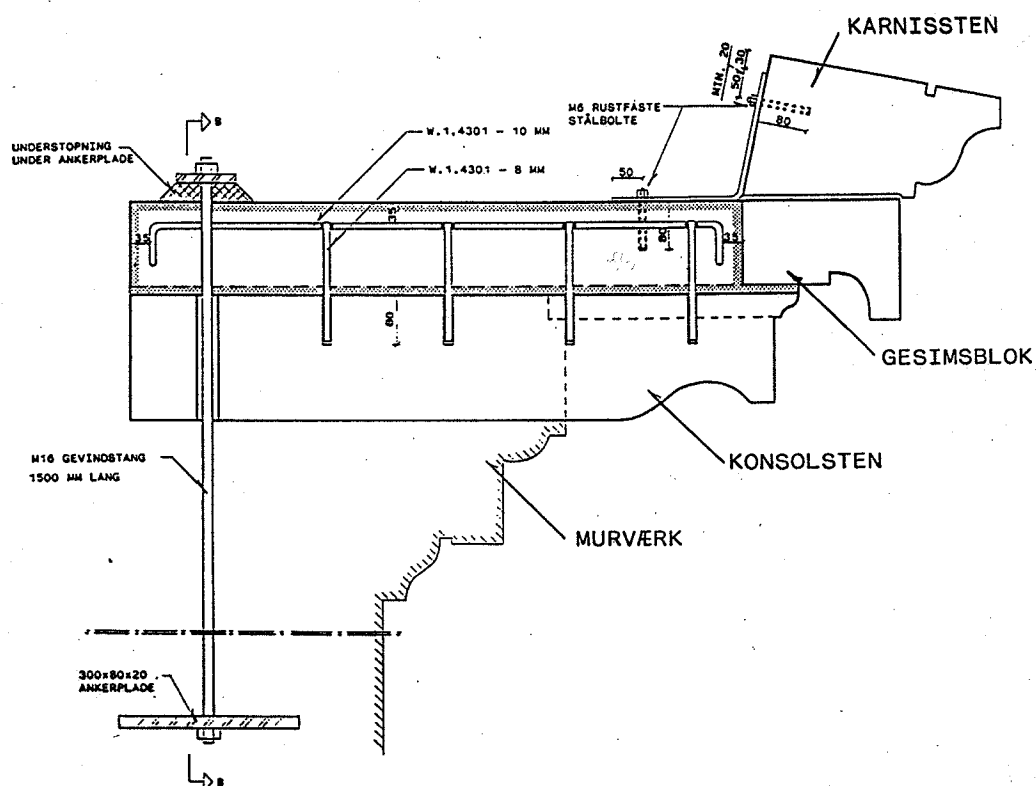


Kvalitetskontrol af sandsten til Christiansborgs slotskirkes hovedgesims

Finn Thøgersen
Anders Nielsen



Kvalitetskontrol af
sandsten til
Christiansborgs slotskirkes
hovedgesims

Finn Thøgersen
Anders Nielsen

LABORATORIET FOR BYGNINGSMATERIALER
Danmarks Tekniske Højskole

BUILDING MATERIALS LABORATORY
Technical University of Denmark

Kvalitetskontrol af
sandsten til
Christiansborgs slotskirkes
hovedgesims
Laboratoriet for Bygningsmaterialer
Danmarks Tekniske Højskole
Marts 1994

Teknisk Rapport 307/94
ISSN 0907-7073

Nøgleord: Sandsten, styrke, kontrol, ikke-destruktiv prøvning.

Summary: This report deals with non-destructive testing of the quality of quarzitic sandstone used in the restauration of the church at Christiansborg Castle after the fire in 1992. Use of rebound hammer and ultrasonic equipment is compared to conventional testing of compressive and flexural strength.

Forord

Nærværende rapport er resultatet af et samarbejde mellem Slots- og Ejendomsstyrelsen ved E. Troelsgård A/S og Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH, omhandlende ikke-destruktiv prøvning af sandsten til genopbygningen af Christiansborg Slotskirke. I forbindelse med de praktiske forsøg takkes EN Natursten i Brøndby for velvillig assistance.

Indhold

Indledning	6
Baggrundsmateriale	6
Normer og standarder	7
Materialer	8
Metoder	8
Resultater	12
Styrkevurdering af sandsten	21
Konklusion	24
Referencer	25

Bilag A. Resultater fra ikke-destruktive prøvninger

Bilag B. Alle resultater for prizmer og sten

Bilag C. Blankt skema til måleresultater

Bilag D. Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone

Bilag E. Prüfung von Naturstein. Druckversuch

Bilag F. Prüfung von Naturstein. Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat

Bilag G. Prüfung von Naturstein. Biegeversuch

Bilag H. Statiske beregninger, gesims

Indledning

Natursten (herunder sandsten) er igennem tiderne primært blevet vurderet ud fra visuelle, subjektive kriterier. Ved kunstigt fremstillede materialer som f.eks. beton har konkrete prøvninger derimod altid dannet grundlag for kvalitetskontrollen. I dette projekt undersøges det, hvorvidt det er muligt at anvende nogle af de ikke-destruktive prøvemethoder, som er kendt fra betonprøvning, på sandsten. Det drejer sig om rekylværdimålinger med Smidt-hammer og måling af ultralydhastighed gennem materialet. Sammenhængen mellem disse ikke-destruktive målemetoder og resultater fra styrkeprøvninger på prismen udtaget fra de samme sten undersøges. Undersøgelsen tager udgangspunkt i en vurdering af et konkret sandstensmateriale, nemlig en række konsolsten der ønskes genbrugt ved genopbygningen af den i 1992 nedbrændte Christiansborg Slotskirke. Karakteristiske tryk- og bøjningsstyrker for disse sten skal bestemmes, og om muligt opstilles en kvalitetsvurderingsprocedure. Som ekstra undersøgelse prøves stenenes saltbestandighed overfor sulfater.

Baggrundsmateriale

En meget grundig gennemgang af naturstens egenskaber og anvendelser kan findes i E. Suensons lærebog "Natursten" [1]. Endvidere kan der henvises til Ulli Meisels bog "Naturstein" [2], hvor der bl.a. findes en oversigt over forskellige laboratoriemetoder til undersøgelse af natursten.

På Laboratoriet for Bygningsmaterialer er der i forbindelse med et studenterprojekt gennemført en grundig undersøgelse af to forskellige typer sandsten [3]. Resultater fra dette projekt vil blive inddraget ved vurderingen af den foreliggende undersøgelse.

Ikke-destruktiv prøvning af natursten er behandlet i en tysk artikel [4]. Det anføres indledningsvis, at der ved almindelige ultralydsmålinger kan være ganske store forskelle for hver stentype, også på sten fra samme brud. Det er dog muligt at lave en grov klassifikation af stenkvalitet efter styrke, men fejl og revner kan ikke lokaliseres. Artiklen refererer resultater fra et projekt, hvor svækkelsen af transversal-ultralydsbølger (i modsætning til normale longitudinalbølger) gennem et materiale er målt. Målingerne foregår i et kar med vand, hvor måleobjektet neddykkes og en speciel måleopstilling anvendes. Det har angiveligt med denne metode været muligt at opnå gode korrelationer mellem de målte lyddæmpninger og bøjningsstyrker af undersøgte granitplader. Endvidere var det til en vis grad muligt at lokalisere revner. Udstyret er dog endnu så specielt, at det ikke egner sig til løbende kvalitetskontrol.

Normer og standarder

Internationalt findes der to standarder for natursten. I den tyske DIN 52100 "Prüfung von Naturstein" (1939) angives retningslinier for udvalg og prøvning af natursten til forskellige formål. Der er opstillet materialeværdier for en lang række natursten, bl.a. de i Tabel 1 viste data for sandsten.

DIN 52100	Densitet [kg/m ³]	Absorption [%]	Trykstyrke [MPa]	Bøjetræk [MPa]
Sandsten	2000-2650	0.2-9.0	30-180	3-15
Quartzitisk sandsten	2600-2650	0.2-0.5	120-200	12-20

Tabel 1: Vejledende materialeværdier for sandsten iflg. DIN-norm.

I USA anvendes ASTM-standarden C 616 "Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone" (nyeste udgave 1989). Her opdeles sandsten i tre kategorier: Sandstone med min. 60% silica, Quartzitic Sandstone med min. 90% silica og endelig Quartzite med min. 95% silica. For hver af kategorierne er der opstillet en række materialekrav, som gengives i Tabel 2.

ASTM C 616	Dens.,min. [kg/m ³]	Abs.,max [%]	Trykst.,min [MPa]	Bøjetr.,min [MPa]
Sandstone	2160	20	13.8	2.1
Quartzitic Sandstone	2400	3	68.9	6.9
Quartzite	2650	1	137.9	13.9

Tabel 2: Materialekrav opstillet i ASTM C 616.

Det fremgår, at der ganske god overensstemmelse mellem materialeværdierne i de to standarder.

Herudover kan det nævnes, at der i øjeblikket arbejdes på at skrive europæiske normer i CEN TC 246: Natural Stones. Under denne komité findes tre arbejdsgrupper: WG 1: Terminology, classification and characteristics, WG 2: Test methods og WG 3: Product specifications. Der er endnu ikke publiceret resultater fra dette arbejde, der er uden dansk deltagelse.

Materialer

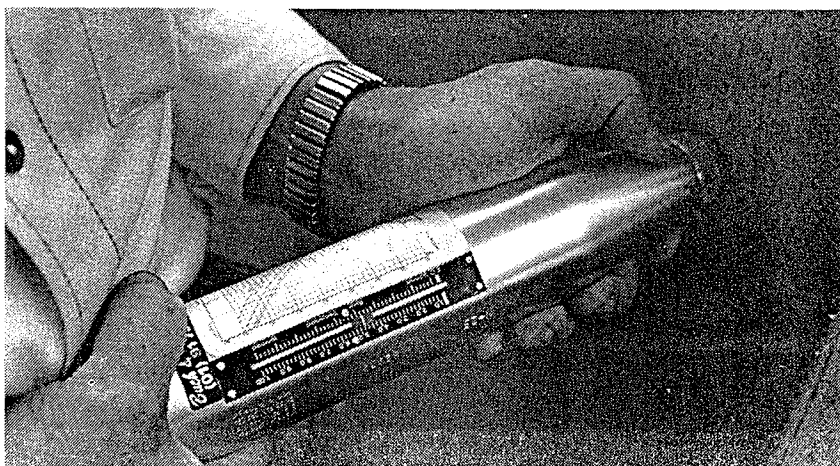
Et kontrolafsnit på ca. 200 gamle konsolsten fra Christiansborg Slotskirke skal vurderes (dimensioner omtr. 1030 x 200 x 170 mm). Stenene er sandsten fra bruddet i Obernkirchen nær Hannover (også kaldet Bremersten), som er en af de mest brugte sandstenstyper i danske byggerier. Denne sten er en gullig-grå kiselbundet sandsten med et silicaindhold på 90 - 95%.

Herudover inddrages enkelte sten af andre sandstenstyper. Det drejer sig om bornholmsk Nexø-sten (rødlig, stærk, kiselbundet sten), svensk Gotlandssten (grå, kalkbundet sten) og endelig østtysk Posta-sandsten (gul, kiselbundet, grovporøs).

Metoder

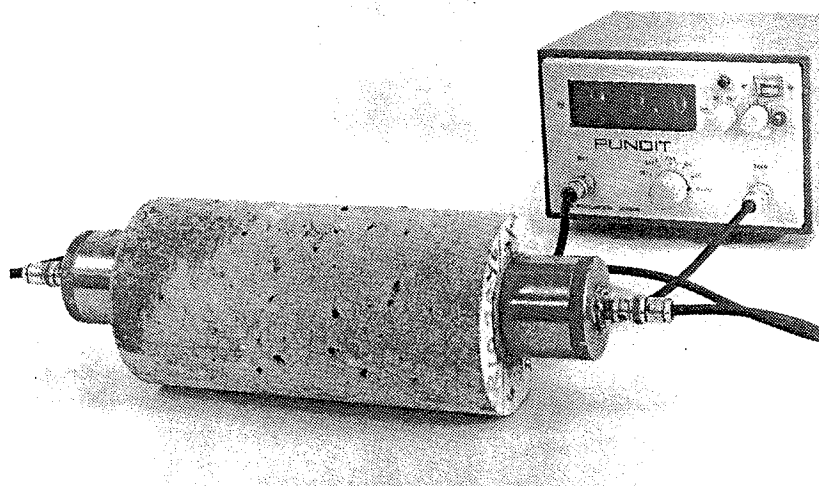
Slaghammer- og ultralydsmålinger. Som udgangspunkt for disse målinger er valgt den procedure der er opstillet for betonkontrol i DS 423.30 og DS 423.33, dog med visse modifikationer nødvendiggjort af praktiske forhold. 10 konsolsten er tilfældigt udvalgt til nærmere undersøgelse.

Slaghammermålinger udføres vandret, dvs. mod lodret stenflade. Det er vigtigt at dette gøres konsekvent, da rekylværdierne er afhængige af slaghammerens orientering. Der er i alle tilfælde målt 10 rekylværdier inden for et område af ca. 10 x 20 cm på begge sider af hver undersøgt sten, dvs. i alt 20 rekylværdier pr. sten. Det kan i den forbindelse nævnes, at der blev udført et lille forforsøg, hvor et "slaghammermærke" blev indstøbt i epoxy, gennemskåret og betragtet i mikroskop. Det var kun muligt at konstatere en ganske svag sammentrykning af den yderste millimeter, og det blev vurderet, at de foretagne slaghammermålinger ikke vil have nogen indvirkning på resultatet af de efterfølgende prøvninger.



Figur 1. Slaghammer, også kaldet Schmidthammer, til ikke-destruktiv prøvning af beton. Efter [6].

Lydtiden gennem stenene blev målt med Pundit ultralydsapparat. Se figur 2. Som kontaktmedie mellem lydhoveder og sten blev anvendt Unimeds ultralydgel, som er fortykket vand. Der er taget 4 målinger på tværs af stenen inden for det samme område, hvor rekylværdierne er bestemt. Måleområderne er skitseret på Figur 3. Lydhastighederne er således målt parallelt med stenenes naturlige lagdeling. For at undersøge lydhastighedens afhængighed af lagdelingen er der endvidere målt en enkelt værdi på den anden led.



