

**Kennis van natuursteen is van groot belang in de praktijk van de monumentenzorg. Dit geldt ook voor de Udelfanger zandsteen, een historisch bouw materiaal dat ook nu nog incidenteel bij restauraties wordt toegepast. Gedetailleerd geologisch onderzoek heeft een belangrijke bijdrage geleverd aan onze kennis van deze zandsteen. Dit artikel vormt een samenvatting van dit onderzoek.**

# Udelfanger zandsteen

**Mineralogie, fysische eigenschappen, verweringsverschijnselen en duurzaamheid van een historisch bouw materiaal**

Wim Dubelaar & Hendrik Jan Tolboom

*C.W. Dubelaar, TNO-NITG, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht,  
c.dubelaar@nitg.tno.nl*

*H.J. Tolboom, RDMZ, Postbus 1001, 3700 BA Zeist,  
h.tolboom@monumentenzorg.nl*

## Inleiding

Bentheimer zandsteen en zandsteen uit de Bückeberge bij het plaatsje Obernkirchen, beide uit het Onder-Krijt van de Duitse deelstaat Nordrhein Westfalen, zijn in het verleden wijdverbreid toegepast als bouwsteen. Bekende monumenten als het Koninklijk Paleis in Amsterdam, de Nieuwe Kerk in Delft en vele andere Nederlandse monumenten zijn grotendeels uit deze kwartsrijke zandstenen opgetrokken (Slinger et al 1980; Dubelaar 1984). De bouwsteen Udelfanger zandsteen is veel minder algemeen bekend, maar is wel op veel plaatsen in onze historische binnensteden te vinden.

Dit komt vooral doordat het gesteente in de jaren 1860 tot ongeveer 1900 op voorspraak van de invloedrijke architect P. J. H. Cuypers op grote schaal is toegepast in de restauratiebouw en in nieuw gebouwde kerken.

Al spoedig na de introductie bleek dat de Udelfanger zandsteen veel minder weervast was dan zijn illustere voorgangers uit Bentheim en Obernkirchen. Vaak trad er al binnen enkele decennia een sterke afschilfering en afzanding op en in sommige gevallen spleet het gesteente open langs de natuurlijke laagvlakken. Maar er zijn ook voorbeelden bekend waarbij het materiaal veel minder van vertering te lijden heeft gehad, in het bijzonder bij toepassing van het gesteente in vrijstaande sculpturen en reliëfs. Een voorbeeld daarvan is het beeld van Piet Heyn in Delfshaven (Afb. 1).

Om meer inzicht te krijgen in de eigenschappen van het gesteente en in de relaties tussen deze eigenschappen en de verweringsverschijnselen, onderzochten wij de mineralogische samenstelling en de fysische kenmerken van de Udelfanger zandsteen. Gelukkig wordt het gesteente ook tegenwoordig nog bij Udelfangen uitgegraven, zodat we daar verse monsters konden verzamelen. Naast verse groevemonsters waren ook monsters beschikbaar die onlangs uit de Remonstrantse Kerk te Rotterdam waren genomen (Afb. 2 en Tabel 2). Van een tiental monsters Udelfanger zandsteen zijn slijpplaten gemaakt. Door middel van röntgenfluorescentie-analyse (XRF) is de chemische samenstelling van hoofdelementen en sporenelementen

## Summary

Mineralogy and petrophysical properties of the Udelfangen sandstone (Lower Muschelkalk, Germany) have been studied in detail. The sandstone is dominated by fine grained quartz, lithic fragments and mica's (mainly muscovite) cemented by carbonate. Porosity is high (17 - 27 vol.%) and permeability is good (0.75 - 376 milli-Darcy). The Udelfangen sandstone has been used as a restoration stone in the Netherlands from the second half of the 19th century. Due to the use of different qualities of the stone, such as, layers rich in loam and layers with high mica and high carbonate content, its weathering behaviour is different in each application. The most durable stones are expected to last about two hundred years in the outdoor climate.

bepaald. Ook is de porositeit en de doorlaatbaarheid (permeabiliteit) gemeten.

