

# De Bentheimer zandsteen: oliereservoirsteente en bouwsteen

Timo G. Nijland, Wim Dubelaar, Rob van Hees & Thomas van der Linden

T.G. Nijland, R.P. J. van Hees & T. J. M. van der Linden, TNO Bouw, Postbus 49, 2600 AA Delft

C.W. Dubelaar, TNO-NITG, Postbus 80015, 3508 TA Utrecht

**Eén van de meest interessante gesteenten in Nederland, als we het Nederlands-Duitse grensgebied daar voor het gemak even bij nemen, is de Bentheimer zandsteen. Dit unieke gesteente onderscheidt zich doordat het in ons land sinds vele eeuwen op grote schaal is toegepast als bouwsteen, terwijl het ook een belangrijk oliereservoirsteente is. Dit lijkt tegenstrijdig. Immers, waar porositeit en permeabiliteit voor een reservoirsteente van groot belang zijn, kunnen deze eigenschappen juist een bedreiging vormen voor de duurzaamheid van het bouw materiaal, en daarmee voor de integriteit van bouwwerken in hun geheel. Bij de Bentheimer zandsteen is dit echter niet het geval.**

De Bentheimer zandsteen van het Nederlands-Duitse grensgebied is afgezet in één van de Onder-Krijt bekkens ten noorden van het Londen-Brabant massief en het Rijnse massief. De bekkens zijn overwegend marien en vertonen een noordwest-zuidoost oriëntatie. Ze zijn ontstaan doordat breuken uit het Perm en Carboon gereactiveerd werden tijdens de Laat-Kimmerische orogene fase in de Boven-Jura. Behalve een horizontale verplaatsing, vond langs deze

breuken ook daling van de bekkens plaats (Ziegler 1990). Door de daling werden de aanvankelijk brak-lacustriene bekkens steeds mariener. Aan de rand van één van deze bekkens, en dus onder ondiep mariene omstandigheden, is in het Valanginien (Onder-Krijt) de Bentheimer zandsteen afgezet.

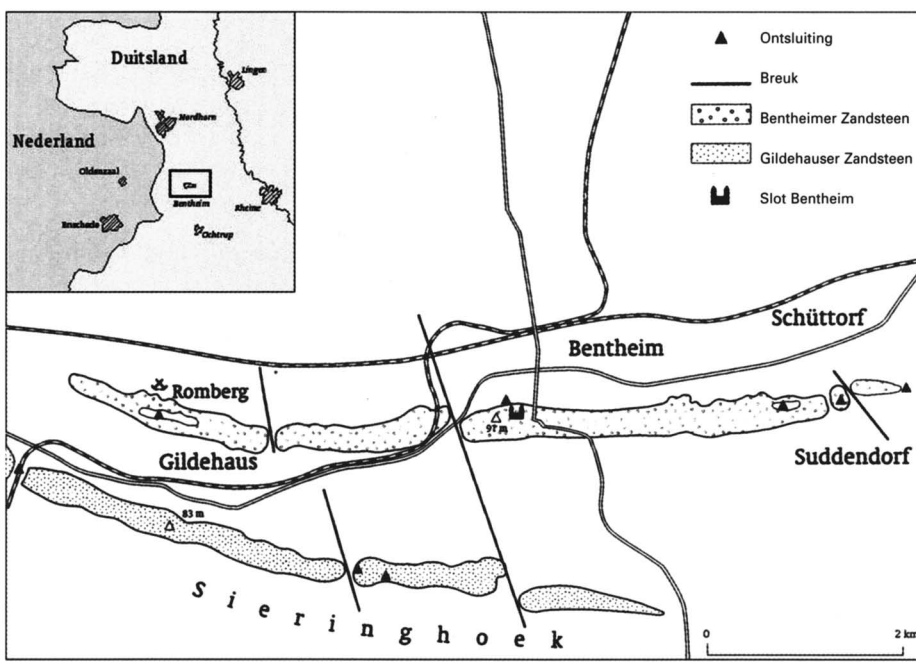
De Bentheimer zandsteen vormt een pakket dat in het noorden en oosten circa 60 meter dik is en naar het zuiden