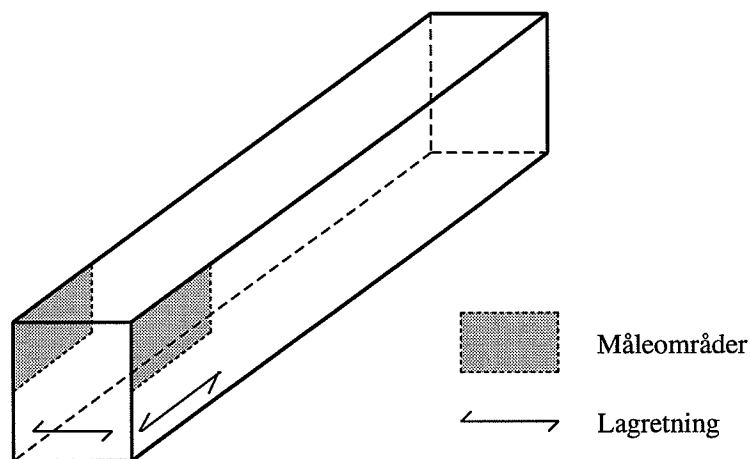
Figur 2: Ultralydmåling af betoncylinder med Pundit udstyr. Efter [6].

Der er udført tilsvarende målinger på andre sandstenstyper. Det drejer sig om tre Nexøsten, to Posta-sten og en enkelt Gotlandssandsten. Alle måleværdier kan findes i bilag A. Målingerne er foretaget i en lagerhal med temperatur ca. 12 °C og 60% relativ luftfugtighed.

Udsavning af prismer. Fra hvert af de på Figur 3 viste områder er der udsavet to prismer med dimensionerne 40 x 40 x 160 mm. Prismene er udsavet med længderetning på tværs af konsolstenen, dvs. at længderetningen er parallel med lagdelingen. Det svarer til, at lydhastigheden er målt i prismernes længderetning.

Målinger på prismer. Alle prismer opmåles med skydelære og vejes, hvilket muliggør bestemmelse af **våddensiteten**, $\rho_{\text{våd}}$. Derefter måles der på prismerne med ultralydsapparatet. Dette gøres for at kontrollere de lydhastigheder, der tidligere er målt på de hele sten. Det skal dog bemærkes, at prismerne iflg. apparatets specifikationer egentlig er for små til, at en sådan opmåling kan forventes at give et pålideligt resultat.

Styrkeprøvning af prismer. Det ene prisme fra de i alt 16 prismepar er blevet trykprøvet efter DIN 52105, mens det andet blev bøjetrækprøvet efter DIN 52112. Prøvelegemernes dimensioner afveg dog lidt fra det der anbefales i disse normer, jf. nedenstående.

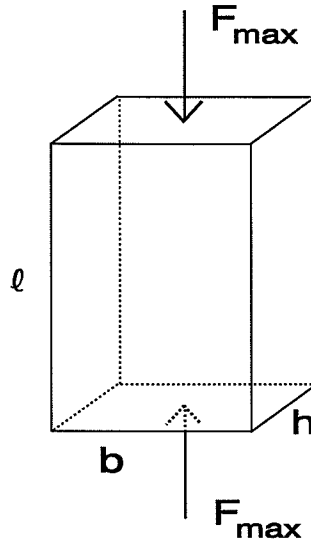


Figur 3: Principskitse af konsolsten med måleområder.

De prismer der skulle trykprøves blev savet midt over, så der fremkom to prismer ca. 40x80 mm. Prismeformen med højde lig med to gange bredden blev valgt ud fra en betragtning om, at styrkeresultatet herfra bedst efterligner den styrkeparameter, som skal indgå i beregningerne, jf. en klassisk diskussion i den for betonprøvningen. Endefladerne blev slebet helt plane før trykprøvningen, der blev foretaget i en 60 tons MAN presse. Trykbelastningen blev påført i prismets længderetning, dvs. trykstyrken parallelt med lagdelingen bestemmes. Ved normal bøjningspåvirkning af konsolstenene er det denne styrke, der er af interesse. Styrken, f_c , findes som maksimallast divideret med tværsnitsareal (gennemsnit for to halve prismer) jf. figur 4,

$$f_c = \frac{F_{\max}}{b \cdot h}$$

Umiddelbart efter prøvningen blev brudstykker fra alle prismer vejjet, og derefter udtørret ved 103 °C i 3 døgn. Efter vejning i tør tilstand kunne vandindholdet u på prøvnings-tidspunktet og sandstenenes tørdensitet $\rho_{\text{tør}}$ bestemmes:



Figur 4: Principskitse af trykstyrkemåling på prismer. Højde $l = 80$ mm, sidelinie $b = h = 40$ mm.

$$u = \frac{m_{våd} - m_{tør}}{m_{tør}}$$

$$\rho_{tør} = \frac{\rho_{våd}}{1 + u}$$

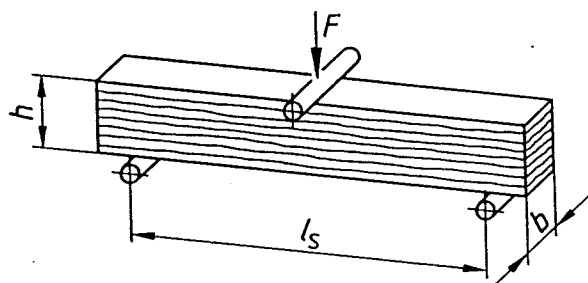
Bøjetrækprøvning blev udført ved trepunktsbelastning i 20 tons M & F prøvemaskine. Prismene blev belastet med vandret lagretning, dvs. igen samme belastningssituation som i den konkrete konstruktion. Bøjetrækstyrken findes som maksimalt bøjningsmoment divideret med modstandsmoment:

$$f_{bt} = \frac{M_b}{W}$$

$$M_b = \frac{F_{\max} \cdot l_s}{4}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$l_s = 100$ mm er afstanden mellem understøtningerne, jf. figur 5.



Figur 5: Principskitse af trykstyrkemåling på prismen efter DIN 52105.

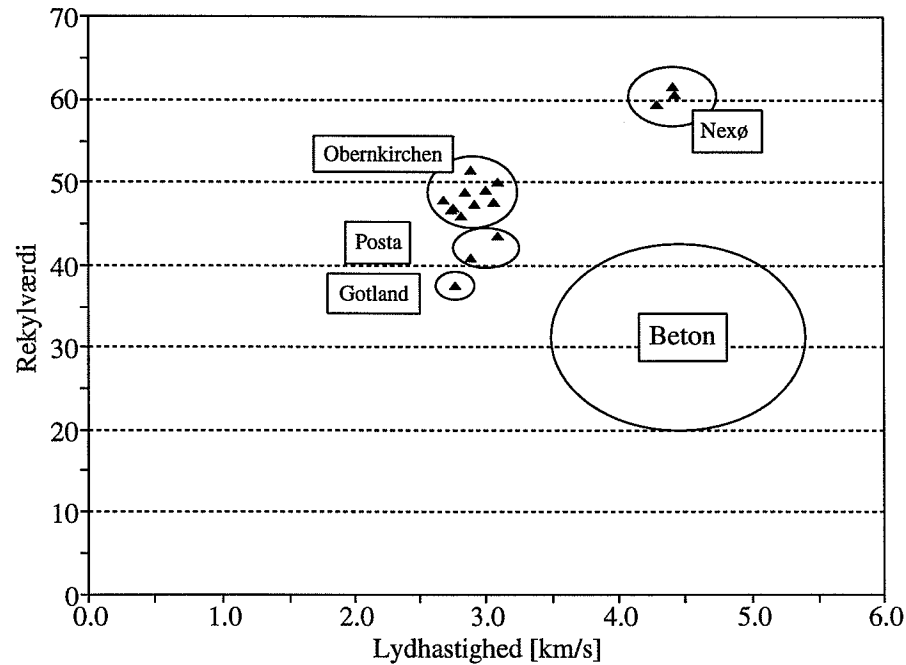
Efter brud blev den ene halvdel af prismen trykprøvet med belastning vinkelret på lagdelingen. Dette blev gjort i 60 tons Amsler presse med 50 mm trykplader, dvs. det belastede tværsnit var 50 mm x prismets bredde b .

Saltkrystallisationstest. For at få en vurdering af holdbarheden blev der udført krystallisationsforsøg efter DIN 52111 på prøver af hver sandstenstype. Som prøvelegemer blev brugt halve prismen fra bøjetrækprøvningen. Disse blev først anbragt i varmeskab ved 103 °C. Efter 3 døgn blev prøverne vejede, og derefter anbragt i en mættet natriumsulfatopløsning ved 20 °C. Efter ca. 16 timer i denne opløsning blev prøverne igen flyttet til varmeskabet hvor de tørrede i ca. 8 timer. Prøverne gennemgik i alt 5 sådanne udtørnings/saltlagringscykler. Til sidst udtørredes prøverne helt og en ny tørmasse bestemtes, hvorefter vægttabet ved afskalning forårsaget af krystaltryk i materialets porer kunne beregnes.

Resultater

Slaghammer- og ultralydsmåling blev udført på i alt 16 sten. Alle resultater kan findes i bilag B. Samhørende værdier for disse to ikke-destruktive målemetoder er vist på Figur 6, hvor det for sammenlignings skyld også er illustreret, hvilke værdier man typisk opnår ved måling på beton. Det fremgår, at resultaterne falder i afgrænsede grupper. Nexøstenene giver klart de højeste værdier for begge målemetoder, mens der mht. lydhastighed ikke er væsentlig forskel på de andre tre stentyper. Dog er rekylværdierne forskellige for Obernkirchen, Posta og Gotlandssten. I forbindelse med målingerne på de 10 konsolsten kunne der iagttages en vis tendens til at glatte overflader gav en anelse højere værdier end let ru overflader. Dette gjaldt for både slaghammer- og ultralydsmålinger. Ved fremtidige målinger er det således nødvendigt at være opmærksom på dette forhold.

En sammenligning af ultralydshastigheder målt på langs og tværs af stenenes naturlige lagdeling er vist på Figur 7 (denne måling er ikke foretaget for den ene Postasten og Gotlandsstenen). Det fremgår, at der er ganske god overensstemmelse mellem lydhastigheden i de to retninger. For Posta- og Nexøsten er lydhastigheden på tværs af lagene lidt lavere, mens den for Obernkirchensten er lidt højere.



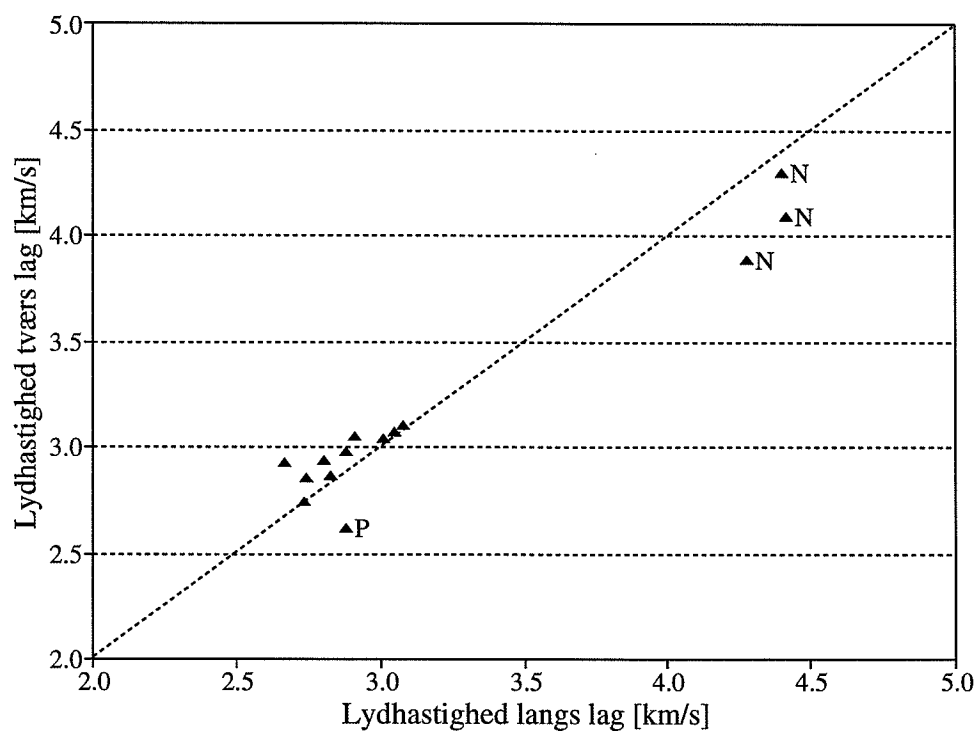
Figur 6: Samhørende værdier af lydhastighed og rekylværdi for de fire undersøgte stentyper, samt typisk område for betonværdier.

Efter udsavning og opmåling af prismer blev ultralydshastigheden gennem prismerne målt. På Figur 8 vises en sammenligning af lydhastighederne målt på prismer og hele sten. Hvis der ses bort fra Gotlandsstenen er der øjensynlig ganske god overensstemmelse, dog med en tendens til at lydhastigheden i prismerne er lidt højere. Dette er givetvis begrundet i geometriske forhold.

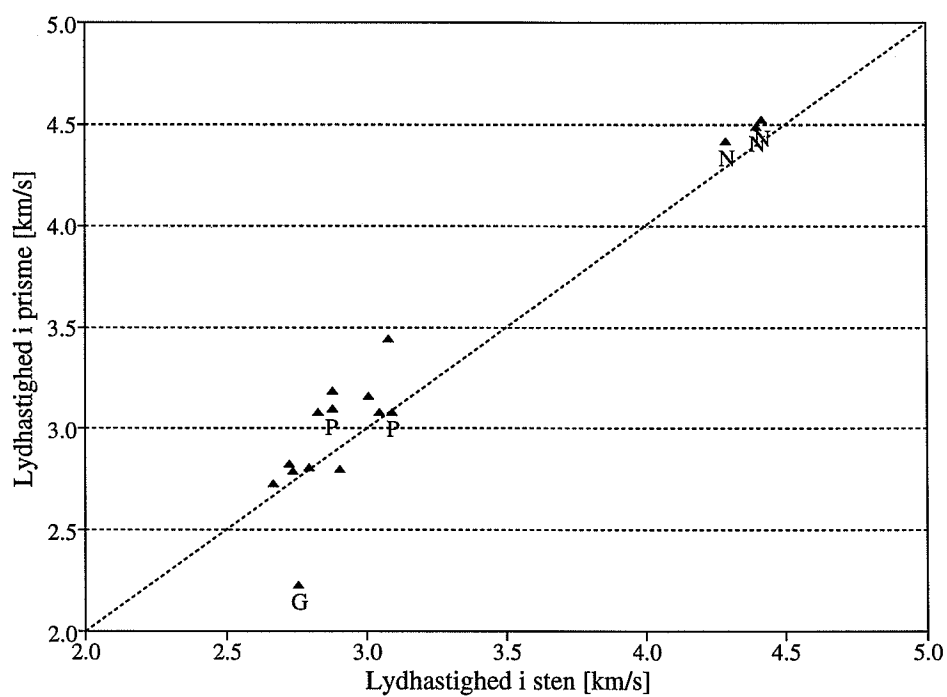
De målte lydhastigheder for Obernkirchen-sandstenene stemmer godt overens med resultater fra tidligere forsøg udført på Laboratoriet for Bygningsmaterialer [3], hvor der på to prismer af denne stentype blev målt lydhastigheder på 2.68 km/s og 2.83 km/s. Endvidere kan det bemærkes, at der i forbindelse med facadeistandsættelse på Københavns Domhus i 1991 blev målt lydhastigheder på en række Nexø-sandsten. Middelværdien var her 4.16 km/s, dvs. af samme størrelsesorden som de lydhastigheder der er fundet i denne undersøgelse. Spredningen på hele Domhusmålingen var ca. 0.24 km/s, hvilket er af samme størrelsesorden som fundet for konsolstenene, jf. figur 7 og figur 8.

