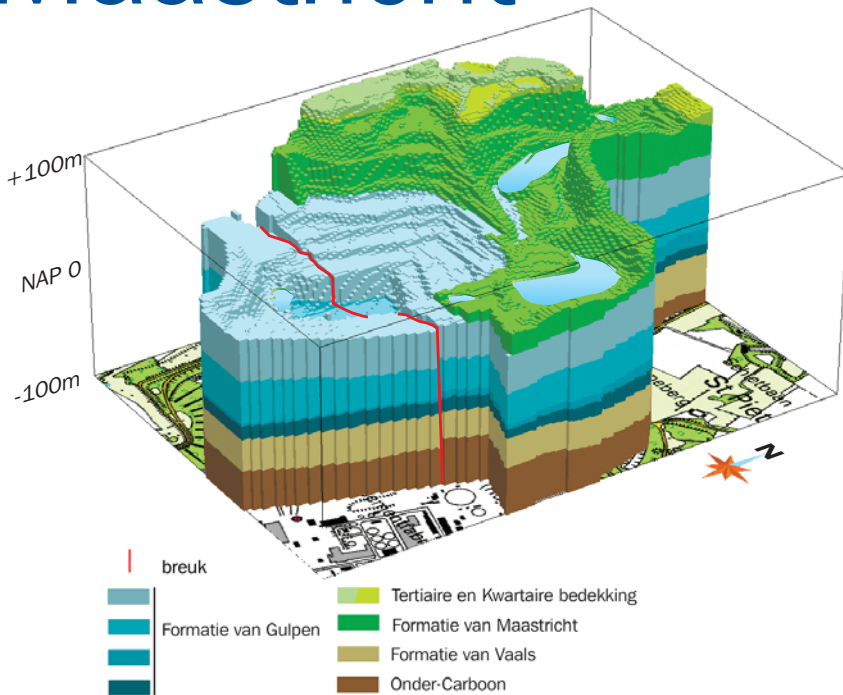


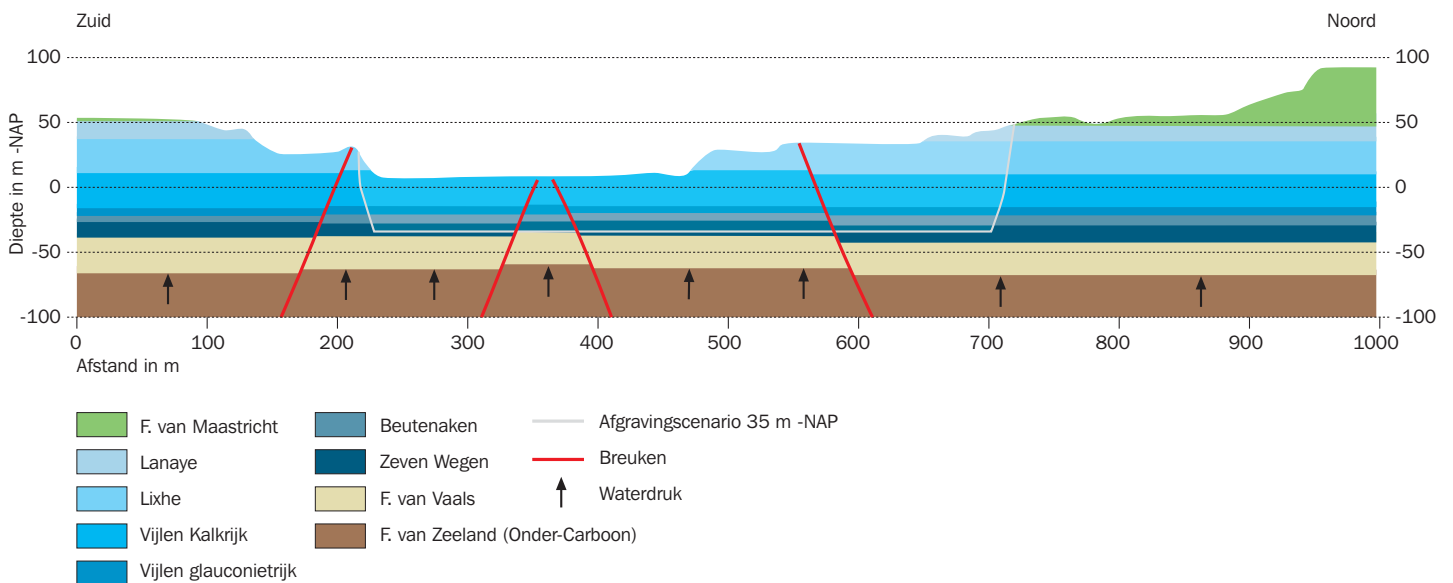
Effecten van een verdiepte kalksteenwinning