Zover ons bekend, dateert de oudste toepassing van de Udelfanger steen uit de late Middeleeuwen (Liebfrauenkirche, Trier, 13<sup>e</sup> eeuw). Op het kerkhof in het dorp

## Van de redactie

### *Een geologische ontdekkingsreis door de stad Utrecht!*

Wist u dat de Udelfanger zandsteen ook is verwerkt in de Dom van Utrecht? Met de folder 'Stenen rond de Dom' wandelt u langs 2000 jaar geschiedenis van bevoond Utrecht en langs honderden miljoenen jaren geschiedenis van de aarde. Dat in Utrecht naast baksteen ook fraaie sedimentaire, stollings- en metamorfe gesteenten te ontdekken zijn, was u misschien al bekend. Met de folder ontdekt u echter ook de geschiedenis en herkomst van deze stenen. Een aanrader dus voor een 'ander' dagje Utrecht.

'Stenen rond de Dom' is verkrijgbaar bij TNO-NITG, in bezoekerscentrum RonDom (Domplein 9) en bij de VVV (Vinkenburgstraat 19), beide in het centrum van Utrecht. Daarnaast is de folder als pdf beschikbaar op de website van TNO-NITG ([www.nitg.tno.nl](http://www.nitg.tno.nl)) onder 'Producten en Diensten' > 'Geowetenschappelijke publiksuitgaven'.

Er is ook een engelstalige uitgave van de folder, getiteld: 'Rocks around the Clock'.



Afbeelding 1.  
Standbeeld van Piet Heyn gehakt uit Udelfanger zandsteen door Jos Graven in 1870. Het standbeeld staat in Delfshaven, Rotterdam.

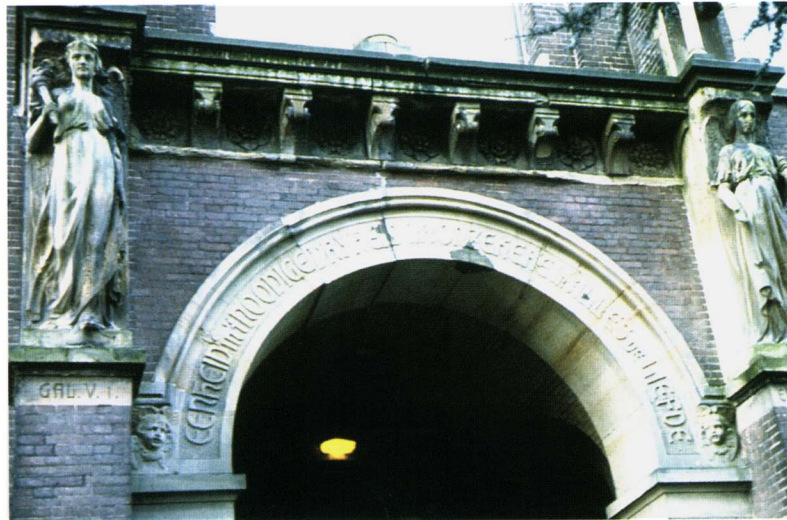
Udelfangen zijn enkele grafstenen uit de 18e eeuw bewaard gebleven. Er is wel verondersteld dat de Romeinen de Udelfanger zandsteen al gebruikt hebben voor de Porta Nigra in Trier (Slinger et al. 1980). Dit berust volgens ons op een misverstand: de Romeinse stadspoort bestaat namelijk voor het overgrote deel uit Bontzandsteen, dat een heel ander gesteente is.

### Verbreiding, ouderdom en sedimentaire facies

De Udelfanger zandsteen is een geelgrijze tot groengele, goed gesorteerde, glimmerhoudende fijnkorrelige zandsteen, die dateert uit het onderste deel van de Muschelkalk (Onder-Trias). Het gesteente dagzoomt in een enkele kilometers lange zone ten noordwesten van Trier (Rheinland-Pfalz). Het wordt gewonnen in een tweetal groeven nabij het dorpje Udelfangen (Afb. 3, 4 en 6). De zandsteen komt voor in een smalle horst, die zich als een heuvelrug in het landschap manifesteert. Het omgevende gesteente behoort tot de jongere afzettingen van de Midden-Muschelkalk en de Keuper (Boven-Trias). Het onderliggende gesteente behoort tot oudere Mesozoïsche afzettingen (Bontzandsteen)

Tabel 1 – Gemiddelde mineraalsamenstelling van de Udelfanger zandsteen naar gegevens uit de literatuur (Grimm, 1990 en Kraus, 1985).

