

# Hygrothermische simulatie van vorstschade in metselwerk, effecten van klimaatverandering

**Citation for published version (APA):**

Aarle, van, M. A. P. (2013). Hygrothermische simulatie van vorstschade in metselwerk, effecten van klimaatverandering. In *Bouwkunde afstudeerbundel : diploma-uitreiking faculteit bouwkunde 2012-2013* (blz. 4-5). Technische Universiteit Eindhoven.

**Document status and date:**

Gepubliceerd: 01/01/2013

**Document Version:**

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

**Please check the document version of this publication:**

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

**General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

[www.tue.nl/taverne](http://www.tue.nl/taverne)

**Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

[openaccess@tue.nl](mailto:openaccess@tue.nl)

providing details and we will investigate your claim.

# Hygrothermische Simulatie van Vorstschade in Metselwerk

## Effecten van Klimaatverandering

### Afstudeerrichting

Physics of the Built Environment

### Afstudeercommissie

prof.dr.ir. B.J.E. Blocken

dr.ir. H.L. Schellen

dr.ir. A.W.M. van Schijndel

### Datum afstuderen

25 juni 2012

### Samenvatting

Klimaatverandering zal voor Nederland 's winters een stijging van luchttemperatuur en een toename van regenintensiteiten tot gevolg hebben volgens het KNMI. Door de stijging van de luchttemperatuur wordt de kans op vorstschade aan een uitwendige scheidingsconstructie kleiner. Echter de kans op vorstschade wordt groter doordat een constructie langer nat zal blijven t.g.v. de toename van regenintensiteiten. Onderzoek is gedaan naar deze tegenstrijdige vorstschade effecten, het type materiaal dat vorstgevoelig is, onder welke condities in het materiaal schade ontstaat, wat de buitencondities zijn (vorstschadewinters) en of het mogelijk is om met warmte- en vochtsimulaties de kans op vorstschade te voorspellen.

### Trefwoorden

Klimaatverandering

Vorstschade

Kalkzandsteen

Warmte- en vochtmodel

Simulatie

### Inleiding

Klimaatverandering zal voor Nederland 's winters een stijging van luchttemperatuur en een toename van regenintensiteiten tot gevolg hebben. Deze veranderingen zullen zeker invloed hebben op ons cultureel erfgoed. Niet alleen het interieur en collectie zijn belangrijk om voor toekomstige generaties te behouden maar ook monumentale gebouwen zelf. Desintegratie van metselwerk kan ontstaan door vorstschade. Door de stijging van de luchttemperatuur wordt de kans op vorstschade aan een uitwendige scheidingsconstructie kleiner. Echter de kans op vorstschade kan groter worden indien een constructie langer nat zal blijven t.g.v. toenemende extreme regenval. In dit onderzoek zal over deze tegenstrijdige vorstschade effecten een uitspraak worden gedaan. Onderzoek wordt gedaan naar het type materiaal dat vorstgevoelig is, onder welke condities in het materiaal schade ontstaat, welke buitencondities daarbij horen (vorstschadewinters) en een



Een voorbeeld van vorstschade (Foto: Damage Atlas, 1998)

warmte- en vochtmodel wordt gebruikt waarmee mogelijk de kans op vorstschade voorspeld kan worden. De methodologie is:

- 1) bestudering van literatuur over vorstschade;
- 2) verificatie van een gekoppeld warmte- en vochtmodel;
- 3) simulatie van case studies waaruit vorstschade moet blijken;
- 4) analyse van het buitenklimaat;
- 5) conclusies trekken uit literatuur en onderzoek met case studies.

### Literatuur

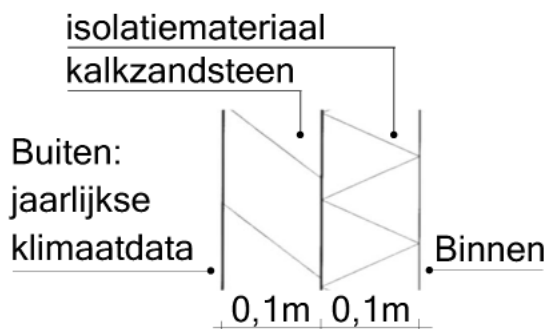
Vorstschade aan poreuze metselwerkconstructies kan ontstaan door diverse mechanismen waaronder de volumetoename als gevolg van de faseverandering van water in ijs. Drie voorwaarden moet gelijktijdig optreden:

- 1) de temperatuur moet lager zijn dan het vriespunt van water (0°C);
- 2) het materiaal moet vochtig zijn;
- 3) het materiaal dient ook vorstgevoelig te zijn.