# Stabiliteit ENCI-groeve Maastricht



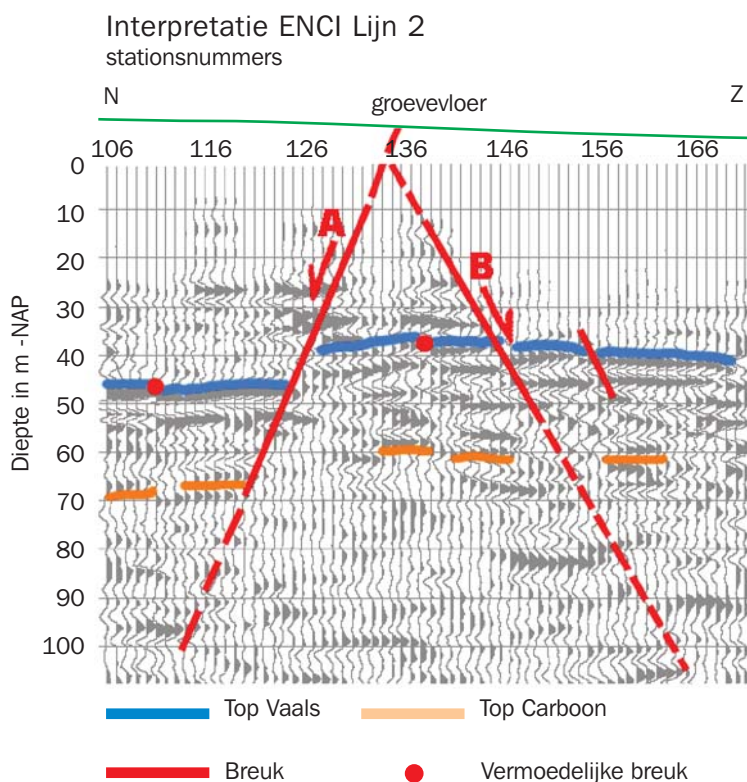
TNO adviseerde ENCI BV in Maastricht over de stabiliteit van de St. Pietersberggroeve. Wat zou een verdiepte afgraving van de groeefloer betekenen voor bijvoorbeeld de 'Diepe Winning'? TNO vergeleek vijf afgravingsscenario's en hun invloed op de kwantiteit en kwaliteit van de grondwaterstroming naar de groeve. Onder andere is het risico op het openbreken van de geplande groeefloer door hoge artesische grondwaterdruk in dieperliggend gesteente uit het Carboon onderzocht.

Figuur 1. Schematische weergave van de ENCI-groeve met diepteligging grondlagen, breuken en topografie.



Figuur 2. Noord-Zuid doorsnede model met grondlagen van de St. Pietersberggroeve.

