



Verven en Fraaij

Materiaalkunde

Bouwkunde & Civiele techniek



Noordhoff Uitgevers

Derde druk

Materiaalkunde



Materiaalkunde

Bouwkunde & Civiele techniek

Ing. M.W. Verver

Dr. ir. A.L.A. Fraaij

Derde druk

Noordhoff Uitgevers Groningen/Houten

Ontwerp omslag: Total Identity, Amsterdam
Omslagillustratie: Hollandse Hoogte

Eventuele op- en aanmerkingen over deze of andere uitgaven kunt u richten aan:
Noordhoff Uitgevers bv, Afdeling Hoger Onderwijs, Antwoordnummer 13,
9700 VB Groningen, e-mail: info@noordhoff.nl

3 4 5 6 7 / 14 13 12 11 10

© 2004 Noordhoff Uitgevers bv Groningen/Houten, The Netherlands.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Voorzover het maken van kopieën uit deze uitgave is toegestaan op grond van artikel 16b Auteurswet 1912 j^o het Besluit van 20 juni 1974, Stb. 351, zoals gewijzigd bij het Besluit van 23 augustus 1985, Stb. 471 en artikel 17 Auteurswet 1912, dient men de daarvoor verschuldigde vergoedingen te voldoen aan de Stichting Reprorecht, Postbus 3060, 2130 KB Hoofddorp. Voor het overnemen van een of enkele gedeelten uit deze uitgave in bloemlezingen, readers of andere compilatiewerken (artikel 16 Auteurswet 1912) dient men zich tot de uitgever te wenden.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

ISBN (ebook) 978 90 018 4780 7
ISBN 978 90 207 3281 8
NUR 971

Woord vooraf bij de eerste druk

In het boek *Materiaalkunde* worden niet alleen de materiaaltechnologische aspecten van de bouwmaterialen voor bouwkunde en civiele techniek behandeld, maar ook de materiaalkundige grondslagen.

Het is voor het HBO- en WO-niveau noodzakelijk naast een exact fenomenologisch inzicht ook de samenhang te onderkennen tussen de met het blote oog zichtbare eigenschappen van materialen en de inwendige chemische en structurele opbouw. Het begrijpen en in praktijk brengen van macroscopische eigenschappen is alleen mogelijk met een goede kennis van materiaal-samenstellingen.

Daarom worden waar nodig fysische en chemische achtergronden aan de orde gesteld. Vóórkomen, productietechnologie, eigenschappen, langeduur-behoud en milieueffecten kunnen zo op efficiënte wijze worden gekoppeld. Materiaalkunde geeft de verklaring van het materiaalgedrag, ook onder variërende klimatologische omstandigheden.

Dit boek wil de argumentatie ondersteunen voor eenduidige bepaling van gebruikswaarde en keuze van materialen.

Bij materiaalkunde gaat het om de rechtstreekse relatie tussen wetenschap en toepassing. Het multidisciplinaire karakter van de materiaalkunde onderscheidt producttechnologie, toepassing van materialen en materiaalcomposieten inclusief nieuwe ontwikkelingen en hergebruik en niet in het minst de reeds genoemde onderbouwende fysische en chemische grondslagen.

Hierbij zijn steeds de aandacht-niveaus in het oog gehouden die aan de praktijk-eisen van de HO-opleidingen ten grondslag liggen.

Ing. M.W. Verver, Ouderkerk a/d IJssel

Zomer 1996

Woord vooraf bij de tweede druk

De hiervoor aangegeven materiaalkundige en onderwijskundige beschouwingen zijn voor de tweede druk volledig van kracht gebleven.

Ook voor materiaalkunde geldt dat bepaalde aspecten in zekere tijd kunnen veranderen of moeten worden verduidelijkt. Daarom zijn fysische en chemische achtergronden aangescherpt.

Strengere milieueisen en de regelgeving voor Duurzaam Bouwen plaatsen materialen en daardoor materiaalkunde op de voorgrond. De normalisatie maakt daar een integrerend deel van uit.

Aan alle disciplines is in dit boek volledig aandacht geschonken om het inzicht in de materiaalkunde te vergroten.

Ing. M.W. Verver

Voorjaar 2000

Woord vooraf bij de derde druk

Steeds meer is de regelgeving bij het bouwen gericht op duurzaam behoud van de bebouwde omgeving. In de derde druk van *Materiaalkunde* is daarmee terdege rekening gehouden. Wetgeving en normalisatie zijn volledig bijgewerkt. Verschillende onderwerpen zijn uitgebreid zoals Betontechnologie, en de laatste materiaaltechnologische ontwikkelingen zijn omschreven.

Opmerkingen en wensen van gebruikers zijn waar mogelijk verwerkt. Het concept van *Materiaalkunde* is voortgezet: begrip van het materiaalgedrag in alle denkbare omstandigheden. Nieuw is de toevoeging van aanvullende leerstof op internet. Tevens is daarop een groot aantal vragen met antwoorden te vinden.