den en westen afneemt tot minder dan 20 meter (Stadler 1998). De zandsteen is ontsloten op de zuidflank van een oost-west lopende rug van ongeveer 10 kilometer lengte (Afb. 1), een deel van het zogenaamde Bentheimer Zadel (in oudere literatuur ook wel Bentheim – Isterberg Zadel of Schüttorfer Zadel genoemd). Op de lijn Gildehausen Bad Bentheim komt de Bentheimer zandsteen in een serie ontsluitingen voor, terwijl zo'n 1 a 1½ kilometer zuidelijker de iets jongere Gildehauser zandsteen dagzoomt (Kemper 1976, 1992; Stadler 1998).

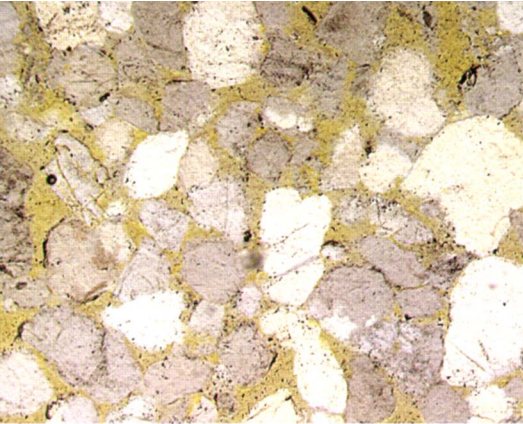
## Stratigrafie en petrografie

De Bentheimer zandsteen vertoont een afwisseling van goed gesorteerde fijnkorrelige lagen en slechter gesorteerde middelkorrelige lagen, met inschakelingen van kalkzandsteen en siderietknollen met wat klei ('Toneisenstein'). Een 1 tot 4 meter dikke kleiige tussenlaag, die door het hele pakket te vervolgen is, scheidt de eenheid in de Boven- en Onder-Bentheimer zandsteen. De Boven-Bentheimer zandsteen (> 6 m dik) wordt ook wel flaserzandsteen genoemd en is fijnkorrelig, dicht en relatief dun gebankt; dunne kleibandjes komen op vele niveaus voor. De Onder-Bentheimer zandsteen valt uiteen in een Basisbank (> 12 m dik), met daarop een heterogene zone met metersdikke zandsteenbanken en klei-inschakelingen, en bovenop een laag Hoofdzandsteen van meer dan 20 meter dik (Kemper 1968, 1992; Wittenhagen 1980). In de typelokaliteit (groeve Romberg bij Gildehaus) zijn al deze pakketten te onderscheiden, maar dit is niet in het hele Bentheimer Zadel het geval. De zandsteen bevat lokaal gesteentefragmenten (kwartsiet, vuursteen) en bioturbate zones, soms met gepyritiseerde graafgangen (Stadler 1998).

De zandsteen bestaat hoofdzakelijke uit kwarts (Afb. 2), wat ook blijkt uit de chemische samenstelling die voor meer dan 97% uit SiO<sub>2</sub> bestaat. De kwarts is meestal helder, vertoont soms unduleuze uitdoving en heeft insluitsels van zirkoon of toermalijn. Naast zirkoon en toermalijn treden ook muscoviet, illiet, glauconiet, vaak sterk gecorrodeerde veldspaat, rutiel, stauroliet, epidoot en kyaniet op als accessorische mineralen (Füchtbauer 1955, Grimm 1990). Soms is goethiet aanwezig (Wittenhagen 1980, Becker 1987). In de kleifraction kan ook calciëet en dolomiet voorkomen, zoals in het Bramberge veld (Wittenhagen 1980).



Afb. 1. Voorkomen van de Bentheimer zandsteen en Gildehauser zandsteen in de omgeving van Gildehaus, Bentheim en Schüttorf (sterk vereenvoudigd naar Kemper 1976). In een kleine groeve op de Romberg (Afb. 4) wordt hedentendage nog Bentheimer zandsteen gewonnen.