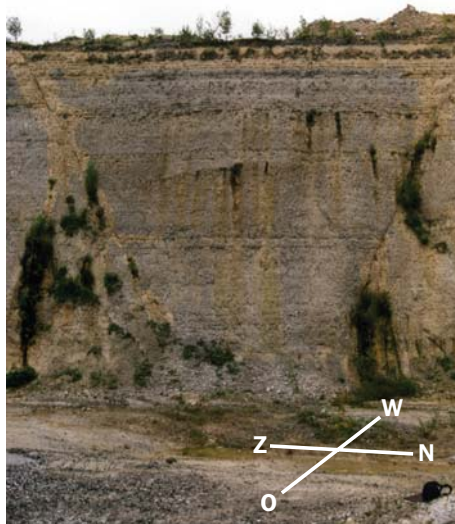
Sinds 1926 verwerkt de ENCI in Maastricht kalksteen tot cement. De cementfabriek ligt op ongeveer 50 meter boven NAP. De gemiddelde waterstand van de Maas ligt op ongeveer 46 meter boven NAP. De groevevloer van de 'Diepe Winning' ligt ongeveer 3 meter boven NAP. ENCI vroeg zich af wat verdere afgraving van de groevevloer voor gevolgen zou hebben. Om die vraag te beantwoorden onderzocht TNO de sterkte van het gesteente van de groevevloer in het laboratorium. Ook seismisch onderzoek naar het voorkomen van geologische breuksystemen in de groevevloer hielp het inzicht in de situatie te vergroten. Met behulp van numerieke modellen bepaalde TNO tenslotte het antwoord op de centrale vraag in de studie: tot welke diepte kalksteenwinning kan plaatsvinden bij een verwaarloosbaar risico op onomkeerbare en oncontroleerbare instroming van water uit het Carboon-gesteente. De groevevloer in de Diepe Winning van de ENCI bestaat uit drie verschillende geologische hoofdeenheden. De Formatie van Gulpen bestaat uit kalksteen met vuursteen. Verder is er de Formatie van Vaals, die uit kleihoudende siltsteen bestaat. Tot slot is er de Formatie van Zeeland (Onder-Carboon), bestaande uit verkieselde schalies en kalksteen. De top van de Formatie van Zeeland bevindt zich in de Diepe Winning op 65 meter onder NAP (Fig. 1 en 2). Peilbuismetingen van de grondwaterdruk in het Carboon wezen uit dat er een constante stijghoogte van 58 meter boven NAP bestaat. De waterdruk aan de top bedraagt maximaal 1250 kN/m<sup>2</sup>. Die kracht drukt op de onderkant van de slecht doorlatende Formatie van Vaals en kan resulteren in een opwaartse kwelstroom (Fig. 2). Afgraving van de kalksteen kan de grond-druk dusdanig verlagen, dat het risico op openbreken van de groevevloer langs bestaande of nieuwe breuken ontstaat. Gegeven de kwaliteit van dit kwelwater zou dit problemen kunnen opleveren voor het lozen van groevewater. Ook zou er, na het staken van de productie uit de groeve, op lange termijn een meer in de groeve kunnen



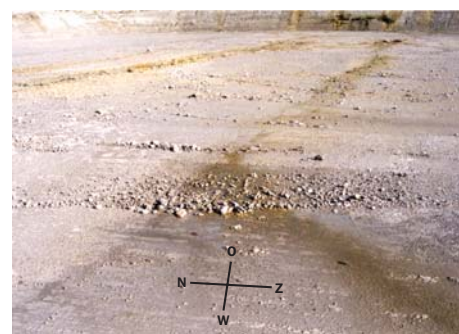
Figuur 4. Hoge resolutie seismische opnamen met interpretatie van ENCI lijn 2 met geologische niveau's en breuken.