Resultaterne fra trykprøvningen af 16 prismer er illustreret på Figur 9 og 10 der viser sammenhængen mellem trykstyrken (parallelt med lagdelingen, gennemsnit af to halve prismer) og de ikke-destruktive prøvemethoder.

Såvel styrke som lydhastighed for Nexøstenene er markant højere end de andre stentypers. Derimod kan det konstateres, at lydhastighederne målt på Posta-, Gotland- og Obernkirchen sten ligger inden for samme interval, selv om styrken af Obernkirchen stenene er noget højere. Ved målinger på Baumberger sandsten [3] er der fundet



Figur 7: Lydhastighedens afhængighed af måleretning. Uden mærke = konsolsten (Obernkirchen), N = Nexøsten, P = Postasten.



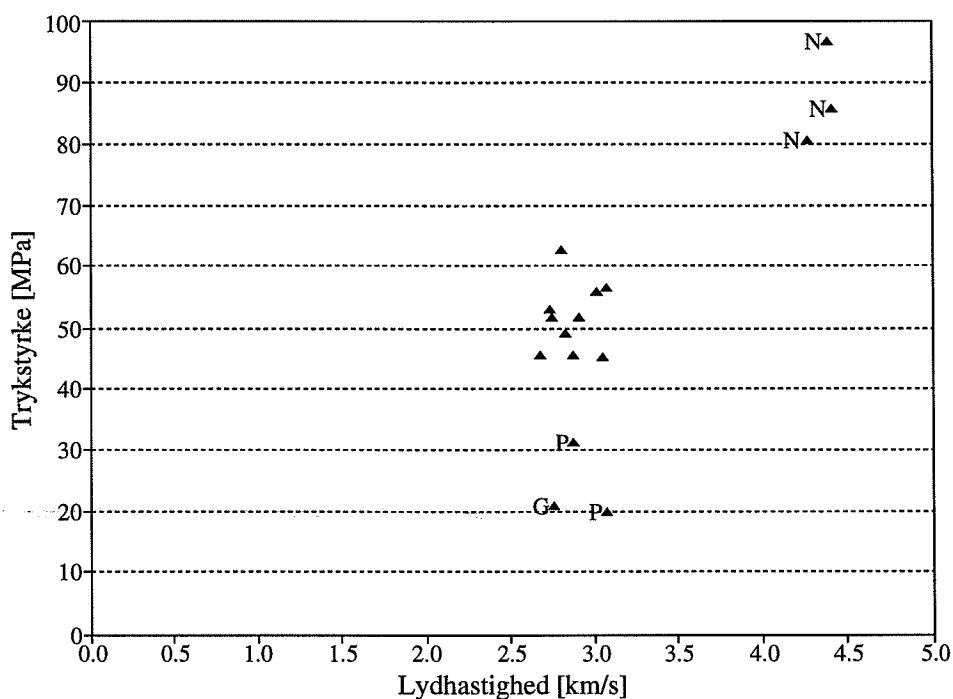
Figur 8: Lydhastigheder målt på sten og på prismer udtaget fra de samme sten.

lydhastigheder på 2.64 km/s og trykstyrker på 30 MPa, dvs. værdier der stemmer godt overens med de her målte.

Det kan endvidere bemærkes, at der tilsyneladende ikke er nogen sammenhæng mellem styrke og lydhastighed inden for gruppen med de 10 konsolsten. En lineær regression på de 10 punkter giver en R^2 -værdi på 0.01 !

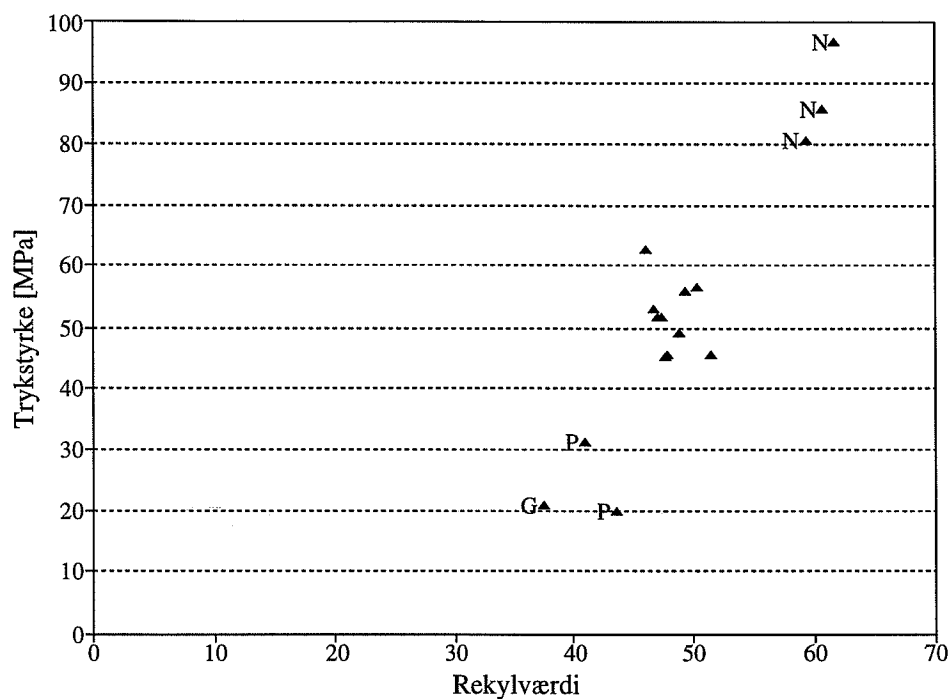
Værdien af en lineær sammenhæng, lineær korrelation, udtrykkes ved den statistiske størrelse R^2 . Ved ikke eksisterende sammenhæng bliver $R^2 = 0$. Ved perfekt korrelation antager R^2 værdien +1 eller -1, fortegnet angiver om linien er stigen (+) eller faldende (-) i 1. kvadrant.

Hvad angår sammenhængen mellem rekylværdier og trykstyrker er det overordnede billede øjensynligt bedre, idet Gotlands- og Postasten her har lavere rekylværdier end Obernkirchensten. Betragtes de 10 konsolsten isoleret er det dog heller ikke her muligt at få en positiv korrelation mellem rekylværdi og trykstyrke (lineær regression giver $R^2 = -0$

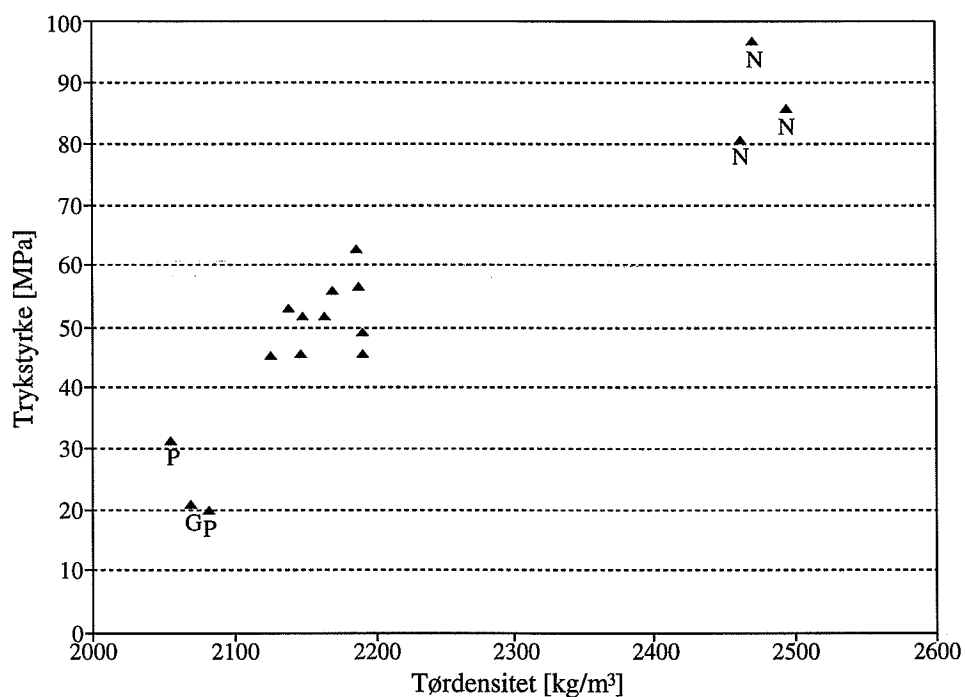


Figur 9: Sammenhæng mellem trykstyrke af udsavede prismer og lydhastighed målt på de oprindelige sten.

Efter trykprøvning blev vandindholdet af brudstykker bestemt. Hovedparten af stenene havde vandindhold mellem 0.5 og 1%. Dette må formodes at svare ganske godt til det vandindhold man ville have i en brugssituation, idet stenene som tidligere nævnt har været opbevaret ved 60% RF. Det er vigtigt at understrege, at der ikke er tale om udtørrede sten, hvor man må forvente at få lidt højere styrker, som dermed er på den usikre side i forhold til brugssituationen. Suenson [1] angiver styrketabet ved vandmætning af sandsten til gennemsnitligt 9%.

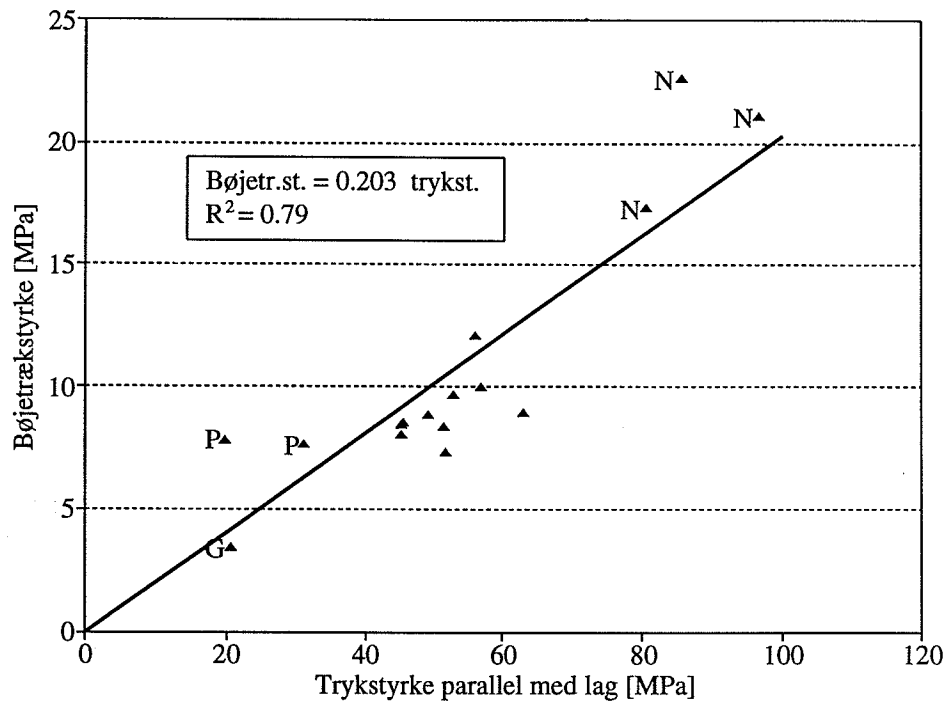


Figur 10: Sammenhæng mellem trykstyrke af prismen og rekylværdier.

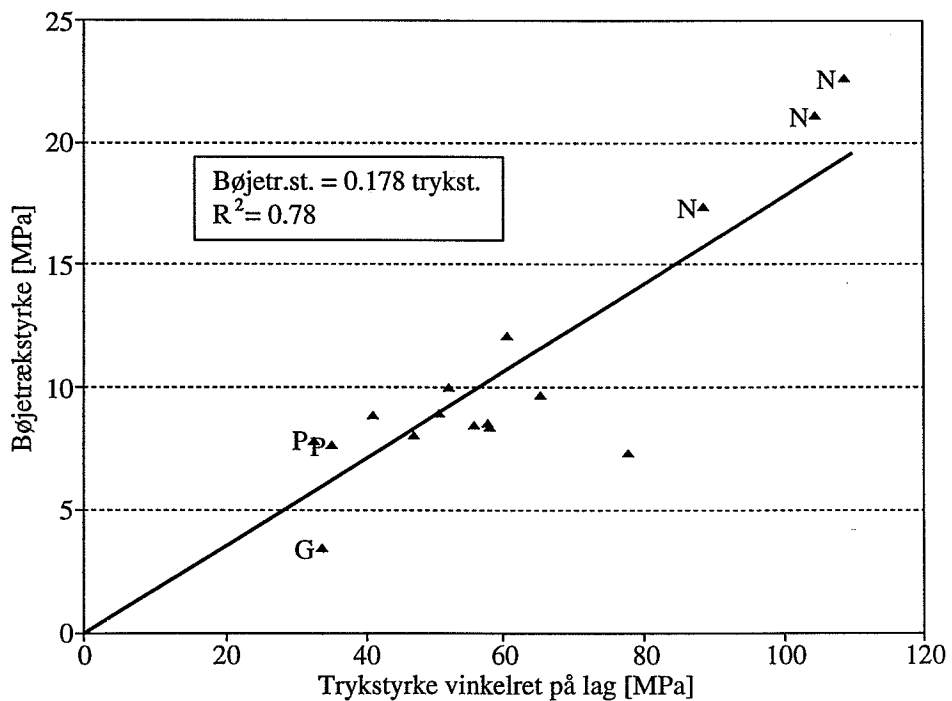


Figur 11: Sammenhæng mellem trykstyrke og tørdensitet for alle sten.