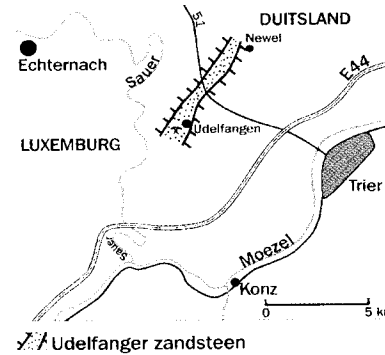
65–70%	kwarts
6–9%	kaliveldspaten
2–5%	glimmers
3–6.5%	carbonaat (deels dolomiet-Mg houdend carbonaat)
< 1%	kleimineralen



Afbeelding 2. Voorportaal van de Remonstrantse Kerk in Rotterdam. Simon Miedema vervaardigde aan het exterieur van deze kerk in 1897 de versierende ornamenten en het beeldhouwwerk uit Udelfanger zandsteen.

en tot de door erosie sterk afgevlakte Devonische kalkstenen en schalies van het hercynische geplooiden grondgebied van de zuidelijke Eifel.

De Udelfanger zandsteen werd ongeveer 220 miljoen jaar geleden afgezet in een ondiepe zee die zich ruwweg van noord naar zuid over de huidige Eifel uitstrekte. Gezien het voorkomen van versteende golf- en



Afbeelding 3. Voorkomen Muschelsandsteen in de horst ten noordwesten van Trier. Het gesteente is ontsloten in een tweetal groeven bij het dorpje Udelfangen (gewijzigd naar Nengendank 1983).

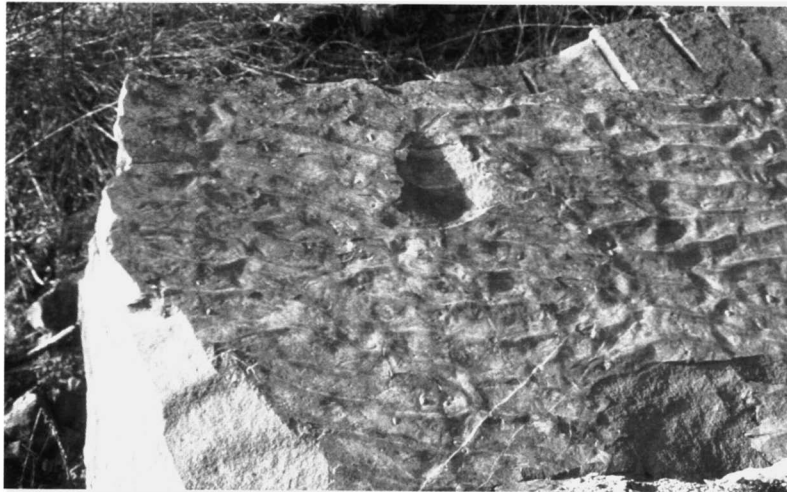


Afbeelding 4. Steenbank uit het laagpakket van de geelgrijze banken in de groeve bij Udelfangen.

Tabel 2 – Geochemische (XRF)analyse van de tien monsters Udelfanger zandsteen. De G-monsters komen uit de groengele banken en de Y-monsters uit de grijsgele banken. De R-monsters zijn afkomstig uit het beeldhouwwerk van de Remonstrantse Kerk in Rotterdam.

monstercode	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	TiO <sub>2</sub> (%)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	S (%)	Sum. (%)	CaCO <sub>3</sub> berekend (%)
G4	70,63	8,51	0,363	1,19	0,054	3,48	1,60	0,24	4,94	0,122	0,00	91,14	6,22
G5	67,39	10,11	0,472	1,94	0,049	3,66	2,04	0,26	5,25	0,150	0,00	91,33	6,54
G6	73,52	7,11	0,279	0,82	0,043	3,52	0,96	0,22	4,56	0,122	0,00	91,15	6,28
R1	70,61	8,23	0,290	1,02	0,038	3,21	1,34	0,30	4,97	0,104	0,90	91,01	5,73
R2	76,14	7,82	0,443	0,94	0,010	0,36	0,49	0,47	4,88	0,761	0,28	92,60	0,65
R3	80,97	6,89	0,480	0,77	0,007	0,22	0,20	0,30	4,31	0,144	0,15	94,43	0,40
R4	71,80	9,86	0,527	1,54	0,038	2,03	1,17	0,22	5,35	0,176	0,06	92,76	3,62
Y1	72,18	7,12	0,315	1,02	0,058	3,62	1,46	0,22	4,46	0,135	0,00	90,59	6,47
Y2	76,50	6,94	0,319	1,00	0,048	1,81	0,72	0,22	4,54	0,141	0,00	92,24	3,23
Y3	62,15	6,16	0,296	1,13	0,055	10,44	1,32	0,19	3,82	0,111	0,02	85,68	18,64