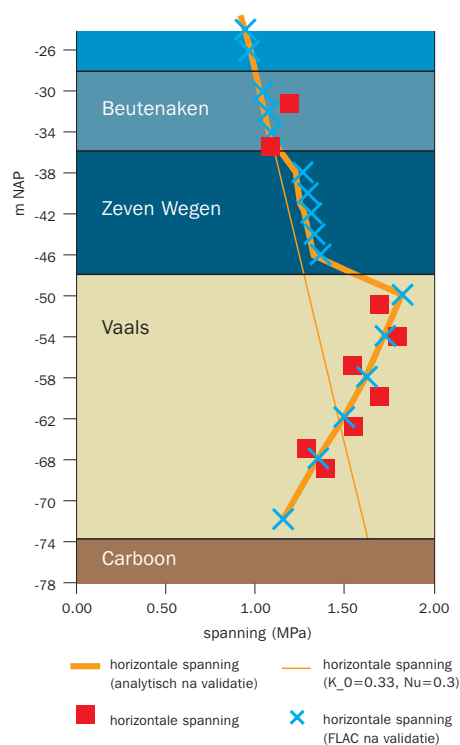
ontstaan dat niet voldoet aan de vereisten van een verantwoord watermilieu. Na grondonderzoek en bepaling van geotechnische reken-parameters is de stabiliteit van de groevevloer en de te verwachten grondwaterkwel berekend voor:

- a de afgravingdiepte in zomer 2002;
- b 5 meter boven NAP;
- c 10 meter beneden NAP;
- d 20 meter beneden NAP;
- e 35 meter beneden NAP.



Figuur 3. Foto's van breuken in de huidige ENCI-groeve (zomer 2003). Onder: Diepe Winning groevevloer met Oost-West strekkende breuken; links: westelijke groevewand met begroeiing (door stromend water) bij dilatatie-breuken.





Figuur 5. Profiel van de in het boorgat gemeten kleinste horizontale hoofdspansing als functie van de diepte, en de numeriek- en analytisch berekende waarden na validatie van  $K_0$  en Poisson ratio.

Later in het project is voor 10 meter beneden NAP ook het effect van het aanbrengen van aanvullend stortgewicht berekend, dat het gewicht van de afgegraven kalksteen kan compenseren. Bij de risico-analyse van de stabiliteit is in een latere fase ook de diepteliging van de groeefloer van 2 meter beneden NAP betrokken.

### Breuken en grondspanningen

In de groeve zijn breuken en diaklazen aan het maaiveld waarneembaar (Fig. 3). De breuken verzwakken de gesteentemassa en zijn niet continu ontwikkeld. Geologische breuken in de Diepe Winning zijn in kaart gebracht door waarnemingen aan het maaiveld en geofysische veldmetingen in de groeefloer (Hoge Resolutie seismiek; Fig. 4). Er zijn breuken met een verzet van maximaal 5 meter in de groeefloer aanwezig, die vanaf maaiveld van de groeve doorlopen tot

in de top van het Carboon. Hydraulische injectietesten in de kalksteengroeve zijn uitgevoerd om de grootte en richting van de in-situ grondspanningen te meten in de Formatie van Vaals (Fig. 5). De sterkte en lage waterdoorlatendheid van de Formatie van Vaals spelen een belangrijke rol in de stabiliteitsanalyse. Deze laag moet namelijk de hoge artesische grondwaterdruk van het Carboon compenseren.