Med kendt vandindhold kan tørdensiteten for alle sten beregnes. På Figur 11 vises trykstyrkens afhængighed af tørdensiteten. Som forventeligt er der her en god sammenhæng. En lineær regression på alle punkter giver $R^2 = 0.84$.

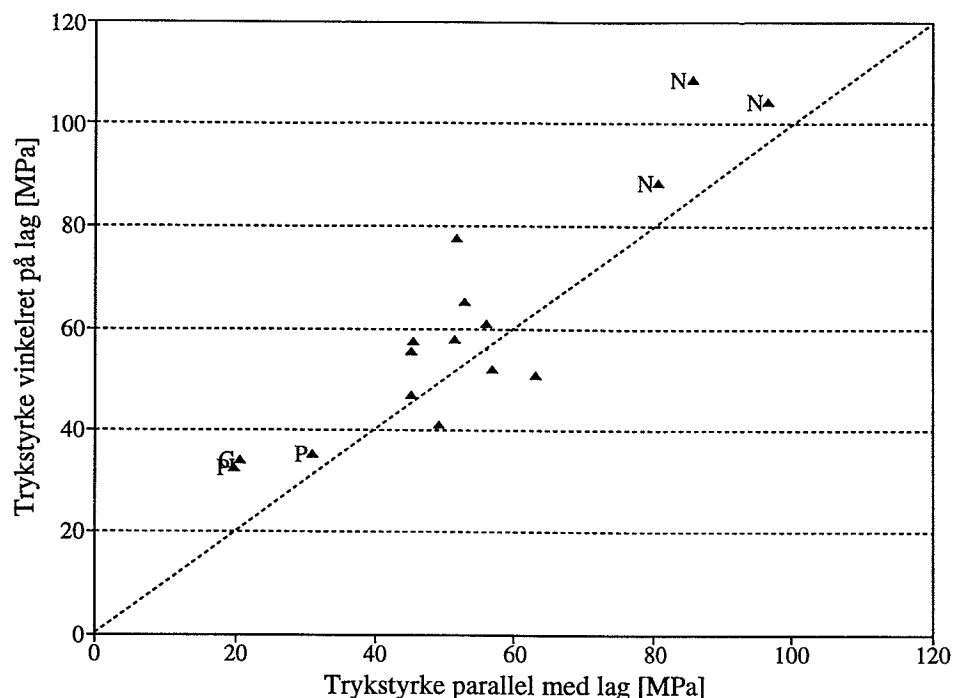


Figur 12: Sammenhæng mellem trykstyrke parallelt med lagene og bøjetrækstyrke.



Figur 13: Sammenhæng mellem trykstyrke vinkelret på lagdelingen og bøjetrækstyrke.

Resultaterne fra bøjetrækprøvningen præsenteres på Figur 12, hvor bøjetrækstyrkerne er vist som funktion af trykstyrken parallelt med lagdelingen, og Figur 13 hvor bøjetrækstyrken er vist som funktion af trykstyrken vinkelret på lagdelingen (som bestemmes på



Figur 14: Sammenligning af trykstyrker i to retninger.

de samme prismar efter bøjningsbrud). Det fremgår af de indtegnede regressionslinier at bøjetrækstyrken med god tilnærmelse kan siges at være 1/5 af trykstyrken.

Sammenhængen mellem trykstyrkerne i de to retninger er vist på Figur 14. Trykstyrken vinkelret på lagdelingen er øjensynlig generelt lidt højere end parallelt med lagene. Dette skyldes dels, at lagdelingen formodentligt virker styrkenedsættende, dels at der parallelt med lagene er målt på prismar, og vinkelret på lagene er målt på terninger.

For Obernkirchenstenen er der god overensstemmelse mellem de her fundne densiteter og styrker (tørdensitet = 2126 - 2192 kg/m³, f_c = 45 - 63 MPa, f_{bt} = 7.3 - 12.2 MPa) og de værdier, der blev bestemt ved den tidligere omtalte undersøgelse [3] af to prismar af samme stentype. Der blev ved den lejlighed fundet tørdensiteter på 2177 kg/m³ og 2204 kg/m³, trykstyrker 42.4 MPa og 56.6 MPa og bøjetrækstyrker 9.1 MPa og 9.9 MPa. Derimod er der ved en anden prøvning af Obernkirchensandsten foretaget 1988 på Landesgewerbeanstalt Bayern fundet trykstyrker på 98 - 135 MPa og trækstyrker 8.8 - 11.4 MPa. Trykstyrken af denne stentype kan altså tilsyneladende variere betragteligt.

Hos Suenson [1] er der opgivet trykstyrker på 42 - 100 MPa for Obernkirchensten og ca. 80 MPa for Nexøsten.

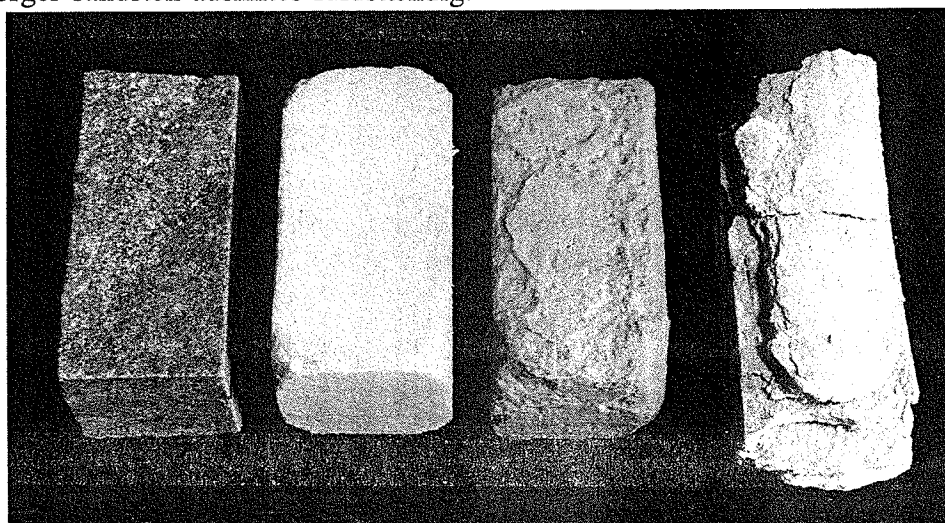
Sammenlignes de opnåede resultater med ASTM-kravene gengivet i Tabel 2 ses det, at Nexø-stenen opfylder kravene til Quartzitic Sandstone, hvorimod de tre øvrige typer tilhører gruppen Sandstone (densitetskravet er dog ikke opfyldt for alle sten).

Resultaterne for undersøgelsen af forvitringen forårsaget af natriumsulfat-krystallisation er vist i Tabel 3.

Stentype	Vægttab efter 5 cykler (%)
Obernkirchen (nr. 37)	10.8
Obernkirchen (nr. 270)	7.0
Nexø	0.0
Posta	1.3
Gotland	Totalt adskilt efter 3 cykler

Tabel 3: Vægttab ved natriumsulfattest.

Bestandigheden af Gotlandsstenen er tydeligvis meget dårlig sammenlignet med de andre stentyper. Dette skyldes, at bindemidlet i denne sten er kalk, som ret hurtigt opløses i det aggressive miljø. I øvrigt fremgår det, at Postastenen, som jo har en ret lav styrke sammenlignet med Obernkirchen og Nexø-sten, er meget modstandsdygtig over for sulfatangreb. Dette skyldes antageligt, at stenen er så grovporøs, at den saltkrystalvækst, der forårsager forvitringen, ikke er kritisk. I øvrigt bemærkes det, at Nexøstenen er helt upåvirket af denne ganske hårde prøvemethode, hvorimod Obernkirchenstenene mister 7-11% fra overfladerne. En sammenligning af de fire stentyper efter forsøget kan ses på Figur 15. Resultaterne stemmer godt overens med tidligere målinger [3], i følge hvilke Obernkirchensten havde et vægttab på 8% efter 5 cykler, mens den kalkbundne Baumberger sandsten adskiltes fuldstændig.



Figur 15: Foto af de fire stentyper efter natriumsulfattesten. Fra venstre Nexø, Posta, Obernkirchen og Gotland.

Styrkevurdering af sandsten.

Som nævnt i forbindelse med kommentarerne til Figur 9 og 10 har det ikke været muligt at konstatere en positiv sammenhæng mellem lyd hastigheder eller rekylværdier og trykstyrker for de 10 konsolsten. For at kunne bruge disse ikke-destruktive metoder til kvalitetskontrol af enkelte sten (frasortering af dårlige sten), er det nødvendigt at have en god korrelation. Der er tilsyneladende så store spredninger på målemetoderne, at der inden for et smalt styrkeinterval, som man normalt vil have ved undersøgelse af en konkret stenleverance, ikke kan konstateres sammenhæng mellem styrke og lyd hastighed eller rekylværdi.

Betragtes derimod sandsten generelt er der specielt for rekylværdiernes vedkommende en ganske pæn sammenhæng. Denne kan udnyttes til at give et kvalificeret overslag over middelstyrken af et konkret materiale. Eksempelvis vil det være muligt at vurdere styrkeniveauet for Obernkirchensten, der som tidligere nævnt kan variere meget. Efter indsamling af yderligere erfaringsmateriale vil måling af lyd hastigheder sandsynligvis også kunne give et fingerpeg om styrken.

En fastlæggelse af styrken af en given stenleverance må ske ved destruktive metoder. Kvaliteten sikres ved at dårlige sten som hidtil frasorteres af en erfaren stenhugger. Der udføres derefter tryk- og bøjetrækprøving af et antal stikprøver udtaget fra stenene. Herudfra kan karakteristiske styrker (10%-fraktil) bestemmes på basis af metoder brugt ved variabel kontrol af betonproduktion [5]. Den karakteristiske styrke baseret på en stikprøve med n prøver findes ud fra:

$$f_k = \bar{x} - k \cdot s$$

hvor $\bar{x}$ og s er middelværdi og spredning for stikprøven. Dette er baseret på, at hverken middelværdi eller spredning for den bagvedliggende fordeling er kendt, hvilket må være udgangspunktet for kontrol af et "ukendt" naturmateriale. Faktoren k , der er afhængig af stikprøveantallet n kan findes i Tabel 4:

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0				2.50	2.14	1.96	1.86	1.79	1.74	1.70
10	1.67	1.64	1.62	1.61	1.59	1.58	1.56	1.55	1.54	1.54
20	1.53	1.52	1.51	1.50	1.50	1.49	1.49	1.48	1.48	1.47
30	1.47	1.47	1.46	1.46	1.46	1.46	1.45	1.45	1.45	1.45
40	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
50	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43

Tabel 4: k ved ukendt middelværdi og spredning for fordelingen [5].

I Tabel 5 og 6 er denne metode brugt til at beregne karakteristiske tryk- og bøjetrækstyrker for de undersøgte Obernkirchensten, samt illustrere afhængigheden af stikprøveantallet. Der er givet eksempler på, hvilke karakteristiske styrker man ville have

opnået, hvis der kun var udtaget 5 eller 3 stikprøver til destruktiv prøvning. Dette er gjort ved på tilfældig vis at udtage 5 henholdsvis 3 af de 10 styrkeværdier. Det fremgår som forventet, at de karakteristiske værdier bliver mindre med faldende stikprøveantal. For både tryk- og bøjetrækstyrker viser denne beregning, at man ved 3 stikprøver i uheldigste tilfælde (den mindste af de 5 f_k) kan få karakteristiske værdier der er ca. 70% af de værdier man ville have fået ved at tage 10 stikprøver. Disse værdier for f_{btk} skal jävnføres med et krav til den regningsmæssige værdi for bøjningstrækstyrken på 1,06 MPa, jf. beregningen i bilag H.

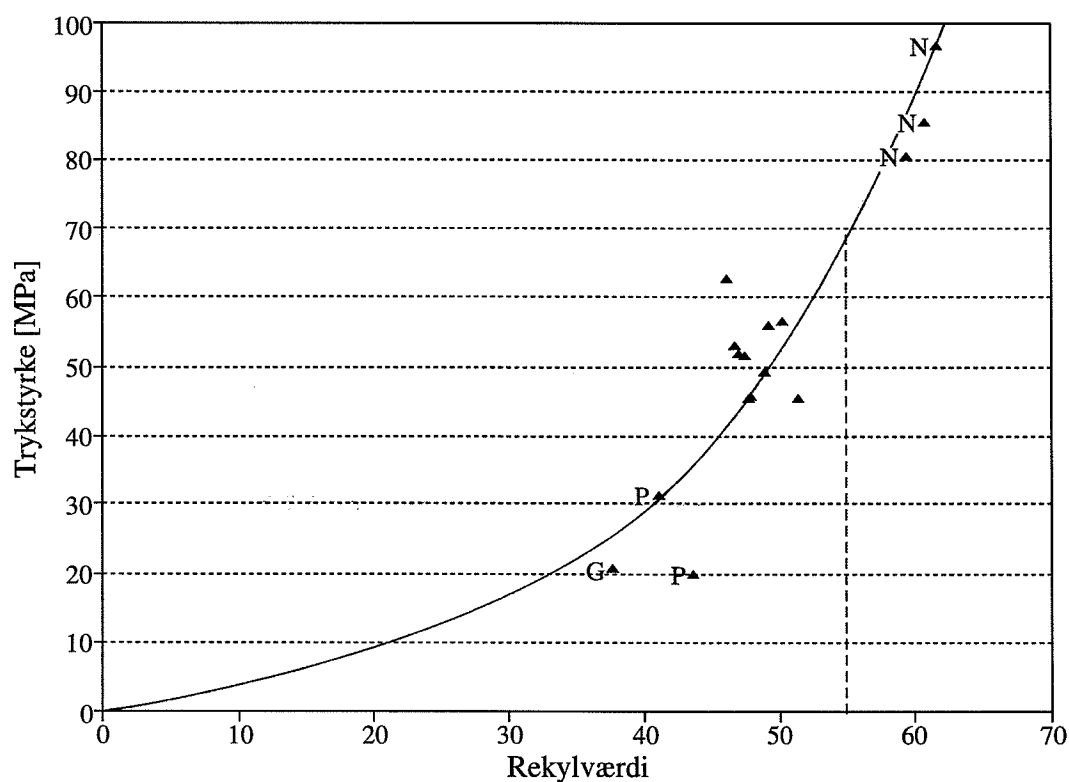
n	$\bar{x}$	s	k	f_{ck}	f_{ck} -middel
10	51.7	5.7	1,67	42.1	42.1
5	51.1	7.3	1,96	36.9	39.6
5	51.8	4.7		41.9	
5	52.4	7.6		37.5	
5	53.1	6.9		39.6	
5	48.9	3.5		42.1	
3	48.8	3.1	2,50	41.2	37.6
3	54.8	8.8		32.8	
3	48.8	3.0		41.3	
3	52.5	9.2		29.4	
3	52.3			43.6	

Tabel 5: Karakteristisk trykstyrke (MPa) for Obernkirchensten beregnet på 10 stikprøver samt beregninger med tilfældig udtagning af 5 eller 3 af de 10 prøver.

n	$\bar{x}$	s	k	f_{btk}	f_{btk} -middel
10	9.03	1.33	1,67	6.80	6.80
5	8.99	1.05	1,96	6.83	6.45
5	9.52	1.64		6.31	
5	9.42	1.70		6.09	
5	8.99	0.82		7.38	
5	9.29	1.86		5.64	
3	9.83	2.02	2,50	4.78	5.81
3	8.81	1.02		6.26	
3	9.14	0.48		7.94	
3	8.59	1.33		5.27	
3	9.98	2.06		4.83	

Tabel 6: Karakteristisk bøjetrækstyrke (MPa) for Obernkirchensten beregnet på 10 stikprøver samt beregninger med tilfældig udtagning af 5 eller 3 af de 10 prøver.