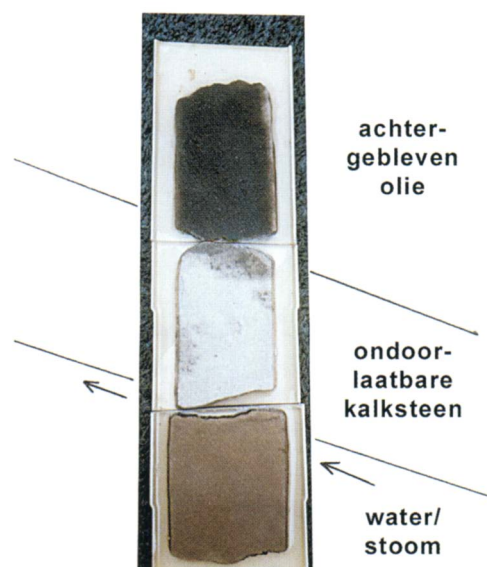


Afb. 2. Microscopische opname van Bentheimer zandsteen. Het gele materiaal tussen de kwartskorrels is hars waarmee de zandsteen geïmpregneerd is. Beeldveld is 2,7 x 1,8 mm.

De klastische korrels worden vooral door gesutureerde (in elkaar gegroeide) korrelcontacten en aangroei van de kwartskorrels bijeengehouden, aangevuld met recentere vorming van een weinig kaoliniet-cement in de poriën. Het kleigehalte bedraagt doorgaans minder dan 1% (Füchtbauer 1955, Grimm 1990) maar is lokaal aanzienlijk hoger. In een deel van de Bentheimer zandsteen is de illiet waarschijnlijk detritisch, omdat het mineraal ontbreekt in de poriën. In de Boven-Bentheimer zandsteen treedt echter ook diagenetische, haarvormige illiet op (Stadtler 1998) en onregelmatige stapelingen van illiet-montmorilloniet.

### De Bentheimer zandsteen als oliereservoirgesteente

In 1736 werd bij Bad Bentheim het eerste 'Steinkohlenbergwerk' opgericht, dat tot in de tweede helft van de 19<sup>e</sup> eeuw in productie bleef (Bentz 1950). In werkelijkheid ging het niet om steenkool maar om asfaltiet (sterk ingedikte aardolie; Credner 1862). Na de ontdekking van olie in gesteenten van Jura-ouderdom rond Hannover, werd aan het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw ook rond Bad Bentheim naar olie gezocht. De boringen waren aanvankelijk niet succesvol, maar in 1938 leverde de boring Norddeutschland 1 een gasvoorkomen in de Zechstein op, en, na geofysisch onderzoek, werd in de boring Lingen 2 in 1941 voor het eerst aardolie aangeboord (Stadtler 1998). De olie komt voor in de (kalk)zandstenen van de Boven-Jura en het Onder-Krijt, en is afkomstig uit de eronder gelegen Onder-Jura en het 'Wealden' (Stadtler 1998). De porositeit van 20 – 28% en permeabiliteit oplopend tot 10 Darcy, maken met name de bovenste Bentheimer zandsteen een goed reservoirsteente, al neemt in bijvoorbeeld het Bramberge veld lokaal het kleigehalte aanzienlijk toe ten opzichte van de Bentheimer zandsteen bij Bad Bentheim (Wittenhagen 1980, Stadtler 1998).



Afb. 3. Boorkern met achtergebleven olie uit de Bentheimer zandsteen (Foto NAM, Assen).

In Nederland werd in 1943 bij Schoonebeek aardolie aangeboord in Onder-Krijt (Valanginien) zandstenen die een voortzetting zijn van de zandsteen die bij Bad Bentheim aan het oppervlak komt (Afb. 3 en 4). De productie startte in 1945 en nam daarna snel toe. In 1957 bereikte de gemiddelde dagproductie met 3700 m<sup>3</sup> een maximum. Het Schoonebeek veld was het grootste olieveld op het West-Europese continent. Het veld is echter omstreeks 1995 uit productie genomen.