Afbeelding 5.  
Detail van een bank met golfribbels, geïnterpreteerd als de bodem van een zwin, in het laagpakket van de geelgrijze banken in de groeve bij Udelfangen.



stroomribbels (Afb. 5) en de rijke fauna van mariene schelpdieren (o.a. *Myophoria* en *Pecten*) kan een deel van het gesteente worden beschouwd als een strandafzetting. De dikte varieert van enkele tientallen meters tot maximaal zestig meter. De zandsteen wordt naar boven toe geleidelijk kleiiger. In noordelijke richting wordt het kalkgehalte steeds hoger en neemt de klastische invloed af: het gesteente gaat daar uiteindelijk lateraal over in de alom bekende, schelphoudende Muschelkalk.

#### Lithologie en mineralogie

De gemiddelde grootte van de kwartskorrels (eigenlijk de zandmediaan) ligt rond de 100 micrometer (0,1 mm). Ongeveer 20% van de korrels is kleiner dan 63 micrometer, hetgeen betekent dat het gesteente een hoog gehalte aan siltdeeltjes (leem) bezit. Het kleigehalte (de fractie van de korrels < 2 micrometer) is laag en bedraagt meestal minder dan 1%.

Kwartskorrels, glimmers, veldspaten en kwartshoudende gesteentefragmenten domineren de mineralogie

van de Udelfanger zandsteen. Het bindmiddel is carbonaat. De glimmers bestaan hoofdzakelijk uit muscoviet (kleurloze glimmer), maar biotiet (donkere, zwarte glimmer) en chloriet (groene glimmer) zijn eveneens in het gesteente aanwezig. Kenmerkend voor het gesteente is de pigmentatie door kleine concentraties van mangaanoxide (in de vorm van grijze vlekjes).

Tabel 1 geeft de gemiddelde mineraalsamenstelling van de Udelfanger zandsteen volgens gegevens uit de literatuur. Tabel 2 toont de verdeling van de hoofdelementen, zoals die verkregen is uit geochemische analyse (röntgenfluorescentie spectrometrie, naar de Engelse term vaak afgekort tot XRF). Het kalkgehalte varieert sterk per bank en bedraagt gemiddeld 3 tot 6,5 %, maar kan lokaal oplopen tot circa 15 %. De carbonaten zijn deels gedolomitiseerd, wat wil zeggen dat een deel van de Ca-ionen door Mg-ionen is vervangen. In slijpplaten zijn soms de ruitvormige doorsneden van idiomorfe dolomietkristallen te herkennen. De kalk is secundair neergeslagen

tijdens de verhardingsgeschiedenis van het gesteente. De kalk is hoogstwaarschijnlijk afkomstig van de schelpen die in het gesteente plaatselijk veel voorkomen. Vanwege dit voorkomen van fossiele schelpen wordt het gesteente in Duitsland ook wel Muschelsandstein genoemd (Negendank 1983).

#### Grijze en groene banken

Uit een globale opname van het laagpakket in de twee eerder genoemde groeves konden we macroscopisch een pakket met sterk groen gekleurde banken onderscheiden en een onderliggend pakket van meer geelgrijze getinte zandsteenlagen. De bankdikte in het bovenste pakket varieert van enkele decimeters tot maximaal ongeveer 1,5 meter. Het onderste pakket bevat enkele banken van ongeveer 1 meter dik. Deze banken worden als bouwsteen benut (Afb. 4). Voor het onderzoek zijn zes monsters geselecteerd uit de groene en geelgrijze laagpakketten (Tabel 2).

De gelaagdheid is in een gesteente-fragment zonder hulpmiddelen niet altijd duidelijk zichtbaar, maar onder een microscoop is het meestal wel goed te zien (Afb. 7: slijpplaatje monster G4). Er komen soms dunne, meestal niet ver doorlopende silt/leemlaagjes voor, vooral in het pakket met de groene banken (Afb. 8: slijpplaatje monster G5).