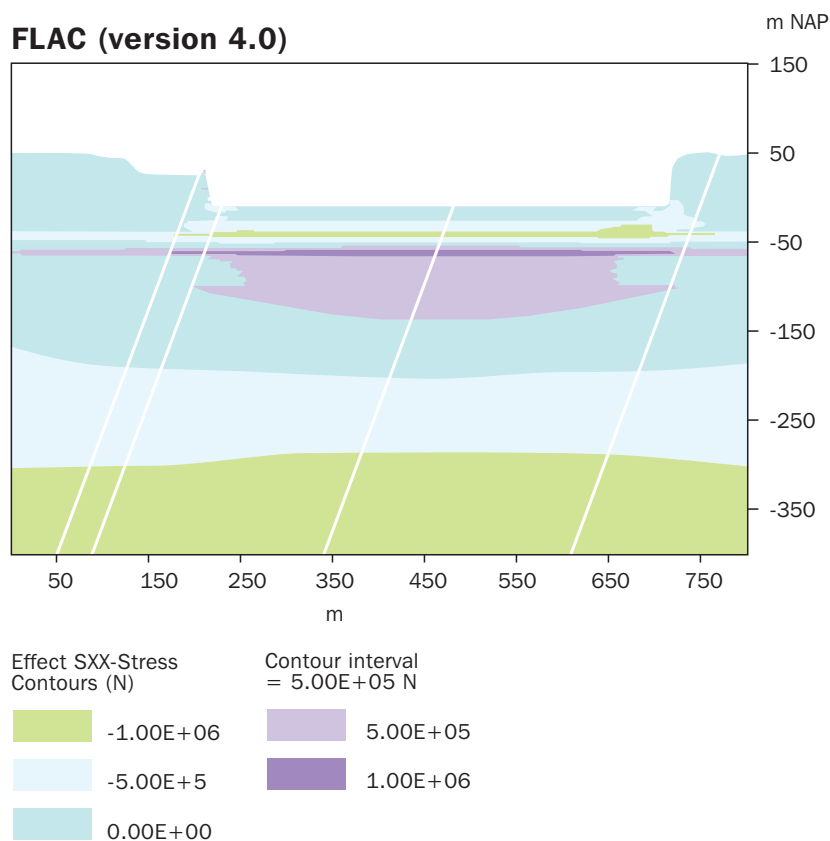
De grondspanningen ter plaatse zijn belangrijk voor het berekenen van het bezwijkingsproces van de groeefloer. In deze berekeningen zijn effecten van een verhoogde doorlatendheid van de Formatie van Vaals meegenomen. Dit gebeurde na studie van het ductiel gedrag ofwel breukgedrag in het gesteentemechanische laboratorium van RWTH in Aken. De kleistenen van de Formatie van Vaals gedragen zich bros onder alle effectieve spanningen in de afgraving. Geringe plastische deformaties leiden al tot

openscheuring en grote verhoging van de waterdoorlaatbaarheid. Gedurende de kalksteen-winning moet dit te allen tijde worden vermeden. Het bezwijkcriterium van de Formatie van Vaals is daarom een cruciaal gegeven.

### Stabiliteit van de groeefloer

Om het bezwijkgedrag en de grondwaterkwel te bestuderen, zijn geohydrologische en geomechanische rekenmodellen gebruikt. De groeefloer kan onder invloed van verschillende mechanismen bezwijken. Zo kunnen er verticale rekspleten ontstaan in de Formatie van Vaals als gevolg van horizontale effectieve rekspanningen. Ook kunnen er aan de basis van de Formatie van Vaals horizontale rekspleten ontstaan door verticale effectieve rekspanningen. Tenslotte kan er reactivatie van tektonische breuken optreden: schuifbewegingen in de groeefloer tot in de Formatie van Vaals als gevolg van de afgraving.

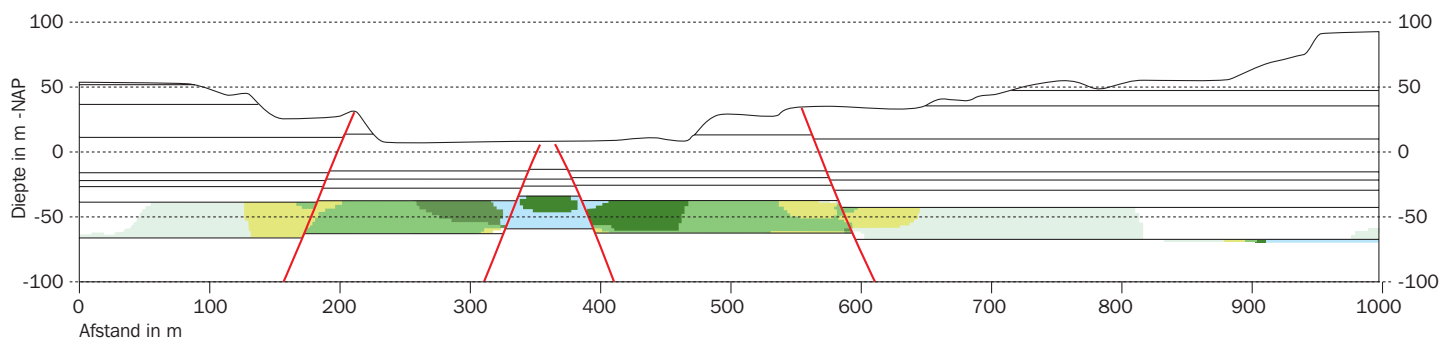
### FLAC (version 4.0)