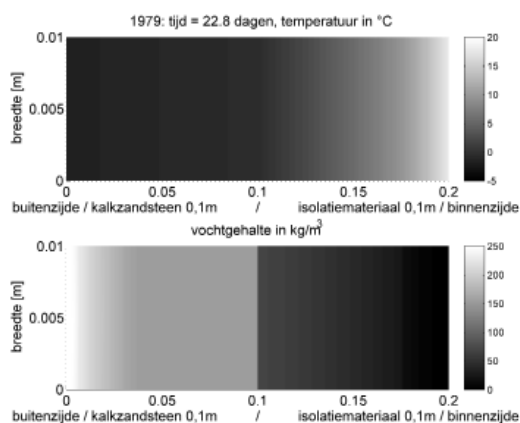
In kalkzandsteen treedt bevrozing op als het vochtgehalte dicht bij, of hoger dan, capillaire verzadiging ligt. Capillaire verzadiging bij metselwerk kan optreden na een langdurige regenperiode. Om dan vorstschade te laten ontstaan, moet direct strenge vorst intreden. Winters met deze klimatologische omstandigheden worden zogenaamde vorstschadewinters genoemd. Typische vorstschadewinters zijn de winters van: '62/'63, '78/'79 en '81/'82. Om onder verschillende luchttemperaturen en vochtbelastingen het optreden van vorstschade te kunnen testen bestaat in Nederland een methode die omschreven staat in de NEN 2872 (1989) en de nationale beoordelingsrichtlijn (BRL 1007). Het doel van de vriesdooiproef is om te kijken of stenen geschikt zijn voor praktijktoepassingen waarbij een hoge vochtbelasting optreedt (stenen voor buitentoepassingen) of zelfs een extreem hoge vochtbelasting (stenen die continu in het water staan).

Gekoppeld warmte- en vochttransport

Uit dit onderzoek blijkt dat modelvorming van gekoppeld warm-



Dwarsdoorsnede van een case studie



Temperaturen ( $\theta$ ) en vochtgehalten ( $w$ ) over de dwarsdoorsnede van de constructie voor één tijdstip van 22 januari in 1979

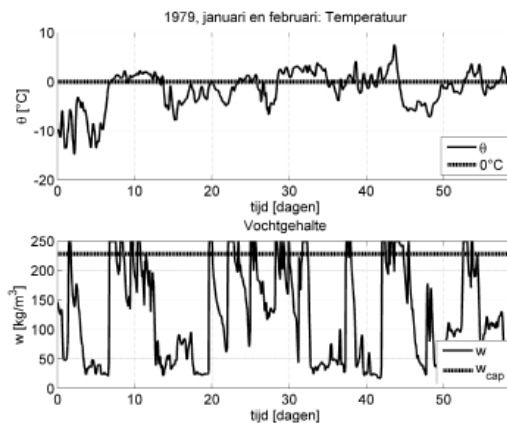
te-, damp- en watertransport een methode is om de kans op vorstschade te kunnen voorspellen. Het warmte- en vochttransport is gekoppeld omdat het transport afhankelijk van elkaar is. Met modelvorming wordt bedoeld de natuur- en wiskunde die nodig is om de vergelijkingen m.b.v. computersoftware (Comsol en Matlab) op te kunnen lossen. De geldigheid van het warmte- en vochtmodel is aangetoond d.m.v. Benchmarks (verificatie met soortgelijke studies). Warmte- en vochtstromen dienen door poreuze stenen te worden uitgerekend om in het materiaal temperaturen en vochtgehalten te kunnen bepalen. Hiervoor zijn condities nodig die grenzen aan de binnen- en buitenzijde van de constructie. Binnencondities worden constant verondersteld. De volgende klimaatcondities worden voor buiten aangehouden:

- 1) klimaatdata van het KNMI voor jaren 1971 tot 2011. Typische vorstschadewinters kunnen hieruit volgen;
- 2) klimaatdata bepaald met het REMO model voor klimaatscenario A1B voor de jaren 1971 tot 2011. REMO staat voor REgionaal atmosferisch Model;
- 3) toekomstige klimaatdata van 2059 tot 2099 zijn eveneens bepaald met het REMO model.