De i denne rapport undersøgte ikke-destruktive prøvemethoder (primært slaghammermålinger) kan bruges som hjælp ved fastlæggelse af, hvor mange stikprøver man bør udtage fra en given stenleverance. Indledningsvis udføres en række slaghammermålinger. Med middelværdien af disse målinger som indgangsværdi kan middelstyrken af stenene forudsiges ud fra Figur 16. Hvis rekylværdierne eksempelvis ligger omkring 55 vil middelværdien af stenenes trykstyrker ifølge figur 16 være ca. 70 MPa. Hvis den nødvendige karakteristiske trykstyrke givet ud fra de statiske beregninger eksempelvis er 20 MPa vil man givetvis kunne nøjes med at udtage 3 stikprøver, idet eksemplerne i Tabel 5 viser, at den karakteristiske trykstyrke ved 3 stikprøver i uheldigste fald er $29.4/51.7 = 57\%$ af middelstyrken, hvilket er større end $20/70 = 28\%$. Er kravet strengere må man udtage flere stikprøver, hvorved sandsynligheden for at hæve den karakteristiske værdi stiger. Såfremt trækstyrken ønskes kontrolleret, kan dette også gøres ud fra rekylværdierne og Figur 16 ved at udnytte den tidligere fundne sammenhæng $f_{bt} \approx 1/5 f_c$.



Figur 16: Estimering af styrker ud fra rekylværdier.

Konklusion

Med udgangspunkt i de foretagne undersøgelser kan følgende konklusioner drages:

- Ikke-destruktive målinger med slaghammer og ultralyd kan ikke danne grundlag for en decideret kvalitetskontrol baseret på sandstensstyrker, dvs. frasortering af svage sten inden for en i øvrigt ensartet leverance. Hertil er spredningen på målemetoderne for stor. En vurdering fra en erfaren stenhugger er nødvendig for at frasortere sten med fejl.
- Slaghammermålinger kan give en god indikation af middelstyrken af en given stentype, idet der er konstateret en god sammenhæng mellem rekylværdier og styrker ved undersøgelse over et bredt styrkespektrum.
- Med større erfaringsmateriale vil måling af ultralydhastigheder sandsynligvis også kunne bidrage til en styrkevurdering.
- Karakteristiske styrker for en stenleverance fastlægges ved tryk- og bøjetrækprøvninger af stikprøver udtaget fra stenene. Antallet af stikprøver vælges ud fra indledende ikke-destruktive målinger kombineret med forhåndskendskab til ønsket styrkeniveau.
- Med henblik på at forbedre kendskabet til sammenhængen mellem de ikke-destruktive målemetoder og de reelle styrker må det anbefales at udføre såvel slaghammer- som ultralydsmålinger på fremtidige leverancer.

Specielt for de undersøgte Obernkirchen konsolsten gælder:

- Den karakteristiske trykstyrke er fundet til 42.1 MPa (middelstyrke 51.7 MPa) og den karakteristiske bøjetrækstyrke er 6.8 MPa (middelstyrke 9.0 MPa). Disse styrketal er lavere end Nexøstens styrke, men højere end styrken af Posta- og Gotlandssandsten. Dette hænger bl.a. sammen med at tørdensiteten 2165 kg/m³ ligger imellem værdierne for disse andre stentyper.
- Saltkrystallisationsforsøg viser, at holdbarheden af de undersøgte Obernkirchensten er lidt dårligere end Nexø-sandstens, men betydeligt bedre end kalkbundne sandsten, der adskilles fuldstændigt efter blot 3 krystallisationscykler.

Referencer

- [1] Suenson, E.: *Byggematerialer III: Natursten*, Gjellerup, København, 1942.
- [2] Meisel, U.: *Naturstein. Erhaltung und Restaurierung von Außenbauteilen*. Bauverlag, Wiesbaden, 1984.
- [3] Nielsen, A., Isaksen, K.L., Isaksen, K., Rasmussen, A.: *Examination of two types of German sandstone*, TR 253/92, Laboratoriet for Bygningsmaterialer, Danmarks Tekniske Højskole, 1992.
- [4] Volkwein, A.: *Zerstörungsfreie Prüfung von Naturwerkstein durch Ultraschall-Schwächungsmessungen*, Materialprüfung 24, nr. 4, 1982.
- [5] Mohr, G., Poulsen, E.: *Byggeriets kvalitetskontrol*, Teknisk Forlag, København, 1980.
- [6] Herholdt, A.D. et al.: *Beton-Bogen*. Aalborg Portland. 1985.

Desuden er anvendt følgende standarder

- DS 423.30 *Betonprøvning, rekylværdi.*
- DS 423.33 *Betonprøvning, ultralydshastighed.*
- [Bilag D] ASTM C 616 *Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone.*
- DIN 52100 *Prüfung von Naturstein, Richtlinien zur Prüfung und Auswahl von Naturstein.*
- [Bilag E] DIN 52105 *Prüfung von Naturstein, Druckversuch.*
- [Bilag F] DIN 52111 *Prüfung von Naturstein, Kristallisationsversuch mit Natriumsulfat.*
- [Bilag G] DIN 52112 *Prüfung von Naturstein, Biegeversuch.*

Sten nr.	bredde [mm]	højde [mm]	lydtid langs		lydtid tværs lag [mikros.]	rekylværdier																lydhast. langs lag [km/s]		lydhast. tværs lag [km/s]		rekylværdier middel spredn.	
			lag [mikrosek.]	lag [mikrosek.]		48	45	47	47	52	46	49	45	53	46	middel	spredn.	middel	spredn.	middel	spredn.	middel	spredn.	middel	spredn.	middel	spredn.
304	173	208	64.5	65.5	70.9	50	51	50	48	42	47	46	52	47	47	2.67	0.02	2.93		47.9	2.8			2.93		47.9	2.8
197	172	207	58.9	59.4	69.5	55	54	53	51	47	54	48	52	50	52	2.88	0.04	2.98		51.4	2.7			2.98		51.4	2.7
37	173	209	64.2	62.3	76.2	46	45	44	47	45	50	44	46	47	44	2.73	0.04	2.74		46.6	2.1			2.74		46.6	2.1
176	173	208	57.6	58.3	68.5	52	52	49	49	50	45	45	45	49	53	3.01	0.03	3.04		49.2	2.8			3.04		49.2	2.8
268	172	208	62.9	62.4	72.8	47	49	49	44	46	47	46	47	43	44	2.74	0.01	2.86		47.0	2.2			2.86		47.0	2.2
292	172	207	62.6	63.1	70.5	45	48	45	47	47	48	50	50	46	51	2.80	0.05	2.94		46.0	3.2			2.94		46.0	3.2
270	172	208	62.8	61.1	68.2	48	46	40	42	45	42	48	44	47	50	2.91	0.02	3.05		47.3	2.9			3.05		47.3	2.9
247	172	206	56.5	55.7	66.2	52	53	49	51	50	47	54	46	50	54	3.08	0.03	3.11		50.2	3.2			3.11		50.2	3.2
196	172	208	55.5	55.6		52	54	50	46	51	52	46	48	44	55	2.83	0.03	2.87		48.8	4.0			2.87		48.8	4.0
175	173	207	61.4	61.2	67.4	49	49	43	42	50	40	48	47	48	54	3.05	0.06	3.07		47.7	3.4			3.07		47.7	3.4
N1	362	144	58.3	56.4	35.2	50	51	44	49	53	52	49	55	51	52	4.42	0.04	4.09		60.7	4.9			4.09		60.7	4.9
N2	361	148	82.3	82.2	34.4	54	57	55	60	58	55	58	60	53	53	4.40	0.04	4.30		61.7	4.5			4.30		61.7	4.5
N3	362	148	82.4	80.8	38.0	64	67	65	65	66	64	65	63	63	63	4.29	0.08	3.89		59.4	5.3			3.89		59.4	5.3
P1	269		82.5	82.7		44	44	45	42	45	44	42	44	40	44	3.09	0.06			43.5	1.6					43.5	1.6
P2	251	710	87.8	84.4		44	41	45	45	43	44	43	40	45	45	2.88	0.05	2.62		40.9	2.4			2.62		40.9	2.4
G	310		89.3	85.4	271	43	38	39	39	45	45	39	39	41	42	2.76	0.07			37.5	2.7					37.5	2.7
			110.7	109.0		40	38	41	42	38	42	44	40	39	44												
			114.2	115.0		36	39	39	34	37	38	40	40	37	38												

Bilag A: Resultater fra ikke-destruktive prøvninger.

nr.	densitet [kg/m ³]	vand- indhold [%]	tør- densitet [kg/m ³]	lydhast. i prismer [km/s]	lydhast. vinkelr. lag [km/s]	lydhast. parallel lag [km/s]	rekyl- værdi	trykstyrke parallel lag [MPa]	bøjetræk- styrke [MPa]	trykstyrke vinkelr. lag [MPa]
304	2198	0.35	2191	2.73	2.93	2.67	47.9	45.6	8.52	57.6
197	2163	0.75	2147	3.18	2.98	2.88	51.4	45.4	8.46	55.6
37	2150	0.52	2139	2.83	2.74	2.73	46.6	52.9	9.70	65.3
176	2185	0.70	2170	3.16	3.04	3.01	49.2	56.0	12.16	60.7
268	2189	1.16	2164	2.79	2.86	2.74	47.0	51.7	7.33	77.6
292	2201	0.65	2187	2.81	2.94	2.80	46.0	62.9	8.91	50.6
270	2163	0.68	2148	2.80	3.05	2.91	47.3	51.6	8.39	57.9
247	2210	0.97	2189	3.44	3.11	3.08	50.2	56.7	9.98	52.0
196	2205	0.61	2192	3.08	2.87	2.83	48.8	49.1	8.82	41.0
175	2138	0.57	2126	3.08	3.07	3.05	47.7	45.2	8.07	46.9
N1	2512	0.68	2495	4.52	4.09	4.42	60.7	85.6	22.66	108.9
N2	2488	0.71	2471	4.49	4.30	4.40	61.7	96.7	21.12	104.7
N3	2467	0.20	2462	4.42	3.89	4.29	59.4	80.7	17.38	88.6
P1	2100	0.84	2082	3.08		3.09	43.5	19.9	7.83	32.5
P2	2076	0.97	2056	3.10	2.62	2.88	40.9	31.3	7.65	35.0
G	2198	6.18	2070	2.23		2.76	37.5	20.8	3.40	33.8

Bilag B: Alle resultater for prismer og sten.

[illegible]

Designation: C 616 – 89^{ε1}

Standard Specification for Quartz-Based Dimension Stone¹

This standard is issued under the fixed designation C 616; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This specification has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

^{ε1} NOTE—Section 3 was added editorially in January 1990.

1. Scope

1.1 This specification covers the material characteristics, physical requirements, and sampling appropriate to the selection of quartz-based dimension stone for general building and structural purposes.

1.2 Quartz-based dimension stone shall include stone that is sawed, cut, split, or otherwise finished or shaped, and shall specifically exclude molded, cast, or otherwise artificially aggregated units composed of fragments, and also crushed and broken stone.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 97 Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone²

C 99 Test Method for Modulus of Rupture of Dimension Stone²

C 119 Definitions of Terms Relating to Dimension Stone²

C 170 Test Method for Compressive Strength of Dimension Stone²

C 241 Test Method for Abrasion Resistance of Stone Subjected to Foot Traffic²

3. Terminology

3.1 *Definitions*—All definitions are in accordance with Definitions C 119.

4. Classification

4.1 Quartz-based dimension stone sandstone shall be classified according to the free silica content as follows:

4.1.1 *I Sandstone*, with 60 % minimum free silica content.³

4.1.2 *II Quartzitic Sandstone*, with 90 % minimum free silica content.

4.1.3 *III Quartzite*, with 95 % minimum free silica content.

5. Physical Properties

5.1 Quartz-based dimension stone supplied under this specification shall conform to the physical requirements in Table 1.

6. Sampling

6.1 Samples, if required, for testing to determine the characteristics and physical properties shall be representative of the quartz-based dimension stone to be used.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C-18 on Dimension Stone and is the direct responsibility of Subcommittee C18.03 on Material Specifications.

Current edition approved Oct. 27, 1989. Published December 1989. Originally published as C 616 – 68. Last previous edition C 616 – 85.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

³ Free silica consists of detrital quartz grains plus authigenic silica.

TABLE 1 Physical Requirements

Property	Test Requirements	Classifications	ASTM Test Method
Absorption by weight, max, %	20	I Sandstone	C 97
	3	II Quartzitic Sandstone	
	1	III Quartzite	
Density, min, lb/ft ³ (kg/m ³)	135 (2160)	I Sandstone	C 97
	150 (2400)	II Quartzitic Sandstone	
	160 (2560)	III Quartzite	
Compressive strength, min, psi (MPa)	2000 (13.8)	I Sandstone	C 170
	10000 (68.9)	II Quartzitic Sandstone	
	20000 (137.9)	III Quartzite	
Modulus of rupture min, psi (MPa)	300 (2.1)	I Sandstone	C 99
	1000 (6.9)	II Quartzitic Sandstone	
	2000 (13.9)	III Quartzite	
Abrasion resistance	8	I Sandstone	C 241
	8	II Quartzitic Sandstone	
	8	III Quartzite	

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

Prüfung von Naturstein

Druckversuch

DIN
52 105

Testing of natural stone; Compression test
 Essais des pierres naturelles; Essai de compression

Ersatz für Ausgabe 08.65

1 Anwendungsbereich und Zweck

Der Druckversuch nach dieser Norm dient zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Naturstein (Festgestein).