Figuur 6. Berekende effectieve horizontale grondspanningen bij afgraving 10m -NAP.

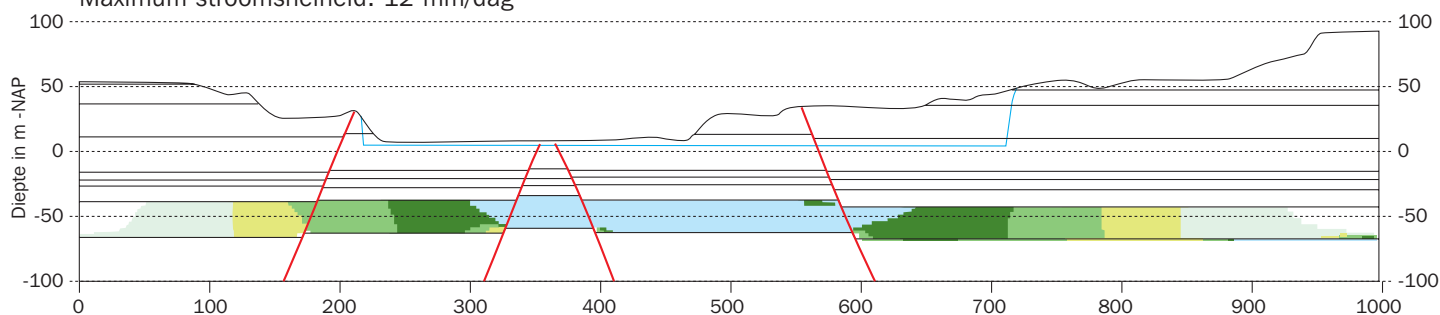
**Huidige situatie**

Maximum flux: 0,006 m<sup>3</sup>/dag  
 Maximum stroomsnelheid: 10 mm/dag



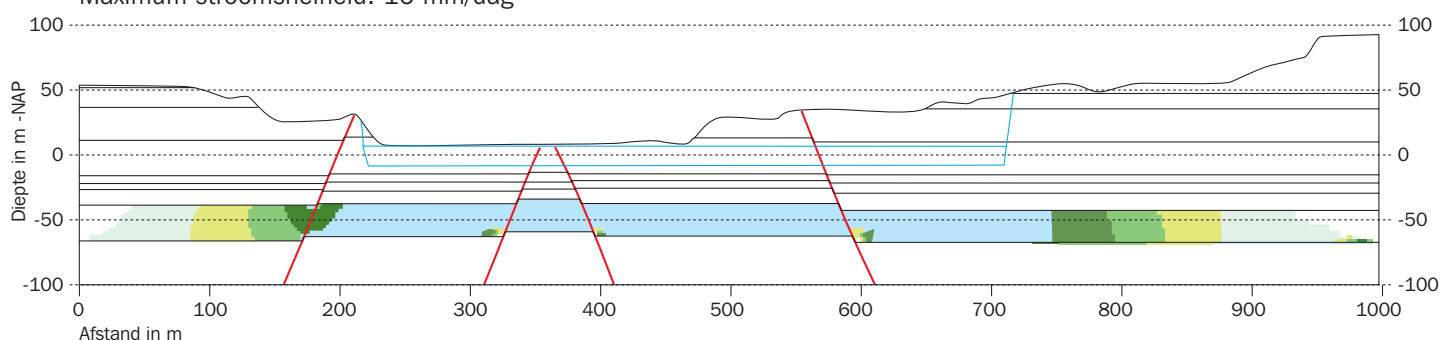
**Groevevloer NAP +5 m**

Maximum flux: 0,007 m<sup>3</sup>/dag  
 Maximum stroomsnelheid: 12 mm/dag

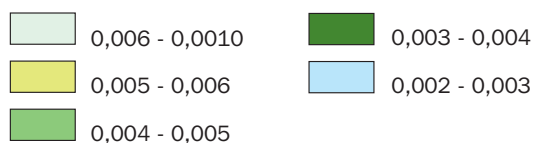


**Groevevloer NAP -10 m**

Maximum flux: 0,010 m<sup>3</sup>/dag  
 Maximum stroomsnelheid: 16 mm/dag



Flux door Formatie van Vaals (m<sup>3</sup>/dag)



Figuur 7. Berekende grondwaterflux door de Formatie van Vaals bij huidige situatie zomer 2002, afgraving 5 m +NAP en afgraving 10 m–NAP.



Verticale rekspanningen treden niet op bij afgraving tot 5 meter boven NAP, maar wel bij de afgravingen van 10 meter beneden NAP en dieper (voorbeeld in Fig. 6). Bij een afgraving diepte onder 10 meter beneden NAP kan de afdichtende werking van de gehele Formatie van Vaals verloren gaan en een zeer grote, ongecontroleerde toename van grondwaterkwel uit het Carboon ontstaan. Volgens de rekenmodellen vinden er in de huidige situatie schuifbewegingen langs geologische breuken plaats. Er is echter nog geen verhoogde kwel door breukreactivatie geconstateerd.

### Grondwaterkwel

Berekeningen van stijghoogte en grondwaterkwel zijn uitgevoerd met een West-Oost en een Zuid-Noord doorsnede-model voor de vijf afgravingsscenario's. Voor de geomechanische modellering zijn de waterspanningen