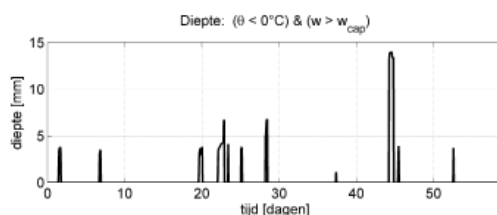
Uit 2 en 3 zou moeten volgen of de vorstschadekans toe- of afneemt. De weerdata zijn afkomstig van het Max Planck instituut.

#### Simulatie van case studies

Het optreden van vorstschade is met het warmte- en vochtmodel getest d.m.v. vier case studies. Er is o.a. gevarieerd met de opbouw van de constructie, de oriëntatie en het warmte- en vochtmodel. In afbeelding 2 is een dwarsdoorsnede weergegeven van één van de case studies. Berekende temperaturen ( $\theta$ ) en vochtgehalten ( $w$ ) over de dwarsdoorsnede van de constructie zijn weergegeven voor één tijdstip van 22 januari in 1979 in afbeelding 3. Aan het buitenoppervlak van de constructie treedt een temperatuur ( $\theta$ ) op die lager ligt dan  $0^\circ\text{C}$  en tegelijkertijd ligt het vochtgehalte hoger dan capillaire verzadiging ( $w_{cap}$ ). Onder deze condities bestaat er in de steen een vorstschadekans. Vorstschade ontstaat voornamelijk aan de buitenzijde van de constructie. In afbeelding 4 zijn temperaturen ( $\theta$ ) en vochtgehalten ( $w$ )



Temperaturen ( $\theta$ ) en vochtgehalten ( $w$ ) die optreden 1 mm onder het buitenoppervlak van de constructie voor de maanden januari en februari van 1979



Diepte van de vorstschadekans gezien vanaf het buitenoppervlak naar binnen in de constructie gericht

weergegeven die optreden 1 mm onder het buitenoppervlak van de constructie voor de maanden januari en februari van 1979. Elf keer zijn de condities zodanig dat er een vorstschadekans is. De diepte van de vorstschadekans gezien vanaf het buitenoppervlak naar binnen in de constructie gericht als functie van de tijd staat in afbeelding 5. Gesimuleerd zijn vier case studies met klimaatdata van het verleden tot het heden (KNMI en REMO) en met toekomstige klimaatdata (REMO).

#### Conclusie

De onderstaande conclusies kunnen getrokken worden. Uit simulaties van de case studies met een warmte- en vochtmodel en klimaatdata bepaald met REMO, volgt dat de kans op vorstschade afneemt met een ordegrrootte van 70%. Uit de literatuurstudie volgt dat kalkzandsteen een vorstgevoelig materiaal is. Voor het optreden van vorstschade moet de temperatuur lager zijn dan het vriespunt van water en tegelijkertijd moet het vochtgehalte nabij of hoger liggen dan capillaire verzadiging. Vorstschade ontstaat bij een buitenklimaat indien een langdurige regenperiode direct wordt gevolgd door strenge vorst. Uit de simulaties van de case studies met KNMI klimaatdata volgen de winters 1978/1979 en 1981/1982 met de meeste vorstschadekansen. Uit literatuur volgt dat deze winters in werkelijkheid geconstateerd zijn als typische vorstschadewinters.

#### Aanbevelingen

Er kan getracht worden om een correlatie te leggen tussen de diepte waar mogelijk vorstschade kan ontstaan in de steen ten tijde van vorstschade en de buitenluchttemperatuur en de regenintensiteit net voor het optreden van vorstschade. Het ontwikkelde warmte- en vochtmodel kan gebruikt worden om onderzoek te verrichten naar mogelijk vorstschade in andere gebieden in Europa, dus door het toepassen van andere klimaatdata.