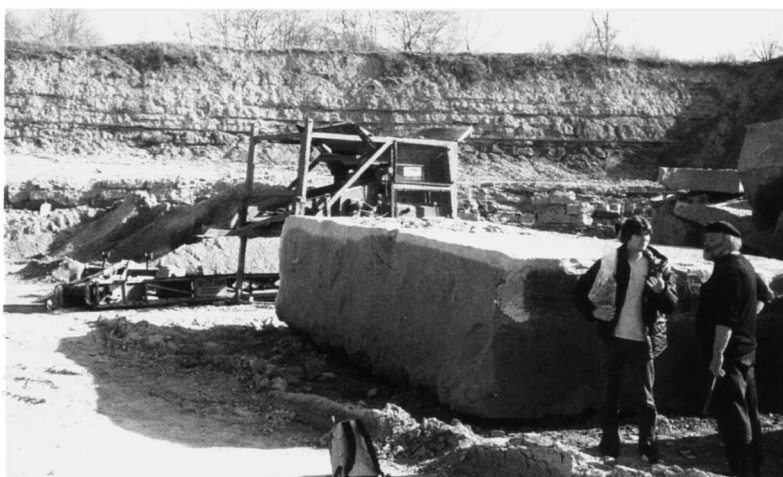
Verspreid in het gesteente komen hier en daar ook wat grotere leemproppen of leemlenzen voor van een paar centimeter dik. De precieze ligging van dit soort leemlenzen is moeilijk te voorspellen. Wanneer de natuursteen wordt uitgegraven kan het blok er homogeen uitzien, maar inwendig kunnen er altijd leemlenzen in voorkomen.

Uit het microscopisch onderzoek is gebleken dat het verschil tussen de geelgrijze en de groene banken vooral een verschil in korrelgrootte is, waarbij de geelgroene banken de meeste silt/leemdeeltjes bevatten (Dubelaar, 2003; 2004).

#### Fysische eigenschappen

Om een gesteente te kunnen beoordelen op zijn toepassingsmogelijkheden in de bouw is het van belang om een aantal fysische eigenschappen van het gesteente te kennen. Belangrijke parameters zijn ondermeer porositeit, permeabiliteit en poriëngrootteverdeling en daarmee

Afbeelding 6.  
Monoliet van Udelfanger zandsteen, met een gewicht van meer dan vijftien ton, aan de basis van het pakket met de geelgroene, leemhoudende banken.



samenhangende eigenschappen, zoals wateropname en drooggedrag. Ook geotechnische eigenschappen spelen daarbij een belangrijke rol, zoals thermische uitzetting, druk-, trek- en buigsterkte, vorstbestendigheid en slijtvastheid.

Het totale volume aan poriën in de tien monsters Udelfanger zandsteen varieert van 17 - 27% (Tabel 3). Ook de gegevens uit de literatuur wijzen op soortgelijke waarden van de porositeit van de zandsteen (Kraus 1985; Grimm 1990). De doorstroming (permeabiliteit) in de zandsteenmonsters is goed (Tabel 3). Weliswaar hebben de meetgegevens in deze tabel betrekking op gas als medium en gelden voor de doorstroming van water in het algemeen wat lagere waarden, maar als indicatie van de verschillen in doorstroming zijn deze gegevens niettemin bruikbaar.

De doorlaatbaarheid wordt bepaald door verschillende factoren. Het aandeel kleine poriën (< 1 micrometer) waarin het water door capillaire zuigkrachten lang kan worden vastgehouden, het kleigehalte in de verbindingskanalen tussen de poriën en de vorm van deze verbindingskanalen bepalen in belangrijke mate de doorstroming van vloeistoffen door het gesteente. Ook de eventueel opgeloste zouten in het poriënwatersysteem hebben invloed op de mate van doorstroming. Zoals te verwachten is, komen de laagste waarden van de permeabiliteit voor in de monsters met de lemige niveaus uit het laagpakket van de geelgroene banken (monsters G4 en G5, Tabel 3).