in de groeeprofielen berekend uit de berekende drukhoogte. De grondwaterkwel in de waterbalans van de ENCI-groeve wordt met het doorsnede-model geschat. De hoeveelheid grondwater die in de huidige situatie naar de groeve stroomt, is berekend door extrapolatie van de debieten naar het totale oppervlak van de groeve.

De huidige toestroom van grondwater uit het Carboon, de kalksteen en de neerslag naar de groeve is berekend op 645.000 tot 660.000 m<sup>3</sup>/jaar. Dit berekende totale waterbezwaar is lager dan de in de laatste jaren uitgepompte hoeveelheden die zijn gemeten. Het waterbezwaar vanuit het Carboon is berekend voor drie afgravingsscenario's, namelijk de huidige situatie, 5 meter boven NAP en 10 meter beneden NAP. Bij berekening van het waterbezwaar is veel aandacht besteed aan de flux door de slecht waterdoorlatende Formatie van Vaals (Fig. 7).

### Grondwaterkwaliteit

Er is een kwalitatieve analyse gemaakt van de samenstellingen van grondwater en oppervlaktewater rondom de ENCI-groeve. De geohydrologische modelberekeningen geven aan, dat er kwel optreedt vanuit het Carboon naar de ENCI-groeve door het Krijt. Het water uit het Carboon bevat meer zout (Cl en Na) dan het water in de Formatie van Gulpen en de Maas (325 mg Cl/l). Andere stoffen die in het Carboonwater opvallen door hun relatief hoge concentratie zijn zink (Zn) en uranium (U). Vergelijkbare concentraties Zn en U worden aangetroffen

in de kalkstenen van de Krijtkalk en in de rivieren Maas en Jeker.