2 Begriff

Die **Druckfestigkeit** β_D von Naturstein ist der Quotient aus der Höchstkraft $F_{\max}$ beim Druckversuch und dem Anfangsquerschnitt A_0 des Probekörpers.

$$\beta_D = \frac{F_{\max}}{A_0} \quad (1)$$

3 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Ein Probekörper (Würfel oder Zylinder) des zu prüfenden Gesteins wird einer einaxialen, über den Probenquerschnitt möglichst gleichmäßig verteilten, langsam und stetig zunehmenden Druckbelastung bis zum Bruch unterworfen. Die Höchstkraft $F_{\max}$ wird gemessen.

4 Gerät

Druckprüfmaschine nach DIN 51 223 mindestens der Klasse 2

Wenn Zwischenplatten oder eine Druckvorrichtung verwendet werden, müssen diese den Anforderungen entsprechen, die in DIN 51 223 für Druckplatten enthalten sind. Die Ebenheitstoleranz der Zwischenplatten darf auf einer Strecke von 100 mm nicht größer als 0,01 mm sein.

Beim Betrieb der Druckprüfmaschine sind die sicherheitstechnischen Anforderungen in DIN 51 220 und DIN 51 223 zu beachten.

5 Probekörper

5.1 Probenahme

Die Probeblöcke, aus denen die Probekörper herauszuarbeiten sind, sind nach DIN 52 101 zu entnehmen. Die Probekörper dürfen auch aus Tiefbohrkernen und aus Kernen von Bohrungen aus Grubenbauen gewonnen werden. Wasserempfindliche Proben sind unmittelbar nach der Probenahme mit einem wasserundurchlässigen Stoff zu umhüllen.

5.2 Form und Größe

5.2.1 Als Probekörper sind in der Regel Würfel mit einer Kantenlänge von (50 ± 2) mm oder Zylinder mit einem Durchmesser von (50 ± 2) mm und einer Höhe von (50 ± 2) mm zu verwenden.

5.2.2 Bei natürlichem Festgestein im Steinkohlenbergbau sind Zylinder mit einem Durchmesser von (40 ± 4) mm und einer Höhe von (40 ± 4) mm zu verwenden.

5.2.3 Bei Gesteinen mit ungleichmäßigem oder grobkristallinem oder groblöcherigem Gefüge sind in der Regel Würfel mit einer Kantenlänge von (100 ± 5) mm oder Zylinder mit einem Durchmesser von (100 ± 5) mm und einer Höhe von (100 ± 5) mm zu verwenden.

5.2.4 In Sonderfällen muß der Durchmesser der Probekörper der Körnung des Gesteins angepaßt werden. Der Durchmesser des Probekörpers muß mindestens 10mal größer sein als das größte Einzelkorn.

5.3 Herstellung

Aus Probeblöcken sind Würfel naß herauszusägen, Zylinder naß herauszubohren. Bei wasserempfindlichem Gestein sind die Probekörper trocken herauszuarbeiten. Die Entnahmerichtung ist im Hinblick auf Schichtung, Bankung, Schieferung oder sonstige Absonderungsflächen am Probekörper zu kennzeichnen.

Die Druckflächen sind eben und zueinander parallel zu schleifen. Die Ebenheitstoleranz der Druckflächen darf 0,1 mm nicht überschreiten. Die Druckflächen müssen senkrecht zur Achse des Probekörpers stehen.

5.4 Anzahl

Sofern nichts anderes festgelegt ist, sind mindestens fünf Probekörper möglichst in gleicher Richtung zu entnehmen und zu prüfen.

5.5 Vorbehandlung

Wenn die Beurteilung des Gesteins keine andere Prüfung verlangt, sind die Probekörper im lufttrockenen Zustand zu prüfen.

Die Probekörper dürfen keine Haarrisse haben. Zur Prüfung auf Haarrisse empfiehlt sich ein kurzes Eintauchen der Probekörper in Wasser und anschließendes Trocknen im Luftstrom. Haarrisse sind dann leicht zu erkennen.

6 Durchführung

6.1 Für die Querschnittsberechnung sind die maßgebenden Maße des Probekörpers in der Mitte der Höhe auf 0,1 mm zu messen. Der Anfangsquerschnitt A_0 des Probekörpers ist auf 1 mm² gerundet zu berechnen.

6.2 Die Druckflächen des Probekörpers und die Druckplatten der Druckprüfmaschine müssen sauber und dürfen nicht gefettet sein. Zwischenlagen aus Blei, Pappe, Filz oder dergleichen zwischen den Druckplatten und dem Probekörper sind unzulässig.

Fortsetzung Seite 2

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN

Normenausschuß Bergbau (FABERG) im DIN

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

6.3 Der Probekörper ist zentrisch zwischen die Druckplatten der Druckprüfmaschine zu stellen. Die Druckkraft ist gleichmäßig und stetig bis zum Bruch zu steigern. Die Spannungszunahme soll $(1,0 \pm 0,5)$ N/mm² je Sekunde betragen. Die auftretende Höchstkraft $F_{\max}$ ist in kN zu messen.

7 Auswertung

Die Druckfestigkeit β_D ist für jeden Probekörper in N/mm² auf 0,1 N/mm² nach Zahlenwertgleichung (2) zu berechnen.

$$\beta_D = \frac{1000 F_{\max}}{A_0} \quad (2)$$

Hierin bedeuten:

$F_{\max}$ Höchstkraft in kN

A_0 Anfangsquerschnitt in mm²

Aus den Einzelwerten der Druckfestigkeit ist der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$ nach Gleichung (3) auf 1 N/mm² gerundet zu berechnen. Gegebenenfalls sind die Standardabweichung s und der Variationskoeffizient v nach den Gleichungen (4) und (5) zu berechnen.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$v = \frac{s}{|\bar{x}|} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Hierin bedeuten:

n Anzahl der Probekörper

x_i Meßwert

8 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind unter Hinweis auf diese Norm anzugeben:

- Kennzeichnung, Herkunft (Bruchort), Anzahl und Größe der Probestücke
- Handelsübliche und petrographische Gesteinsbezeichnung
- Einfache Beschreibung des Gesteins durch Farbe und Gefüge nach Augenschein
- Art der Herstellung der Probekörper, möglichst mit Angabe der Entnahmerichtung aus dem Probestück. Bei nasser Herstellung der Probekörper Zusammensetzung der verwendeten Spülflüssigkeit, falls nicht Wasser als Spülflüssigkeit verwendet wurde
- Form, Größe und Anzahl der Probekörper, gegebenenfalls auch Anzahl der ausgesonderten nichtprüfbaren Probekörper (siehe Abschnitt 5.5)
- Spannungszunahme, sofern außerhalb von $(1,0 \pm 0,5)$ N/mm² je Sekunde
- Druckfestigkeit β_D für jede geprüfte Richtung, Einzelwerte auf 0,1 N/mm² und arithmetischer Mittelwert auf 1 N/mm² sowie gegebenenfalls Standardabweichung s und Variationskoeffizient v
- Beschreibung des Bruchbildes

Zitierte Normen

DIN 51 220	Werkstoffprüfmaschinen; Allgemeine Richtlinien
DIN 51 223	Werkstoffprüfmaschinen; Druckprüfmaschinen; Anforderungen
DIN 52 101	Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Probenahme

Frühere Ausgaben

DIN DVM 2105: 04.28
DIN 52 105: 11.42; 08.65

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe August 1965 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Für den Druckversuch an natürlichem Festgestein im Steinkohlenbergbau Probekörper mit Maßen von 40 mm sowie für Sonderfälle Bedingung für Durchmesser aufgenommen
- Formelzeichen für die Kraft von P in F , für die Druckfestigkeit von σ_{dB} in β_D geändert
- Für die Probekörper Kennzeichnung der Entnahmerichtung, Anforderungen an Ebenflächigkeit und Prüfung auf Haarrisse aufgenommen
- Rundung des anzugebenden Anfangsquerschnitts des Probekörpers von 10 in 1 mm² geändert
- Verbot der Verwendung von Zwischenlagen beim Druckversuch aufgenommen
- Bei Belastungsgeschwindigkeit Zeitspanne durch Spannungszunahme je Zeit ersetzt
- Für den Prüfbericht Angabe der Rohdichte des Gesteins gestrichen
- Als Einheit für die Kraft kN und für die Druckfestigkeit N/mm² eingeführt
- Gleichungen zur Berechnung von Standardabweichung und Variationskoeffizient, die gegebenenfalls anzugeben sind, aufgenommen

Erläuterungen

Diese Norm ist vom Unterausschuß NMP 311.6 „Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Festigkeitsprüfverfahren“ des Arbeitsausschusses NMP 311 „Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen“ zusammen mit den Normenausschüssen Bauwesen (NABau) und Bergbau (FABERG) ausgearbeitet worden.

Internationale Patentklassifikation

B 28 D 1/00 G 01 N 3/00 G 01 N 33/24 G 01 N 33/38 G 01 N 33/42

Prüfung von Naturstein
Kristallisationsversuch
 mit Natriumsulfat

DIN
52 111

Testing of natural stones; crystallization test with sodium sulfate

Essai des pierres naturelles; essai de cristallisation avec sulfate de sodium

1 Zweck und Anwendungsbereich

Der Kristallisationsversuch nach dieser Norm dient neben und in Verbindung mit den Prüfungen und Erhebungen nach DIN 52 106 zur Beurteilung der Verwitterungsbeständigkeit von Naturstein. Die Proben erfahren hierbei durch Kristallisationsdruck eine innere Beanspruchung. Diese Wirkung entsteht dadurch, daß reines Natriumsulfat bei Temperaturen über 32,4 °C wasserfrei als Thenardit Na_2SO_4 auskristallisiert und bei niedrigeren Temperaturen unter beträchtlicher Volumenzunahme zu Glaubersalz $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ umkristallisiert.

Die Anwendung dieses Verfahrens ist auf solche Gesteine zu beschränken, die durch die Einlagerung in gesättigte Natriumsulfatlösung keine chemische Veränderung erfahren.

Die abschließende Gesamtbeurteilung ist im Zusammenhang mit den anderen Erhebungen und Prüfungen nach DIN 52 106 zu treffen und einem auf diesem Gebiet erfahrenen Fachmann vorzubehalten.

2 Kurzbeschreibung des Verfahrens

Bis zur Gewichtskonstanz getrocknete Proben werden bei Raumtemperatur mit gesättigter Natriumsulfatlösung (Prüflösung) getränkt. Die so vorbehandelten Proben werden bei 110 °C getrocknet, wieder auf Raumtemperatur abgekühlt und erneut getränkt. Trocknen und Tränken wiederholt man in der Regel 10mal. Nach der Wechselbeanspruchung werden der auf das Trockengewicht der Probe bezogene Gewichtsverlust sowie Veränderungen in der Beschaffenheit festgestellt.

3 Geräte und Prüfmittel

Wärmeschrank mit zwangsläufiger Durchlüftung nach DIN 50 011 Teil 1 für Temperaturen bis mindestens 120 °C

Waage mit einer Fehlergrenze von $\pm 0,2 \text{ g}$

Gefäße mit einem Rauminhalt von mindestens dem 6fachen des Probenvolumens

in die Gefäße einhängbare Behälter aus bis 150 °C temperaturbeständigen Prüfsieben, z. B. mit Drahtsiebböden nach DIN 4188 Teil 1, und zwar für die Prüfung von Lieferkörnungen mit einer Maschenweite von 0,5 mm

Prüfsiebe mit Drahtsiebböden nach DIN 4188 Teil 1

Prüfsiebe mit Lochblechen mit Quadratlochung Qd nach DIN 4187 Teil 2

Exsikkator

Trocknungsmittel

Einrichtung, die gestattet, eine beliebige Prüftemperatur zwischen 20 bis 25 °C während der Versuchsdauer bis auf $\pm 1 \text{ °C}$ konstant zu halten

Natriumsulfat (Na_2SO_4), mindestens 99%, trocken, rein, oder Natriumsulfat-10-Hydrat ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$), mindestens 99%, trocken, rein

Bariumchlorid-2-Hydrat ($\text{BaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$), technisch, kristallin

4 Proben

4.1 Die Proben sind nach DIN 52 101 zu entnehmen.

4.2 Als Proben dienen 150 bis 350 g schwere Stücke, in der Regel von gedrungener Form, oder Lieferkörnungen, deren Probemenge sich nach der Korngröße richtet (siehe Tabelle).

Korngröße mm	Probemenge g
bis 4	100
bis 16	500
über 16	1000

4.3 Es sind mindestens fünf möglichst gleichartige Probestücke (einer Varietät) oder bei Lieferkörnungen drei Proben zu prüfen.

5 Vorbereitung der Prüfung

5.1 Herstellen der Prüflösung

Als Prüflösung wird gesättigte Natriumsulfatlösung verwendet. In je 1 l destilliertes Wasser werden 750 g des Natriumsulfat-10-Hydrats oder 350 g des kristallwasserfreien Natriumsulfats gegeben. Es ist zweckmäßig, die Lösung bei höheren Temperaturen herzustellen und anschließend auf die Prüftemperatur abzukühlen. Die Bildung von Bodensatz zeigt an, daß eine gesättigte Lösung vorliegt. Sie ist für jede Versuchsreihe neu zu bereiten.

5.2 Vorbehandeln der Proben

Probestücke sind mit Wasser zu reinigen und von losen Teilen zu befreien. Lieferkörnungen sind durch Naßabsieben zu reinigen und von Über- und Unterkorn zu befreien.

6 Durchführung

6.1 Allgemeines

Die Gewichtskonstanz einer Probe gilt als erreicht, wenn sich ihr Gewicht innerhalb von 24 Stunden um nicht mehr als 0,1% ändert. Das zuletzt festgestellte Gewicht ist maßgebend.

6.2 Bestimmung des Trockengewichtes

Die Proben werden bei $(110 \pm 5) \text{ °C}$ bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Vor jedem Wägen sind die Proben

Fortsetzung Seite 2

Erläuterungen Seite 2

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Berlin, gestattet.

Früher :sgaben: 09.42x

Änderung Dezember 1976:
 Probenform geändert. Prüfung von Lieferkörnungen aufgenommen. Versuchsbedingungen präzisiert. Abschnitte „Kurzbeschreibung des Verfahrens“ und „Geräte und Prüfmittel“ aufgenommen. Inhalt überarbeitet.

im Exsikkator auf Raumtemperatur (18 bis 28 °C nach DIN 50 014) abzukühlen (Gewicht m_{tr1}).