### De Bentheimer zandsteen als bouwsteen

Nog voor de toepassing als bouwsteen, werd de Bentheimer zandsteen gebruikt voor beeldhouwwerken en sacrale gebruiksvoorwerpen. Het uit de 11<sup>e</sup> eeuw daterende beeldhouwwerk 'Herrgott von Bentheim' bij het kasteel in Bad Bentheim is uit deze steen gehakt. In de 12<sup>e</sup> en 13<sup>e</sup> eeuw worden ook op vrij grote schaal doopvonten en ook een aantal wijwatervaten uit de Bentheimer zandsteen vervaardigd. Waar de vroege doopvonten vaak nog fraaie exemplaren van steenhouwerskunst zijn, dragen latere producten de sporen van 'massaproductie'. Doopvonten van Bentheimer zandsteen zijn aanwezig in veel Romaanse kerken in de Eems-Dollard regio, zoals in de kerken van Bierum en Oosterwijtwerd in Groningen, en in Norg, Roden, Vledder en Vries in Drenthe (Van Deijk 1993).

De Bentheimer zandsteen is op grote schaal toegepast in de muren van kerken en stadhuizen en in kademuren, zowel als dragende steen als in ornamenten. De oudste bekende toepassing van de Bentheimer zandsteen als



Afb. 4. Ontsluiting Bentheimer zandsteen in de Groeve Romberg: massieve strandafzettingen met 'hard grounds' (Foto NAM, Assen).





Afb. 5. De kerk van Delden. Deze kerk is grotendeels uit Bentheimer zandsteen

dragende bouwsteen is die voor het slot in Bad Bentheim. Het slot duikt voor het eerst op in een oorkonde van 1116, en de bouw ervan is waarschijnlijk in de 12<sup>e</sup> eeuw begonnen (Götter 1964, Becker 1987). Tot het eind van de 14<sup>e</sup> eeuw werd de Bentheimer zandsteen buiten Twente niet als bouwsteen toegepast, maar vanaf die tijd neemt het gebruik voortdurend toe, en eind 15<sup>e</sup> eeuw bereikte de handel een grote bloei (Voort 1968, Slinger et al. 1980). Na de leverantie van 'Bentemer styens' voor de Dom in Utrecht in 1450 vindt ook toepassing in West-Nederland plaats; de stenen werden door het bouwmeestersgeslacht Keldermans naar Mechelen verscheept, waar ze vermoedelijk werden bewerkt voordat ze in West-Nederland werden gebruikt (Slinger et al. 1980). De opkomst van de Bentheimer zandsteen in de loop van de 15<sup>e</sup> eeuw was mede het gevolg van de hoge toltarieven op de Rijn, waardoor de tot dan toe veel toegepaste Drakenvelder (Drachenfels) trachiet te duur werd. De Bentheimer zandsteen die over de tolvrije Vecht en het Zwarte Water aangevoerd kon worden, drong samen met de Bamberger kalksteen uit het Münsterland de dure Drakenvelder uit de markt (Slinger et al. 1980).

De winning van de Bentheimer zandsteen was lang een monopolie van de graven van Bentheim, die tot in de 17<sup>e</sup> eeuw alle groeves bezaten (Voort 1968). Voor de Nederlandse situatie is de overeenkomst van belang met de 'Hollandse Steenhandelsmaatschappij' uit 1646 die tot het midden van de 18<sup>e</sup> eeuw in stand bleef. Verschillende Nederlandse steden zoals Zwolle en Deventer fungeerden als stapelplaat-

sen. De overeenkomst regelde de levering van maximaal 2265 m<sup>3</sup> per jaar, maar na 1700 werd veelal jaarlijks slechts ongeveer 700 m<sup>3</sup> afgenomen al volgde in het midden van de 19<sup>e</sup> eeuw een kleine opleving tot circa 820 m<sup>3</sup> (Voort 1968). Sindsdien is de afzet steeds verder teruggelopen. Heden ten dage is op de Romberg bij Gildehaus (Afb. 4) nog slechts één groeve in productie.