Gegevens uit de literatuur laten zien dat de Udelfanger zandsteen zeer snel water op kan zuigen en dit ook



Afbeelding 7. Slijpplaatje van de Udelfanger zandsteen, monster G4, met stapeling van glimmerblaadjes op kwartskorrels en tussengelegen carbonaatcement. Microscopiebeeld met ongekruiste (onder) en gekruiste nicols. Basis foto bestrijkt ongeveer 2,5 mm.

relatief snel weer afgeeft (Kraus 1985). Volgens Grimm (1990) bedraagt de wateropname van het gesteente onder atmosferische druk 6,02 (gewichts) % en onder vacuüm 9,55 (gewichts) %. Een belangrijk deel van de poriën wordt dus onder atmosferische druk niet door het water bereikt, maar blijft met lucht gevuld.

Uit de praktijk en uit laboratoriumtesten is gebleken dat poreuze ge-

steenten zoals zandsteen en sommige typen kalksteen vooral gevoelig voor (vorst-)verwerking zijn als het aandeel microporiën (poriën < 1 micrometer) in het totale poriënvolume groot is. De Udelfanger zandsteen neemt met ongeveer 4,4 vol. % microporiën op een totaal aan poriënvolume van ongeveer 20 vol. % geen al te ongunstige positie (Kraus 1985) en de vorstbestendigheid van de zandsteen kan daarom als vrij gunstig worden beoordeeld.

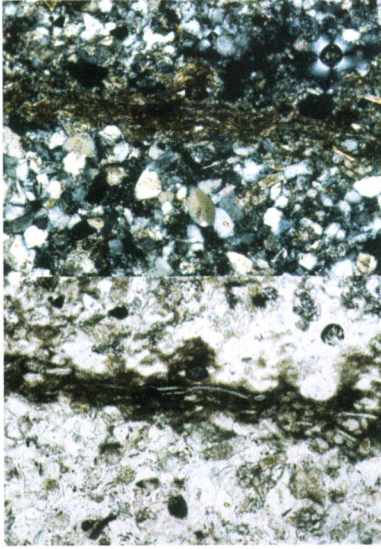
Tabel 3 – Porositeit en permeabiliteit van de tien monsters Udelfanger zandsteen. Volgens Grimm (1990) kan een zandsteen met een permeabiliteit > 0,1 milliDarcy als 'goed doorlatend' worden beschouwd. Gegevens uit Dubelaar 2003.

Monsternr.	Porositeit (Vol.%)	Permeabiliteit (milliDarcy)	Gem. druk (atm.)	Dichtheid (g/ml)
R1	20.4	64.7	1.62	2.63
R2	24.1	153	1.43	2.61
R3	25.7	274	1.18	2.62
R4	22.5	65	1.70	2.64
Y1	23.3	155	1.41	2.63
Y2	27.0	376	1.18	2.65
Y3	21.5	--	--	--
G4	19.5	8.28	1.52	2.65
G5	17.5	0.75	1.64	2.66
G6	23.2	183	1.33	2.64

Opvallend is het grote verschil in drukvastheid van het droge en het natte gesteente. De druksterkte neemt af van 533 kg/cm<sup>2</sup> in droge toestand naar 330 kg/cm<sup>2</sup> in natte toestand. In vergelijking met bijvoorbeeld de afname van de druksterkte van de eveneens beproefde Obernkirchener zandsteen (droog: 858 kg/cm<sup>2</sup>, nat: 761 kg/cm<sup>2</sup>) betekent dit een duidelijk verschil in afname van de druksterkte. Uit een zoutkristallisatietest met Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> in het laboratorium is gebleken dat de Udelfanger zandsteen relatief snel, al na 14 cycli, materiaalverlies ('afzanding') gaat vertonen (Kraus 1985).

Afbeelding 8.

Slijpplaatje van de Udelfanger zandsteen, monster G5, met stapeling van glimmerblaadjes op kwartskorrels en tussengelegen carbonaatcement. Microscopiebeeld met ongekruste (onder) en gekruiste nicols. Basis foto bestrijkt ongeveer 2,5 mm.



### Verweringsverschijnselen

De Udelfanger zandsteen behoort niet tot de meest duurzame typen zandsteen die in Nederland zijn gebruikt. Vaak treedt bij blootstelling aan de buitenlucht afzanding op en verweert de steen in dunne, schilferachtige laagjes, die min of meer evenwijdig aan het laagoppervlak afbladderen. Hieronder geven we aan welke eigenschappen dit verschijnsel veroorzaken en hoe het verweringsproces in zijn werk gaat.