De monsters bevatten geen sterk verhoogde concentraties zout of gassen. Ook zijn er geen lagen aangetroffen met een sterk verhoogde concentratie zout of zwavel. De geochemische vaste stof-analyse van gesteente van de Formaties van Gulpen, Vaals en Carboon vertonen normale concentraties van de hoofdelementen Si, Al, Fe, Ca en K. Het Carboon bevatte wel relatief hoge concentraties Zink (Fig. 8). Opvallend is, dat het zinkgehalte van het Maas- en Jekerwater nog hoger is. Ook de Formatie van Gulpen heeft een verhoogde zinkconcentratie.

### Resultaten

Voor de meest waarschijnlijke combinatie van rekenparameters, zonder veiligheidsmarge, zijn enkele conclusies te trekken over de mogelijkheden voor verdere winning. Deze conclusies gelden voor een situatie waarin geen stort wordt aangebracht. Bij alle afgravingsscenario's, ook bij de huidige afgraving, treden horizontale effectieve rekspanningen op en verticale rekspanningen in de Formatie van Vaals. Omdat de rekspleten zich niet uitstrekken tot de top van de Formatie van Vaals, leidt dit echter niet tot het ontstaan van continue zones van verhoogde permeabiliteit door de gehele formatie. Verticale effectieve rekspanningen treden niet op bij afgraving tot 5 meter boven NAP. Bij afgravingen van 2 meter beneden NAP en dieper is het gewicht van de groeefloer lager dan de grondwaterdruk. Er ontstaan verticale effectieve rekspanningen en horizontale rekspleten in de Formatie van Vaals en de groeefloer wordt instabiel. Volgens de numerieke modellen vinden er al in de huidige situatie schuifbewegingen langs geologische breuken plaats. Op dit moment is echter nog geen verhoogde kwel door breukreactivatie geconstateerd. Wanneer verschuiving daadwerkelijk leidt tot een grote toename van de lokale permeabiliteit, zal mogelijke kwel beperkt blijven tot smalle zones langs bestaande breuken.

hoofd-elementen	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
Gulpen	10,02	0,84	0,55	37,91	0,26	86,16
Vaals	59,83	5,80	3,15	13,33	1,35	25,21
Carboon	74,52	5,56	2,25	5,48	1,15	10,43
sporen-elementen	Zn (ppm)	Cr (ppm)	V (ppm)	Sr (ppm)	Ba (ppm)	Zr (ppm)
Gulpen	17,72	12,06	15,96	753,40	32,23	33,69
Vaals	33,47	60,46	73,02	458,68	146,78	229,47
Carboon	2187,03	154,97	108,34	192,14	488,79	120,38

Figuur 8. Belangrijkste hoofdelementen en sporenelementen van de gesteenten van de groeefloer van de ENCI.

De berekende bijdrage van het grondwater uit het Carboon bedraagt in de huidige afgravings situatie 88.000 m<sup>3</sup>. Bij de afgravingsdiepte van 5 meter boven NAP neemt de bijdrage toe tot 390.000 m<sup>3</sup>/jaar. Bij een afgravingsdiepte van 10 meter beneden NAP en dieper, zonder gebruik van aanvullend stort, vermindert de hydraulische weerstand van de Formatie van Vaals en valt een zeer groot kwelwaterbezwaar vanuit het Carboon te verwachten.

De studie is uitgevoerd in samenwerking met Roland Bekendam (GeoControl), Janos Urai (RWTH-Aachen) en Willem Verwaal (TU-Delft). De resultaten van de studie maakten deel uit van een integrale MER voor de provinciale vergunningverlener.

## Bodem en Grondwater

TNO Bouw en Ondergrond *Geological Survey of the Netherlands* is het centrale geowetenschappelijke informatie- en onderzoekscentrum van Nederland, ten behoeve van het duurzaam beheer en gebruik van de ondergrond en de ondergrondse natuurlijke bestaansbronnen.

### **TNO Bouw en Ondergrond** ***Geological Survey of the Netherlands***

Princetonlaan 6  
Postbus 80015  
3508 TA Utrecht

T 030 256 48 50  
F 030 256 48 55  
E [info-Ben0@tno.nl](mailto:info-Ben0@tno.nl)

**tno.nl**