Als bouwsteen is de Bentheimer zandsteen tot ver buiten het Nederlands-Duitse grensgebied toegepast, waarschijnlijk tot in Denemarken toe (Becker 1987). In ons land is de Bentheimer zandsteen ondermeer toe-



Afb. 6. Bentheimer zandsteen toegepast in St. Janskatherdaal te 's-Hertogenbosch, deels vervangen bij 19e eeuwse restauraties. De witte steenfragmenten tussen en boven de grijszwarte zandstenen zijn Franse kalkstenen uit latere restauraties.





Afb. 7 (links). De toren van de Nieuwe Kerk te Delft, met op de uit baksteen opgetrokken onderbouw de natuurstenen achtkante geledingen.

Zoals al uit de petrografische beschrijving is gebleken, is de Benthheimer zandsteen een erg zuivere zandsteen, hetgeen wil zeggen dat het gesteente vooral uit kwarts bestaat. Veldspaten, carbonaten en kleimineralen zijn slechts in zeer geringe hoeveelheden aanwezig. Dit betekent dat de Benthheimer zandsteen als bouwsteen uitermate weervast is: de steen is goed bestand tegen verwerking en erosie. Ook na de blootstelling aan het stadsklimaat van vele eeuwen zijn sculpturen uit Benthheimer zandsteen, zoals die van het Paleis op de Dam, amper aangetast. Het zijn hoofdzakelijk uitstekende, fijn bewerkte delen die schade vertonen in de vorm van afbladdering (Dubelaar 1989). Bij de restauratie van het paleis in de jaren 1930 zijn delen van het oorspronkelijke Carrara marmer in het timpaan vervangen door Benthheimer zandsteen (Dubelaar, 1992). De Benthheimer zandsteen heeft een grote porositeit (19 – 30 vol.%) en een hoge permeabiliteit. De hoge doorlatendheid wordt veroorzaakt doordat de poriën met maar heel weinig secundaire mineralen gevuld zijn en er weinig microporiën (poriën kleiner dan 5 micron) zijn. Daardoor droogt de steen snel na een regenbui en kan het water weinig schade aanrichten. Tot het Zandsteenbesluit van 1951, waarin de toepassing van zandsteen verboden werd, is de steen dan ook bij nieuwbouw toegepast. Hierna werd de steen bij restauraties vervangen door een scala aan gesteenten

gepast in Alkmaar (St. Laurenskerk), Amsterdam (Paleis op de Dam, Oude Kerk, Nieuwe Kerk, Westerkerk, Zuiderkerk), Bergen op Zoom (St. Gertrudis kerk), Brielle (St. Catharijnekerk), Culemborg (stadhuis), de kerken van Borne en Delden; Afb. 5), Delft (Hyppolytuskerk, Nieuwe Kerk, Oude Kerk, stadhuis), Denekamp (Havezathe en watermolen Singraven, St. Nicolaaskerk), Den Haag (Koninklijke Bibliotheek, Mauritshuis), Deventer (stadhuis), Enschede (St. Maartenskerk), Goes (Grote Kerk), Groningen (Martinitoren), Haaksbergen (Pankratiuskerk), Haarlem (Vleeshal, St. Bavokerk), 's Hertogenbosch (stadhuis, St. Jans kathedraal; Afb. 6), Leiden (Hooglandse Kerk), Middelburg (stadhuis), Oldenzaal (St. Martinustoren, Palte Huis, St. Plechelmus basiliek), Ootmarsum (RK kerk), Rotterdam (St. Laurenstoren), Utrecht (Dom), Veere (Grote Kerk), Weerselo (Het Stift), Zutphen (Wijnhuistoren) en Zwolle (St. Michaeliskerk).



