijk van de stroomsnelheid. Soms is water wel in de gelegenheid om op een bepaalde plaats naast fijnkorrelig materiaal, bv. zandgrootte, ook centimeters, soms wel decimeters grote fragmenten neer te leggen. Dit gebeurt als de rivier een sterk wisselende hoeveelheid water vervoert, bv. in een Mediterraan klimaat of een woestijnklimaat waar hevige stortbuien vallen. Hier vinden we dan binnen één laag, of in verschillende lagen boven elkaar, naast zand ook grindrolstenen en ronde keien. Ook de zee sorteert: in de branding voor een rotskust wordt het fijne materiaal weggevoerd, alleen de grindrolstenen blijven op het strand achter en deze kunnen we vele miljoenen jaren later eventueel terugvinden als een conglomeraat. De branding sorteert goed, omdat er een continue, voor het allergrootste deel van de tijd, een gelijkmatig bewegen van het materiaal plaats vindt. De kleine fragmenten, die door het continue botsen en rollen ontstaan, worden door de stromingen naar dieper water weggevoerd. Fijnkorrelig detritus wordt dus door de stromingen in zee meegevoerd en veelal neergelegd op vrij grote afstand van de kust en in tamelijk diep, rustig water.

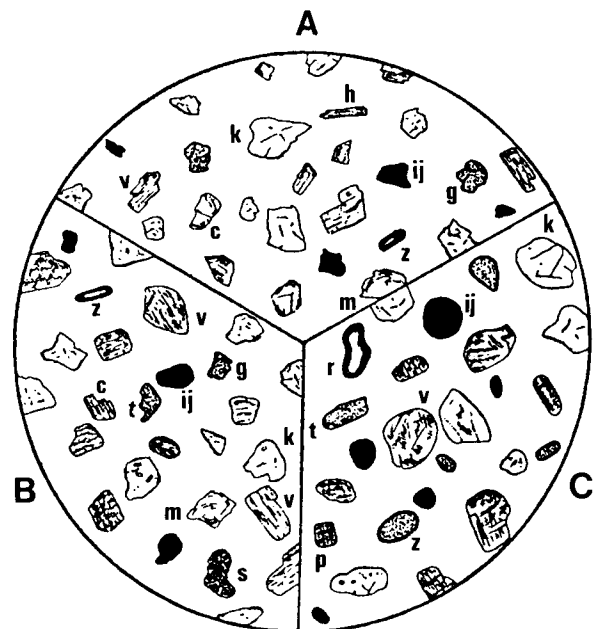
4. Wind

Afzettingen van de wind, bv. duinen, zullen een veel betere sortering tonen. De korrelgrootte-verschillen zijn klein, voornamelijk omdat de wind slechts kleine korrels kan vervoeren en vrijwel niet

in staat is om de grove zandfractie te verplaatsen. Daarnaast zal fijner materiaal van silt- of klei-grootte, dat tijdens een periode van rustig weer wordt neergelegd, in perioden van harde wind voor een deel weer worden opgenomen en als stof weer de lucht in gaan.

Afronding

We kunnen hier weer van dezelfde serie transporteurs uitgaan. Afb. 2.



Afb. 2. Vorm en afronding van zandkorrels. A. Fluvio-glaciaal zand, de korrels hebben scherpe hoeken. B. Strandzand, de meeste korrels vertonen enige afronding. C. Woestijnzand, sterk afgeronde korrels. $\pm 20 \times$. (Naar Tyrrell)
c = chloriet; g = granaat; h = hoornblende; k = kwarts; m = mica; p = pyroxeen; r = rutiel; s = serpentijn; t = toermalijn; v = veldspaat; ij = ijzerminalen; z = zirkoon.

1. *Zwaartekracht*. Deze zal weinig tot geen poging tot afronding ondernemen. Misschien dat een hoekig brok door het rollend vallen langs een berghelling en over een talud van puin enkele van zijn scherpe randjes zal kwijtraken, maar dit zal toch een nauwelijks te merken effect zijn.

2. *Gletsjer*. Afronding van brokken door de gletsjer zal in verscheidene gevallen voorkomen: keien die over de rotsbodembodem schuren worden gladgeschaafd en door draaiing enigszins afgerond. Echter, ook de gletsjer zal weinig zijn best doen zijn 'lading' tot ronde rolstenen om te vormen.

3. *Stromend water* heeft een goede mogelijkheid tot afronding, waarbij vooral de branding een zeer goede afronding van de rolstenen en het strandzand zal kunnen bereiken. Dit geldt ook voor de vierde transporteur:

4. *Wind*. Hierdoor zullen de rollende fragmenten een goede afronding krijgen.

Mineraalsamenstelling

Een belangrijke eigenschap van sedimenten, waarmee veel gezegd kan worden over de oorsprong en omstandigheden van vertering en erosie, is de **samenstelling** van de fragmenten. Dit brengt ons bij de **soorten van mineralen**, waaruit de korrels bestaan.

Kwarts

In Nederland bestaat het 'zand' aan het strand, in de duinen en in de rivieren voor het allergrootste deel uit kwartskorrels. Dat is de reden waarom 'zand' in eerste instantie wordt geassocieerd met kwartskorrels.