De Udelfanger zandsteen is een ge-laagd sediment met een afwisseling van kwartsrijke laagjes met glimmerrijke laagjes. Door het verschil in vorm en gewicht vindt bij de sedi-

mentatie een natuurlijke scheiding plaats van de min of meer ronde, zwaardere kwartskorreltjes en de plaatvormige, lichtere glimmers. Klei komt weinig voor in het gesteente, leem/silt wel en dat in duidelijke laminae of als dunne lenzen.

De stapeling van de kwartsen oogt hecht, maar het gesteente is vermoedelijk nooit al te diep begraven geweest. Er heeft in de loop van de tijd weinig nieuwvorming van kwarts plaats gehad en vergroeiingen van de kwartskorrels treden maar zelden op.

De oriëntatie van de glimmerblaadjes parallel aan het laagvlak geeft het gesteente een preferente spijtrichting. De aanwezigheid van (dolomiti-sche) carbonaat zorgt wel voor enige binding tussen de korrels. Maar door uitspoeling en/of oplossing kan in de loop der tijd, bij voortdurende blootstelling van het gesteente aan weer en wind, de samenhang tussen de componenten worden verbroken.

Het voorkomen van wat zwavel in de kern van de R-monsters (de monsters uit Rotterdam; zie Tabel 2) – en alleen in die monsters – wijst waarschijnlijk op gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) of een ander zout, bijvoorbeeld natriumsulfaat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Dit doet vermoeden dat oplossingsprocessen en kristallisatie van zouten een belangrijke rol spelen in het verweringsproces van de Udelfanger zandsteen. Hiermee kunnen we ook het geringere gehalte aan carbonaat in de monsters R2 en R3 verklaren. In deze monsters is het carbonaat waarschijnlijk tijdens de verwerking met het regenwater uitgespoeld, hetgeen de desintegratie van het gesteente heeft versneld.

Op plaatsen aan een gebouw waar sterke turbulentie van wind optreedt, kunnen de onderdelen van Udelfanger zandsteen hiervan te lijden hebben (Slinger et al. 1980). Uit onderzoek aan het Teylers Museum in Haarlem blijkt dat vooruitspringende delen (consoles) van Udelfanger zandsteen, na honderd jaar blootstelling aan de wind, geheel zijn 'verwaaid' (Afb. 9; Dubelaar, 1998). Winderosie is evenwel niet de primaire oorzaak van het verval. Het is aannemelijk dat verwerking door zoutkristallisatie, in dit geval gevoed door de zilte zeewind, een belangrijke rol speelt in het verweringsproces. Ook hier heeft ongetwijfeld uitspoeling van het kalkige

Afbeelding 9.

Consoles van Udelfanger zandsteen, geplaatst in 1890, aan de voorgevel van Teylers Museum (opname uit 1990). De consoles vooraan zijn door zoutkristallisatie uit elkaar gedrukt en daarna met de wind afgevoerd.



bindmiddel mede bijgedragen aan het verval.

De petrofysische eigenschappen van de Udelfanger zandsteen (hoge porositeit en goede doorlatendheid) zorgen voor een snelle opname en afgifte van water. Dit duidt op een geringe gevoeligheid voor vorstverwering. In de gesteentebanken die rijk zijn aan lemige niveaus, is de doorstroming evenwel minder goed en wordt de verblijftijd van het water verlengd. Dit maakt het gesteente gevoeliger voor vorstschade.

Het kleigehalte en de daaraan gekoppelde zwel- en krimpverschijnselen (door opname en afgifte van water) lijken bij de verwering van de Udelfanger zandsteen geen belangrijke rol te spelen, omdat de zandsteen nauwelijks klei bevat.

### Steenkeuring en duurzaamheid

Uit inventarisaties van de in Nederland gebruikte Udelfanger zandsteen komt duidelijk naar voren dat steen van zeer wisselende kwaliteit is gebruikt (Kramer & Feenstra zj, Dubelaar, 1984, 1998). Restauraties in Udelfanger zandsteen kunnen alleen dan succesvol zijn als de te gebruiken steen, en wel alle blokken van een te leveren partij, in de groeve worden gekeurd. Strikte keuringsprotocollen bestaan op het ogenblik niet, onder meer omdat de zandsteen in Nederland slechts bij uitzondering mag worden toegepast vanwege het gevaar van silicose ('stoflongen').