Afb. 8 (rechts). Zwartverkleuring van Benthheimer zandsteen in de Nieuwe Kerk te Delft. Merk op dat de voor 1486 aangebrachte Ledesteen (rechts op de foto), een kalkzandsteen uit het Eoceen van Vlaanderen, de verkleuring niet vertoont.

(ondermeer hardsteen, Muschelkalksteen, Westerwald trachiet, de Franse kalksteen Vaurion, bazalt van Niedermendig en Peperino tuf uit Italië; Slinger et al. 1980). Het bewerken of verwerken van zandsteen in het kader van het behoud van monumenten is inmiddels in sommige gevallen weer toegestaan (Monumentenwet 1988).

Een typische eigenschap van de Bentheimer zandsteen is de zwartverkleuring bij verwerking (Afb. 6 - 8). Aanvankelijk was men hiervan niet op de hoogte. In de Sebastiaanskapel en Smitskapel van de Oude Kerk te Amsterdam is de steen als 'speklaag' (dunne band van licht gekleurde natuursteen tussen baksteen of andere, donker getinte natuursteen) toegepast, een effect dat inmiddels verloren is gegaan (Slinger et al. 1980). Deze zwarte verweringslaag is soms 1 – 2 millimeter dik, maar meestal aanzienlijk dunner. Vaak wordt gesuggereerd dat de vorming van deze laag sterk afhankelijk is van de oriëntatie van de zandsteen in de gevel, met als bekendste voorbeeld de Nieuwe Kerk te Delft (Afb. 7). Op de bakstenen vierkante onderbouw van de toren zijn achtkantige geledingen opgetrokken uit natuursteen. Hiervan is de bovenste geleding vooral aan de westzijde sterk zwart verkleurd (Afb. 7). De onderste geledingen zijn in de periode 1430-1447 opgetrokken uit Ledesteen, een kalkzandsteen uit het Eoceen van Vlaanderen. Daarop is in 1494-1495 een verhoging gebouwd uit Bentheimer zandsteen (Slinger et al. 1980). Nadere beschouwing leert dat de grens tussen Ledesteen en Bentheimer zandsteen ongeveer diagonaal door deze verhoging loopt, en dat de Bentheimer zandsteen wel, en de Ledesteen niet zwart verkleurd is (Afb. 8). Eén en ander zou mede verband kunnen houden met herstelwerkzaamheden na de grote brand van 1536 (Van der Kloot Meijburg 1941).

De ervaringen in de praktijk suggereren duidelijk dat micro-organismen bij de zwartverkleuring een belangrijke rol spelen. Zo wordt in de Bestekstermen Natuursteen aanbevolen om zandsteen in te smeren met karnemelk (activiteit van melkzuurbacteriën), opdat zij sneller verkleurt en de gevel eerder een homogeen uiterlijk krijgt (Rijksdienst voor de Monumentenzorg 2001). Uit recent licht- en elektronenmicroscopisch en chemisch onderzoek blijkt dat de rol van micro-organismen inderdaad belangrijk is. In de verweringslaag van de diepst zwart gekleurde zandstenen

zijn vaak algen (resten) aanwezig (Nijland et al. 2002). De zwartverkleuring is echter het resultaat van de inwerking van verschillende processen. Naast de aanwezigheid van micro-organismen zoals algen en schimmels, speelt de vorming van gips een belangrijke rol; mede door het gips worden ook donkere, door de lucht getransporteerde deeltjes zoals roet en vlieg-as ingevangen. Daarnaast speelt neerslag van ijzerverbindingen onder invloed van oplossings- en neerslagprocessen in de steen een rol (Dubelaar et al. 2003).

### Dankwoord

H. Frikken van de NAM te Assen stelde de foto's in afbeeldingen 3 en 4 beschikbaar. Roel van der Kraan (TNO-NITG) verzorgde de vormgeving van afbeelding 1.

### Literatuur

Becker, U., 1987. Zur Geologie des Bentheimer Sattels (Nordteil; TK 3608, Niedersachsen); sowie petrologische, gesteinsphysikalische und bausteingeschichtliche Untersuchungen des Bentheimer Sandsteins (Valangin). Niet gepubliceerde Diplomarbeit, Philipps-Universität Marburg, 182 pp.