6.3 Ersttränkung der Proben

Die nach Abschnitt 6.2 getrockneten Proben werden zur Vorbereitung auf die Wechselbeanspruchung einer ersten Tränkung unterzogen, die, wie in Abschnitt 6.4 Absatz 2 beschrieben, durchzuführen ist.

6.4 Wechselbeanspruchung durch Kristallisationsdruck

Die Proben werden aus der Lösung entnommen und nach kurzem Abtropfen der anhaftenden Flüssigkeit im Wärmeschrank 6 bis 7 Stunden lang bei (110 ± 5) °C getrocknet. Anschließend werden die Proben im Exsikkator über Trocknungsmittel auf die zwischen 20 und 25 °C gewählte Prüftemperatur ± 1 °C abgekühlt. Im Falle längerer Unterbrechungen verbleiben die Proben im Exsikkator.

Nach dem Trocknen werden die Probestücke mit den eingehängbaren Behältern in den Gefäßen eine Stunde lang bis zur Hälfte, dann vollständig mit 20 mm Überdeckung in die nach Abschnitt 5.1 hergestellte Prüflösung gegeben. Proben von Lieferkörnungen werden sofort vollständig in die Prüflösung bis zu einer Überdeckung von mindestens 20 mm gegeben. Die gewählte Prüftemperatur ist während des Tränkens auf ± 1 °C einzuhalten. Die Proben verbleiben 16 bis 17 Stunden lang in der Prüflösung. Die Gefäße mit den Proben und Prüflösungen sind abzudecken. Wenn nichts anderes festgelegt ist, werden die Proben einer 10maligen Wechselbeanspruchung ausgesetzt. Eine Wechselbeanspruchung besteht aus Trocknen und Tränken.

7 Auswertung

Nach 10maliger Wechselbeanspruchung werden die Proben in heißem Wasser gewaschen. Das Wasser ist so lange zu erneuern, bis in der Waschlösung kein aus der Probe gelöstes Sulfat mehr mit Bariumchlorid nachweisbar ist. Zum Vergleich empfiehlt es sich, das unbenutzte Wasser ebenfalls auf Trübung zu prüfen. Dies kann entfallen,

wenn der letzte Waschvorgang mit destilliertem Wasser durchgeführt wird.

Anschließend werden die Probestücke von lose anhaftenden Teilen und Lieferkörnungen vom Siebdurchgang durch ein Prüfsieb mit einer Maschenweite von etwa der Hälfte der unteren Nenn-Korngröße befreit. Die Proben werden dann bei (110 ± 5) °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen (Gewicht m_{tr2}).

Bei Probestücken sind der Gewichtsverlust, erkennbare Rißbildungen und sonstige Beschädigungen, bei Lieferkörnungen nur der Gewichtsverlust zu ermitteln und auf das Gewicht m_{tr1} zu beziehen (relativer Gewichtsverlust).

Bei Probestücken kann es aufschlußreich sein, den Verlauf der Gewichtsveränderungen durch Zwischenwägungen festzustellen (siehe Erläuterungen).

8 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind unter Hinweis auf diese Norm anzugeben:

Art des Gesteins

Einfache Beschreibung des Gesteins durch Farbe und Gefüge nach Augenschein

Probenahme

Form und Anzahl sowie gegebenenfalls Körnung der Proben

Anzahl der Wechselbeanspruchungen

Trockengewicht m_{tr1} der Proben (siehe Abschnitt 6.2) in g auf 0,2 g, Einzelwerte

Trockengewicht m_{tr2} der Proben (siehe Abschnitt 7) in g auf 0,2 g, Einzelwerte

Gewichtsverlust, bezogen auf das Trockengewicht m_{tr1} , in % auf 1 % gerundet, Einzelwerte und Mittelwert

Gegebenenfalls Veränderung der Beschaffenheit (Rißbildung und sonstige Beschädigung) der Probestücke

Gegebenenfalls Beobachtungen hinsichtlich des Aussehens der Proben nach dem Tränken während der ersten Wechselbeanspruchung nach Abschnitt 6.4

Erläuterungen

Der Arbeitsausschuß B 4 „Prüfung von Naturstein, Mörtel- und Betonzuschlagstoffen“ hat die vom Unterausschuß B 4 a „Frostwechselversuche“ ausgearbeitete Folgeangabe von DIN 52 111 herausgegeben.

Zu den Beurteilungsgrundlagen für die Verwitterungsbeständigkeit von Naturstein zählt nach DIN 52 106 unter anderem auch der Kristallisationsversuch nach DIN 52 111.

Der Kristallisationsversuch hat mit der Eiskristallisation beim Befrosten gemeinsam, daß infolge der mit einer Volumenvergrößerung verbundenen Salzkristallisationskräfte auf die Porenwandungen des Gesteins ausgeübt werden, die bedeutend größer sind als die Festigkeit der Gesteine und damit zur Zerstörung führen, wenn nicht freie Hohlräume die neu gebildeten Volumina aufnehmen können. Da sich die Volumina des Systems Thenardit – Glaubersalz etwa wie 1:4 verhalten, ist dieser Kristallisationsversuch als Versuch bedeutend schärfer als der Frosttauwechsel-Versuch, wo die Volumina des Systems Wasser – Eis im Verhältnis 1:1,1 stehen. Das hat zur Folge, daß ein bei der Eiskristallisation als aus-

reichend anzusehender Porenreserveraum nicht ausreicht, um der aus einer zunehmenden Anzahl von Tränkungen resultierenden Volumenzunahme infolge Glaubersalzbildung genügend Raum zu bieten. Das bedeutet, daß das Salzkristallisationsverfahren zu einer relativ schnellen Zerstörung des Gesteins führt.

Ob die 10malige Wechselbeanspruchung zu einer Beurteilung ausreicht oder ob eine andere Anzahl vereinbart wird, muß im Anwendungsfall entschieden werden. Eine Entscheidungshilfe kann die Feststellung des Verlaufs der Gewichtsänderung geben.

Es sei darauf hingewiesen,

- a) daß bisher keine eindeutige Übereinstimmung zwischen dem Verhalten der Gesteine bei Beanspruchung durch den Kristallisationsversuch (Salzkristallisation) und der Frosttauwechsel-Beanspruchung erhalten worden ist,
- b) daß der an Handstücken festgestellte Gewichtsverlust anders als der Gewichtsverlust zu bewerten ist, der an Lieferkörnungen bestimmt wird.

Prüfung von Naturstein

Biegeversuch

DIN
52 112Testing of natural stone; Bending test
Essais des pierres naturelles; Essai de flexionErsatz für Ausgabe 09.42
Mit DIN 52 201/05.85
Ersatz für die im Jahre 1985
zurückgezogene Norm
DIN 52 205/08.33**1 Anwendungsbereich und Zweck**

Der Biegeversuch nach dieser Norm dient zur Bestimmung der Biegefestigkeit von Naturstein.

2 BegriffDie **Biegefestigkeit** β_{BZ} von Naturstein ist der Quotient aus dem Biegemoment M_B beim Bruch des Probekörpers und dessen Widerstandsmoment W .

$$\beta_{BZ} = \frac{M_B}{W} \quad (1)$$

Für das Widerstandsmoment W gilt Gleichung (2),

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (2)$$

für das Biegemoment M_B beim Verfahren mit Mittelpunkt-Belastung Gleichung (3),

$$M_B = \frac{F_{\max} \cdot l_S}{4} \quad (3)$$

für das Biegemoment M_B beim Verfahren mit Dreipunkt-Belastung Gleichung (4).

$$M_B = \frac{F_{\max} \cdot l_S}{6} \quad (4)$$

In den Gleichungen (2) bis (4) bedeuten:

- b Breite des Probekörpers
 h Höhe des Probekörpers
 l_S Stützweite
 $F_{\max}$ Höchstkraft beim Biegeversuch

3 Bezeichnung

Zur eindeutigen Bezeichnung des Biegeversuchs nach dieser Norm müssen folgende Merkmale angegeben werden:

- a) Art des Verfahrens:
 - A für Mittelpunkt-Belastung
 - B für Dreipunkt-Belastung
- b) Zahlenwert der Kantenlänge des Probekörpers in mm oder bei dünnen Platten (siehe Abschnitte 6.2.3 und 6.2.4) die Zahlenwerte der Länge und Breite des Probekörpers in mm

Bezeichnung des Biegeversuches mit Mittelpunkt-Belastung (A) an einem Probekörper mit einer Kantenlänge des quadratischen Querschnitts von 50 mm:

Prüfung DIN 52 112 - A - 50

4 Kurzbeschreibung der Verfahren**4.1 Biegeversuch mit Mittelpunkt-Belastung (Verfahren A)**

Ein Probekörper des zu prüfenden Gesteins (im allgemeinen ein Balken mit quadratischem Querschnitt), auf zwei Auflagern liegend, wird mit einer in der Mitte zwischen den Auflagern linienförmig angreifenden Einzelkraft (siehe Bild 1) stetig bis zum Bruch belastet.

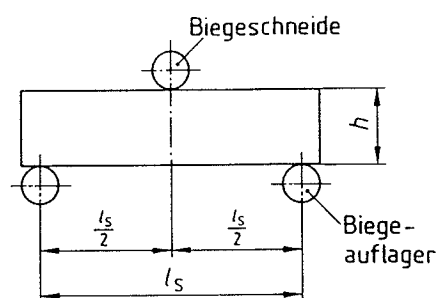


Bild 1. Biegeprüfanordnung bei Mittelpunkt-Belastung (Verfahren A)

4.2 Biegeversuch mit Dreipunkt-Belastung (Verfahren B)

Ein Probekörper des zu prüfenden Gesteins (im allgemeinen ein Balken mit quadratischem Querschnitt), auf zwei Auflagern liegend, wird mit zwei in den Dreipunkten zwischen den Auflagern linienförmig angreifenden Kräften (siehe Bild 2) stetig bis zum Bruch belastet.

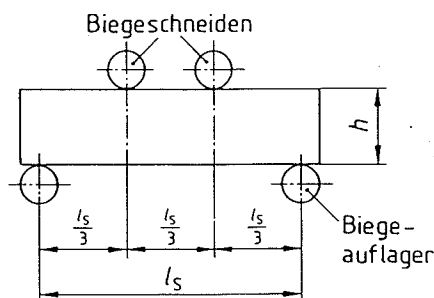


Bild 2. Biegeprüfanordnung bei Dreipunkt-Belastung (Verfahren B)

Fortsetzung Seite 2 und 3

Normenausschuß Materialprüfung (NMP) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN

Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin, gestattet.

5 Gerät

Biegeprüfmaschine nach DIN 51 227 oder eine gleichwertige Prüfmaschine mit einer Kraftmeßeinrichtung, die mindestens den Anforderungen der Klasse 2 nach DIN 51 220 entspricht.

Die Biegeauflager und Biegeschneiden müssen einen Krümmungsradius von 10 mm haben. Bei jedem Verfahren darf nur ein Biegeauflager oder eine Biegeschneide unbeweglich sein, alle anderen Biegeauflager und Biegeschneiden müssen in der zur Längsachse des Probekörpers senkrechten Ebene kippbar gelagert sein.

6 Probekörper

6.1 Probenahme

Die Probelöcher, aus denen die Probekörper herauszuarbeiten sind, sind nach DIN 52 101 zu entnehmen.

6.2 Form und Größe

6.2.1 Als Probekörper sind in der Regel Balken mit quadratischem Querschnitt mit einer Kantenlänge von 50 mm und mit einer Länge von 300 mm zu verwenden.

6.2.2 Bei Gesteinen mit ungleichmäßigem oder grobkristallinem oder groblöchrigem Gefüge sind Balken mit quadratischem Querschnitt mit einer Kantenlänge von 100 mm und mit einer Länge von 600 mm zu verwenden.

6.2.3 Bei Dachschiefer und Gestein, das in Form von Platten mit einer Dicke unter 30 mm vorliegt, dienen Stücke von 200 mm × 100 mm der gegebenen Dicke als Probekörper.

6.2.4 Aus vorhandenen Platten, z.B. Fassadenplatten, mit einer Dicke zwischen 30 und 50 mm sind Probekörper zu entnehmen, deren Länge dem 6fachen und deren Breite dem 2- oder 3fachen der Plattendicke entspricht.

Damit ergeben sich

- bei 30 mm dicken Platten ($h = 30$ mm)
Probekörper von 180 mm Länge und 90 mm Breite
- bei 40 mm dicken Platten ($h = 40$ mm)
Probekörper von 240 mm Länge und 80 mm Breite.

6.3 Herstellung

Aus Probelöcher sind die Probekörper naß herauszusägen. Bei wasserempfindlichem Gestein sind die Probekörper trocken herauszuarbeiten. Die Entnahmerichtung ist im Hinblick auf Schichtung, Bankung, Schieferung oder sonstige Absonderungsflächen am Probekörper zu kennzeichnen.

6.4 Anzahl

Sofern nichts anderes festgelegt ist, sind mindestens fünf Probekörper möglichst in gleicher Richtung zu entnehmen und zu prüfen. Bei Dachschiefer sollte der Unterschied der mittleren Dicke der zu prüfenden Probekörper höchstens 1 mm betragen.

6.5 Vorbehandlung

Wenn die Beurteilung des Gesteins keine andere Prüfung verlangt, sind die Probekörper im lufttrockenen Zustand zu prüfen.

Die Probekörper dürfen keine Haarrisse haben. Zur Prüfung auf Haarrisse empfiehlt sich ein kurzes Eintauchen der Probekörper in Wasser und anschließendes Trocknen im Luftstrom. Haarrisse sind dann leicht zu erkennen.

7 Durchführung

7.1 Breite b und Höhe (bzw. Dicke) h des Probekörpers sind in Probekörpermitte auf 0,1 mm zu messen.

7.2 Der Probekörper ist bei Verfahren A nach Bild 1 und bei Verfahren B nach Bild 2 über Biegeschneiden zu belasten (siehe auch Bild 3 bis Bild 5). Die Stützweite muß das 5fache der Höhe des Probekörpers betragen.

Dachschiefer ist stets nach Verfahren A für Mittelpunkt-Belastung mit einer Stützweite von 180 mm zu prüfen. Zur gleichmäßigen Kraftübertragung sind zwischen Probekörper und den Biegeauflagern sowie zwischen Probekörper und der Biegeschneide Zwischenlagen aus Gummi von 5 mm Dicke mit einer Härte von 35 IRHD nach DIN 53 519 Teil 2 zu verwenden.