Bij het keuren van de steen dient te worden gelet op de volgende punten:

- het voorkomen van leemlagen en leemlenzen
- de korrelgrootteverdeling
- het al of niet sterk gelaagd zijn van het gesteente
- het voorkomen van laminae, rijk aan grove glimmerblaadjes
- het gehalte aan carbonaat/dolomiet.

Het is aan te bevelen om steekproeven te nemen en monsters in het laboratorium te analyseren op mineralogische samenstelling, druksterkte, porositeit en permeabiliteit.

Hoewel de druksterkte van droge monsters Udelfanger zandsteen niet onder doet voor die van veel andere typen zandsteen, zijn met water verzadigde monsters veel minder goed bestand tegen drukbelasting. Het 'verkeerd' plaatsen (met de gelaagd-



Afbeelding 10. Sterk verweerde Udelfanger zandsteen aan het portaal van de Pandhof naast de Domkerk in Utrecht. Subtiële verschillen in korrelgrootte en verkitting resulteren in differentiële verwering, waardoor de sedimentaire gelaagdheid wordt geaccentueerd.

heid verticaal in plaats van horizontaal; in steenhoutertermen: 'tegen het leger') van de natuursteen, in bijvoorbeeld drukbelaste zuilen en kolommen, is niet wenselijk. Dit kan snel tot schade leiden, vooral als het gepaard gaat met uitspoeling van het carbonatische bindmiddel.

De uit de praktijk bekende 'levensduur' van vijftig tot ongeveer tweehonderd jaar blootstelling aan de buitenlucht, zal vermoedelijk ook voor de tegenwoordig beschikbare Udelfanger zandsteen gelden. De bouwsteen is na die periode misschien niet altijd 'op', maar zal dan wel sterk getekend zijn door de verweringsprocessen (Afb. 10). De met zorg gekozen, kwalitatief meest hoogwaardige gesteenteblokken hebben mogelijk nog een wat langere levensduur.

### Dankwoord

De Rijksdienst voor de Monumentenzorg in Zeist verleende toestemming voor publicatie van de resultaten van het onderzoek. Albert Hebing (Panterra Geoconsultants), Otto Stiekema (Universiteit Utrecht), Arno Mulder & Wim Verwaaal (TU Delft), Erik van Vilsteren en Bertil van Os (TNO-NITG) worden hartelijk bedankt voor de ondersteuning bij het uitvoeren van de verschillende analyses.

### Literatuur

Dubelaar, C. W., 1984. Steenrijk Amsterdam. Een geologische stadswandeling, KNNV Hoogwoud 88p.

Dubelaar, C.W., 1998. Natuursteen in het centrum van Haarlem. Intern rapport Rijksgeologische Dienst, Open Monumentendagen, september 1998, 7p.

Dubelaar, C.W., 2003. Udelfanger zandsteen. Geologisch onderzoek van een aantal monsters uit een tweetal groeven bij Udelfangen (Duitsland) en van monsters afkomstig van het exterieur van de Remonstrantse kerk in Rotterdam. TNO-rapport NITG 03-134-B, 28 p.

Dubelaar, C.W., 2004. Mineralogy, petro-physical properties and durability of the Udelfangen sandstone (*Muschelsandstein*, Lower Muschelkalk, Germany), In: Prikryl, R. (ed.). Dimension Stone 2004. New Perspectives for a Traditional Building Material, Proceedings of the International Conference on Dimension Stone 2004, 14-17 June, Prague, Czech Republic, p. 23-28.

Grimm, W.D., 1990. Bildatlas Wichtiger Denkmalgesteine Bundesrepublik Deutschland, Munchen.

Kramer, A. & Feenstra, F.J., z.j. Schade aan natuursteen in Nederlandse monumenten. RDMZ/SDU, Den Haag, 104 p.

Kraus, K., 1985. Experimente zur immissionsbedingten Verwitterung der Naturbausteine des Kölner Doms im Vergleich zu deren Verhalten am Bauwerk. Dissertation Universität Köln, 210 p.

Negendank, J., 1983. Trier und Umgebung. Sammlung Geologische Führer, Band 60, 195p.

Rijksdienst voor de Monumentenzorg Zeist Info Restauratie en Beheer, nr. 29, 2002. Verwering van natuursteen in het exterieur.

Slinger, A. Janse, H. & G. Berends, 1980. Natuursteen in Monumenten. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist, 120 p.