Bentz, A., 1950. Zur Geschichte der Emsland-Ölfelder. Zeitschrift der deutschen geologische Gesellschaft 102, p. 1-7.

Credner, H., 1862. Über die geognostischen Verhältnisse der Umgebung von Bentheim und über das Vorkommen des Asphaltes daselbst. Jahrbuch naturhistorisches Gesellschaft Hannover 11, p. 31-42.

Deijk, A. van, 1993. Romaans vademecum. Profiel, Bedum, 144 pp.

Dubelaar, C.W., 1989. Een geologische kijk op het Koninklijk Paleis te Amsterdam. Natuursteen 42, p. 97-101.

Dubelaar, C.W., 1992. Een lappendeken van marmer en zandsteen. Grondboor en Hamer 46, nr. 3, p. 71-74.

Dubelaar, C.W., Nijland, T.G., Hees, R.P.J. van & Linden, T.J.M., 2003. Verwerking en zwartverkleuring van zandsteen. TNO-rapport NITG 02-147-B, 85 pp.

Füchtbauer, H., 1955. Zur Petrographie des Bentheimer Sandsteins im Emsland. Erdöl und Kohle 8, p. 616-617.

Götter, H., 1964. Beitrag zur Baugeschichte der Burg Bentheim. Jahrbuch des Heimatvereins der Grafschaft Bentheim 64, p. 96-100.

Grimm, W.D., 1990. Bildatlas wichtiger Denkmalgesteine der Bundesrepublik Deutschland. Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Arbeitsheft 50.

Kemper, E., 1968. Einige Bemerkungen über die Sedimentationsverhältnisse und die fossilen Lebensspuren des Bentheimer Sandsteins (Valanginium). Geologisches Jahrbuch 86, p. 49-106.

Kemper, E., 1976. Geologischer Führer durch die Grafschaft Bentheim und die angrenzenden Gebiete. Nordhorn-Bentheim, 206 pp.

Kemper, E., 1992. Die tiefe Unterkreide im Vechte-Dinkel-Gebiet. Stichting Staringmonument, Losser, 95 pp.

Kloot Meijburg, L.H.H. van der, 1941. De Nieuwe Kerk te Delft. Haar bouw, verval en herstel. W.L. & J. Brusse, Rotterdam, 279 pp.

Nijland, T.G., Dubelaar, C.W., Hees, R.P. J. van & Linden, T. J. M. van der, 2002. Zwartverkleuring van zandsteen. Syllabus TNO Bouw – Nederlandse Vereniging van Monumentenzorgers, studiedag 'Behoud en herstel van natuursteen', Driebergen.

Rijksdienst voor de Monumentenzorg, 2001. Bestekstermen natuursteen. CD-ROM, ook te vinden op: [http://www.monumentenzorg.nl/bestekstermen\\_natuursteen/index.html](http://www.monumentenzorg.nl/bestekstermen_natuursteen/index.html)

Slinger, A., Janse, H. & Berends, G., 1980. Natuursteen in monumenten. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist / Bosch & Keuning, Baarn, 120 pp.

Stadtler, A., 1998. Der Bentheimer Sandstein (Valangin, NW-Deutschland). Eine palökologische und sequenzstratigraphische Analyse. Bochumer Geologische und Geotechnische Arbeiten 49, 123 pp.

Voort, H., 1968. Die gräflich bentheimischen Bergmeister. Jahrbuch des Heimatvereins der Grafschaft Bentheim 68, p. 87-106.

Wittenhagen, S., 1980. Sedimentologisch-petrographische Untersuchung des Bentheimer Sandsteins im Erdölfeld Bramberge / Emsland. Clausthaler Geowissenschaftliche Dissertationen 5, 162 pp.

Ziegler, P.A., 1990. Geological atlas of western and central Europe. Shell Internationale Petroleum Maatschappij, Londen, 239 pp.