Kwarts is een hard mineraal, de kristallen zijn massief, zij hebben geen splijting en het mineraal is resistent tegen vele vormen van chemische vertering. Kwartskorrels kunnen dus intensieve vertering en langdurige erosie weerstaan.

Kwarts kan vele bronnen als herkomst hebben. Oorspronkelijk zal kwarts afkomstig zijn van stollingsgesteenten en natuurlijk zijn dit zure stollingsgesteenten, die vrije kwartskristallen bezitten. Daarnaast komen kwartskorrels vrij bij vertering van metamorfe gesteenten en sedimenten.

Kwarts kan door zijn resistentie verscheidene malen de cyclus van vertering - erosie - sedimentatie - diagenese - metamorfose doorlopen. Dergelijke polycyclische kwartskorrels zijn een enkele keer wel eens te herkennen, maar dit kan in de praktijk alleen maar gebeuren in een slijpplaatje onder de polarisatiemicroscoop. We moeten ook oppassen met het trekken van een conclusie aan de hand van de mate van afronding aan de kwartskorrels: betere afronding wijst op een langer transport, maar er moet dan wel rekening gehouden worden met de afkomst: de kwartskorrels

kunnen bv. afkomstig zijn van een sediment dat uit goed afgeronde korrels bestond.

Andere mineralen (zie afb. 2)

Veldspaat-korrels kunnen alleen in een sediment terecht komen als zij niet te ver vervoerd worden. Veldspaat heeft een goede splijting en zal tijdens het transport gemakkelijk in kleine stukjes breken. Daarnaast is veldspaat vrij gevoelig voor chemische verteringsreacties en vooral in tropische gebieden blijft er van de veldspaat al heel snel niets over. Veldspaatkorrels komen in een sediment voor als de vertering in het oorsprongsgebied voornamelijk mechanisch was en het transport niet te ver is geweest. Dit wijst dus op een koud tot gematigd klimaat en de nabijheid van een granietbatholiet. Een basisch stollingsgesteente als een bazalt, diabaas of gabbro zal bij vertering naast veldspaat korrels leveren van bv. **augiet**, **olivijn** en korrels van de **fijnkristallijne grondmassa** van het gesteente. Ook hier geldt, in nog sterkere mate dan bij de graniet, dat de chemische vertering niet te sterk mag zijn geweest. Olivijn bv. is zeer gevoelig voor chemische vertering en zal snel veranderen in **serpentiin**-mineralen. Ook mag de transportweg niet te lang zijn: de donkere mineralen hebben een goede splijting (pyroxenen in twee richtingen) of veel barsten (olivijn) en zullen een ruwe behandeling door een der eroderende krachten beslist niet lang overleven. Metamorfe gesteenten leveren een groot aantal verschillende mineraalkorrels, die een grote verscheidenheid aan eigenschappen hebben. Ronde, harde **granaat**-kristallen en massieve en vrij resistente mineralen als **zirkoon**, **titaniem**, **epidoot**, **toermalijn** en **stauroliet** kunnen in sedimenten terecht komen na een intensieve bewerking door vertering en erosie.

Zachtere mineralen en kristallen die een goede splijting hebben zullen het eerder laten afweten en tijdens een lang erosieproces volledig verdwijnen, bv. **distheen**, **sillimaniet** en **hoornblende**. **Kalk**-korrels ontstaan in het algemeen door afbraak van een kalkgesteente. Dit kan bv. een rif geweest zijn, waarvan de branding stukken heeft afgebroken; deze fragmenten kunnen dan op de bodem van de zee heen en weer gerold worden. Zo kan een zand ontstaan dat geheel uit kalkkorrels bestaat: een calcariniet. Het spierwitte gipszand ontstaat door vertering van **gips**-afzettingen in een heet en droog klimaat. De fragmenten die door de werking van hitte en koude ontstaan worden door de wind voortgejaagd en zo afgerond.

Zwart vulkanisch zand ontstaat op dezelfde wijze: de korrels en fragmenten van mineralen en fijnkristallijne lava vormen de zwarte korrels van het strand van Napels of IJsland. Bepaalde mineralen kunnen worden geconcentreerd. Zo kunnen zwarte of bruine zanden van bepaalde zware mineralen als **rutiel** of **magnetiet** ontstaan als door de branding alle korrels van een lichter soortelijk gewicht worden weggespoeld en het residu van zware korrels achterblijft. Hier moet dan wel een bron van deze mineralen in de buurt zijn.

Wordt vervolgd

Stegocephalen in het Perm van Bohemen

door Petr Bumbálek, Miroslav Hlavenka en Tomáš Roblčec,
bewerkt uit het Duits door J. Stemvers-van Bommel

Inleiding

Door de ontwikkeling van de bruinkoolwinning in de Bovencarbonische tot Onderpermische afzettingen van de Boskovice-slenk (Tsjechië) gedurende de afgelopen eeuw

zijn de eerste vondsten van fossiele resten van Stegocephalen mogelijk geweest. De vondsten van deze primitieve, op salamanders lijkende dieren, zijn het eerst door Alexander Makovsky, een paleontoloog van de Technische Hogeschool van Brno, bestudeerd. Zijn resultaten