Die Biegekraft ist gleichmäßig und stetig mit einer Spannungszunahme von etwa 0,2 N/mm² je Sekunde bis zum Bruch zu erhöhen. Die auftretende Höchstkraft $F_{\max}$ ist in kN zu messen.

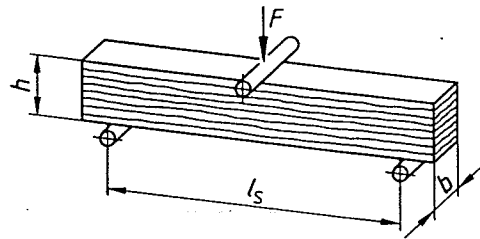


Bild 3. Versuchsanordnung für Verfahren A zur Prüfung eines Probekörpers, bei dem die Kraft senkrecht zur Lagerfläche (natürlicher Schichtung, Bankung oder Schieferung) wirkt

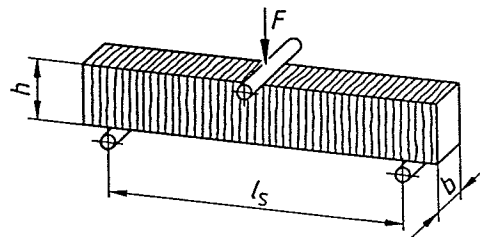


Bild 4. Versuchsanordnung für Verfahren A zur Prüfung eines Probekörpers, bei dem die Kraft parallel zur Lagerfläche (natürlicher Schichtung, Bankung oder Schieferung) wirkt

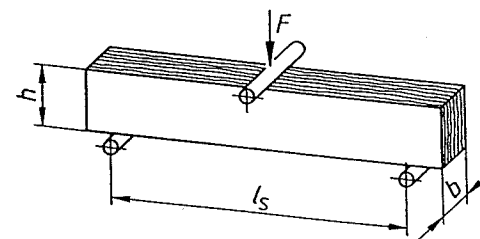


Bild 5. Versuchsanordnung für Sonderfälle

8 Auswertung

Die Biegefestigkeit β_{BZ} ist für jeden Probekörper – ausgenommen bei Dachschiefer (siehe Abschnitt 9 Aufzählung g)) – in N/mm² auf 0,1 N/mm² zu berechnen

- nach Zahlenwertgleichung (5), wenn das Verfahren A (Biegeversuch mit Mittelpunkt-Belastung) angewendet worden ist:

$$\beta_{BZ} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1000 F_{\max} \cdot l_S}{b \cdot h^2} \quad (5)$$

- nach Zahlenwertgleichung (6), wenn das Verfahren B (Biegeversuch mit Dreipunkt-Belastung) angewendet worden ist:

$$\beta_{BZ} = \frac{1000 F_{\max} \cdot l_S}{b \cdot h^2} \quad (6)$$

In den Zahlenwertgleichungen (5) und (6) bedeuten:

$F_{\max}$	Höchstkraft in kN
l_S	Stützweite in mm
b	Breite des Probekörpers in mm
h	Höhe des Probekörpers in mm

9 Prüfbericht

Im Prüfbericht sind unter Hinweis auf diese Norm anzugeben:

- Kennzeichnung, Herkunft (Bruchort), Anzahl und Größe der Probeblöcke
- Handelsübliche und petrographische Gesteinsbezeichnung
- Einfache Beschreibung des Gesteins durch Farbe und Gefüge nach Augenschein
- Art der Herstellung der Probekörper, möglichst mit Angabe der Entnahmerichtung aus dem Probekblock. Bei nasser Herstellung der Probekörper Zusammensetzung der verwendeten Spülflüssigkeit, falls nicht Wasser als Spülflüssigkeit verwendet wurde
- Maße und Anzahl der Probekörper, gegebenenfalls auch Anzahl der ausgesonderten nichtprüfbaren Probekörper (siehe Abschnitt 6.5)
- Angewandetes Verfahren
- Biegefestigkeit β_{BZ} für jede geprüfte Richtung, Einzelwerte auf 0,1 N/mm² und arithmetischer Mittelwert auf 1 N/mm² bzw. bei Dachschiefer die Höchstkraft $F_{\max}$ auf 0,01 kN, Einzelwerte und arithmetischer Mittelwert für jede geprüfte Richtung, mit Angabe der mittleren Dicke jedes Probekörpers am Bruchquerschnitt auf 0,1 mm
- Lage der Bruchstelle und Beschreibung des Bruchbildes

Zitierte Normen

DIN 51 220	Werkstoffprüfmaschinen; Allgemeine Richtlinien
DIN 51 227	Werkstoffprüfmaschinen; Biegeprüfmaschinen
DIN 52 101	Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Probenahme
DIN 53 519 Teil 2	Prüfung von Elastomeren; Bestimmung der Kugeldruckhärte von Weichgummi, Internationaler Gummihärtegrad (IRHD); Härteprüfung an Proben geringer Abmessungen, Mikrohärteprüfung

Frühere Ausgaben

DIN DVM 2205 = DIN 52 205: 08.33
DIN 52 112: 09.42

Änderungen

Gegenüber der Ausgabe September 1942 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Verfahren B (Biegeversuch mit Dreipunkt-Belastung) aufgenommen
- Bedingungen für die Prüfung von Gestein, das in Form von Platten vorliegt, und (als Ersatz für DIN 52 205/08.33) für Dachschiefer aufgenommen
- Für Probekörper zwei Größen festgelegt; Prüfung auf Haarrisse aufgenommen
- Stützweite vom 3,5fachen auf das 5fache der Höhe der Probekörper erhöht
- Bedingungen für Prüfmaschine und Prüfbericht aufgenommen
- Formelzeichen geändert, Krafteinheit N eingeführt
- Normbezeichnung aufgenommen
- Inhalt der Norm überarbeitet

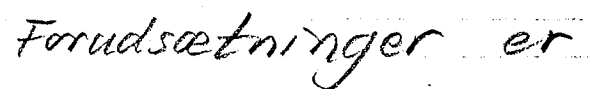
Erläuterungen

Diese Norm ist vom Unterausschuß NMP 311.6 „Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen; Festigkeitsprüfverfahren“ des Arbeitsausschusses NMP 311 „Prüfung von Naturstein und Gesteinskörnungen“ zusammen mit dem Normenausschuß Bauwesen (NABau) ausgearbeitet worden.

Internationale Patentklassifikation

G 01 N 3/00
G 01 N 33/24
G 01 N 33/38

7



Murvætsdensitet 1700 —1—

Det stabiliserende moment bør efter gammel tradition være 1,5 gang større end det væltende.

statistiske beregninger, gesims 2

$$\left. \begin{aligned} M_{v1} &= \frac{1}{2} \cdot 0,22^2 \cdot 23 \cdot \frac{1}{3} \cdot 0,22 = \underline{0,041} \\ M_{s1} &= 0,16^2 \cdot 23 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,16 = \underline{0,047} \end{aligned} \right\} \frac{M_{s1}}{M_{v1}} = \frac{0,047}{0,041} = \underline{1,15}$$

fastgørelse nødv.

$$\left. \begin{aligned} M_{v2} &= 0,23 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,23 + \\ &\quad 0,3 \cdot 0,2 \cdot 23 \cdot 0,2 = \underline{0,367} \\ M_{s2} &= 1,02 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,02 + \\ &\quad 0,25 \cdot 0,27 \cdot 17 \cdot 1,15 + \\ &\quad 0,47 \cdot 0,17 \cdot 17 \cdot 0,79 = \underline{4,187} \end{aligned} \right\} \frac{4,19}{0,37} = \underline{11} \quad \text{ok!}$$

$$\left. \begin{aligned} M_{v3} &= 0,3 \cdot 0,2 \cdot 23 \cdot 0,52 + \\ &\quad 0,57 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,28 + \\ &\quad 0,375 \cdot 0,19 \cdot 0,29 \cdot 23 = \underline{1,74} \\ M_{s3} &= 0,47 \cdot 0,17 \cdot 17 \cdot 0,44 + \\ &\quad 0,25 \cdot 0,27 \cdot 17 \cdot 0,8 + \\ &\quad 0,69 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,35 + \\ &\quad 0,94^2 \cdot 0,19 \cdot 23 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,29 = \underline{2,90} \end{aligned} \right\} \frac{2,90}{1,74} = \underline{1,67} \quad \text{ok!}$$

$$\left. \begin{aligned} M_{v4} &= 0,3 \cdot 0,2 \cdot 23 \cdot 0,61 + 0,66 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,33 + \\ &\quad 0,48 \cdot 0,19 \cdot 0,29 \cdot 23 \cdot 0,24 + \\ &\quad 0,15 \cdot 0,05 \cdot 23 \cdot 0,08 + \\ &\quad 0,15 \cdot 0,19 \cdot 0,71 \cdot 17 \cdot 0,08 = \underline{1,78} \\ M_{s4} &= 0,47 \cdot 0,17 \cdot 17 \cdot 0,36 + 0,25 \cdot 0,27 \cdot 17 \cdot 0,72 + \\ &\quad 0,12^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 17 + \frac{1}{2} \cdot 0,45^2 \cdot 0,25 \cdot 17 \cdot 0,71 \cdot \frac{1}{3} + \\ &\quad 0,85^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,19 \cdot 0,29 \cdot 23 + 0,6^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,15 \cdot 23 \\ &= \underline{2,53} \end{aligned} \right\} \frac{2,53}{1,78} = \underline{1,42}$$

< 1,5 $\Rightarrow$ lodanker nødv.

Statistiske beregninger, gesims.

4

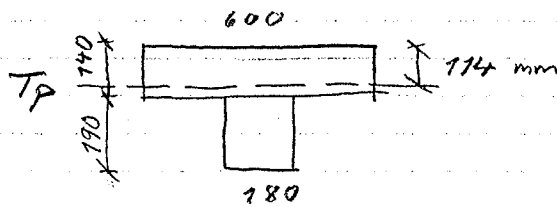
Antages konsollen at skulle bære karnissten og gesimsblok og at være indspændt omkring pkt. 4

$$M_{\max} = \overset{b}{0,3} \cdot \overset{h}{0,2} \cdot \overset{L}{0,6} \cdot 23 \cdot \overset{g}{0,65} + 0,7 \cdot 0,15 \cdot 0,6 \cdot 23 \cdot 0,35 + 0,18 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 23 \cdot 0,25 = \underline{1,15 \text{ kNm}}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{W} = \frac{1,15 \cdot 10^6}{\frac{1}{6} 180 \cdot 190^2} = \underline{1,06 \text{ N/mm}^2}$$

Kravet til den regningsmæssige bøjningsstyrke er da 1,06 N/mm²

Med den viste konstruktion kan der dog overføres forskydning mellem gesimsblok og konsolsten. Dermed kommer stenene til at virke sammen som T-trærsnit.



$$S = 0,14 \cdot 0,6 \cdot 0,14 \cdot \frac{1}{2} + 0,18 \cdot 0,19 \cdot 0,235 = \underline{0,0135}$$

$$A = 0,14 \cdot 0,6 + 0,18 \cdot 0,19 = \underline{0,118}$$

$$e = \frac{0,0135}{0,118} = \underline{0,114 \text{ m}}$$

$$I = \frac{1}{12} 600 \cdot 140^3 + \frac{1}{12} 180 \cdot 190^3 + 600 \cdot 140 \cdot 44^2 + 190 \cdot 180 \cdot 121^2 = \underline{903 \cdot 10^6 \text{ mm}^4}$$

$$W = \frac{2 \cdot 903 \cdot 10^6}{330} = \underline{5472 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}$$

$$\sigma = \frac{1,15 \cdot 10^6}{5472 \cdot 10^3} = \underline{0,21 \text{ N/mm}^2}$$

Statistiske beregninger, gesims

3

$$M_{v5} = 0,3 \cdot 0,2 \cdot 23 \cdot 0,72 + 0,78 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,39 +$$

$$0,6 \cdot 0,19 \cdot 0,29 \cdot 23 \cdot 0,3 + 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,71 \cdot 17 \cdot 0,1 +$$

$$0,25 \cdot 0,19 \cdot 0,71 \cdot 17 \cdot 0,125 = \underline{2,39}$$

$$M_{s5} = 0,47 \cdot 0,17 \cdot 17 \cdot 0,28 + 0,47 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,24 +$$

$$0,25 \cdot 0,27 \cdot 17 \cdot 0,58 + 0,72 \cdot 0,19 \cdot 0,29 \cdot 23 \cdot 0,36 +$$

$$0,72 \cdot 0,19 \cdot 0,71 \cdot 17 \cdot 0,36 + \frac{1}{2} \cdot 0,42 \cdot 0,2 \cdot 17 \cdot \frac{1}{3} +$$

$$= \underline{2,45}$$

$$\frac{2,45}{2,39} = 1,03$$

$$< 1,5 \Rightarrow$$

lodanker

$$M_{v6} = 0,3 \cdot 0,2 \cdot 23 \cdot 0,78 + 0,87 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,435 +$$

$$0,68 \cdot 0,19 \cdot 0,36 \cdot 0,34 \cdot 23 + 0,35 \cdot 0,19 \cdot 0,64 \cdot 17 \cdot 0,17 +$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0,35 \cdot 0,31 \cdot 17 \cdot 0,11 = \underline{2,97}$$

$$M_{s6} = 0,38 \cdot 0,15 \cdot 23 \cdot 0,19 + 0,38 \cdot 0,19 \cdot 0,36 \cdot 23 \cdot 0,19 +$$

$$0,42 \cdot 0,19 \cdot 0,18 \cdot 23 \cdot 0,6 + 0,38 \cdot 0,167 \cdot 0,7 \cdot 17 \cdot 0,19 +$$

$$0,42 \cdot 0,267 \cdot 0,7 \cdot 17 \cdot 0,6 + 0,8 \cdot 0,267 \cdot 0,7 \cdot 17 \cdot 0,4 +$$

$$\frac{1}{2} \cdot 0,8 \cdot 0,267 \cdot 17 \cdot 0,267 = \underline{3,01}$$

$$\frac{3,01}{2,97} = 1,01$$

$$< 1,5 \Rightarrow$$

lodanker

lodankeret medfører et tillæg i stabilitet -
- sørende moment på

$$M_{s6, \text{tillæg}} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 17 \cdot 0,25 +$$

$$(0,97 - 0,5) \cdot 0,6 \cdot \frac{1}{2} \cdot 17 \cdot 0,66 = \underline{2,8 \text{ kN/m}}$$

Sikkerhed mod væltning omkring pkt. 6 er da

$$\frac{3,01 + 2,8}{2,97} = \underline{1,96} > 1,5 \text{ dvs. Ok!}$$