Met groot genoegen heb ik dr. ir. A.L.A. Fraaij, universitair hoofddocent TU-Delft, bereid gevonden als auteur te gaan meewerken.

ing. M.W. Verver
oud-universitair docent TU-Delft

Voorjaar 2004

Inhoud

Studiewijzer 11

- 1 Materiaalkunde 13**
 - 1.1 Inleiding 13
 - 1.2 Materiaalkunde en bouwmaterialen 14
 - 1.3 Het bouwmaterialenpakket 16
 - 1.4 Algemene materiaaleigenschappen 20
 - 1.5 Milieueffecten 33
 - 1.6 Materiaalkundige aspecten 39
 - 1.7 Aspecten materiaalkeuze 44
 - 1.8 Keuring van bouwmaterialen 45
 - 1.9 Bouwmaterialen en afhankelijkheid 47
 - 1.10 Bouwmaterialen en classificatie 50
 - 1.11 Bouwmaterialen en het bouwkundig bestek 50

- 2 Hout en houtproducten 53**
 - 2.1 Inleiding 53
 - 2.2 Naaldhout en loofhout 58
 - 2.3 De groei van de boom 60
 - 2.4 Opbouw en structuur van hout 64
 - 2.5 Houtkwaliteit 75
 - 2.6 Houteigenschappen 85
 - 2.7 Onvolkomenheden 106
 - 2.8 Duurzaamheid 112
 - 2.9 Bescherming en verduurzaming 126
 - 2.10 Houtproducten, plaatmaterialen 139
 - 2.11 Hout en milieu 156
 - 2.12 Algemene houtkenmerken 160
 - 2.13 Nadere bespreking houtsoorten 163

- 3 Natuursteen 173**
 - 3.1 Inleiding 173
 - 3.2 Indeling naar de wijze van ontstaan 175
 - 3.3 Ontginning en bewerking 180
 - 3.4 Eigenschappen 184
 - 3.5 Onvolkomenheden 192
 - 3.6 Het keuren van natuursteen 193
 - 3.7 Milieueffecten 194
 - 3.8 Toepassing, afgeleiden, grond 195

- 4 Gebakken kunststeen 211**
 - 4.1 Inleiding 211
 - 4.2 De grondstof klei 211
 - 4.3 Baksteen 219
 - 4.4 Keramische dakpannen 242
 - 4.5 Keramische buizen 253
 - 4.6 Keramische tegels 257
 - 4.7 Milieueffecten 262

- 5 Anorganische bindmiddelen 265**
 - 5.1 Inleiding 265
 - 5.2 Kalk 266
 - 5.3 Cement 269
 - 5.4 Gips 287
 - 5.5 Herkenning van bindmiddelen en toeslagstoffen 289
 - 5.6 Milieueffecten 291

- 6 Mortels en species 293**
 - 6.1 Inleiding 293
 - 6.2 Algemene eisen aan mortelspecies 294
 - 6.3 Samenstellingen van mortelspecies 294
 - 6.4 Mortelspecies voor metselwerk (metselmortels) 296
 - 6.5 Mortelspecies voor voegwerk (voegmortels) 311
 - 6.6 Mortelspecies voor pleisterwerk (pleistermortels) 312
 - 6.7 Mortelspecies voor tegelwerk (tegelmortels) 314
 - 6.8 Mortelspecies voor nokvorsten 314
 - 6.9 Aandachtspunten met betrekking tot mortelspecies 314
 - 6.10 Betonspecies 315

- 7 Beton en andere kunststeen 327**
 - 7.1 Inleiding 327
 - 7.2 Beton 330
 - 7.3 Vezelcementproducten 372
 - 7.4 Drijfsteenproducten 374
 - 7.5 Kalkzandsteen 374
 - 7.6 Gipsproducten 377
 - 7.7 Magnesietvloeren 382
 - 7.8 Industrielakken 382
 - 7.9 Milieueffecten 383

- 8 Metalen 387**
 - 8.1 Inleiding 387
 - 8.2 Staal 395
 - 8.3 Non-ferrometalen 436
 - 8.4 Normalisatie 461
 - 8.5 Milieueffecten 461

- 9 Kunststoffen en rubbers 463**
 - 9.1 Inleiding 463
 - 9.2 Eigenschappen 469
 - 9.3 De thermoplasten 472
 - 9.4 De thermoharders 486
 - 9.5 Rubbers 489
 - 9.6 Duurzaamheid 491
 - 9.7 Kunststof dakbedekking 494
 - 9.8 Milieueffecten 496
 - 9.9 Overzichten kunststoffen en rubbers 498

10 Verf, lijm en kit 503

10.1 Inleiding 503

10.2 Verf 504

10.3 Lijm 514

10.4 Kit 518

10.5 Milieueffecten 525

11 Bitumen en bitumineuze producten 529

11.1 Inleiding 529

11.2 Eigenschappen 532

11.3 Bitumensoorten in de bouw 539

11.4 Milieueffecten 553

12 Glas en glasproducten 555

12.1 Inleiding 555

12.2 De glasfabricage 555

12.3 Fabricage vlakglas 559

12.4 Vlakglasproducten met speciale functie 567

12.5 Diverse glasproducten 578

12.6 Duurzaamheidsaspecten 579

12.7 Milieueffecten 580

13 Isolatiematerialen 581

13.1 Inleiding 581

13.2 Isolatie en normalisatie 582

13.3 Isolatie en constructie 583

13.4 Materiaalkunde, materialen en warmtetransport 586

13.5 Producten voor isolatie 595

13.6 Afmetingen 609

13.7 Milieueffecten 610

14 Hang- en sluitwerk 611

15 Bevestigingsmaterialen 613

Illustratieverantwoording 614

Register 617



Studiewijzer

**Extra materiaal behorende bij dit boek is beschikbaar op de internetsite:
www.wolters.nl/materiaalkunde**

Op de site kunt u o.a. het volgende aantreffen:

- aanvullende verdiepende leerstof
- vragen, opdrachten en antwoorden per hoofdstuk
- REM-foto's

Materiaalkunde

1

- 1.1 Inleiding
- 1.2 Materiaalkunde en bouwmaterialen
- 1.3 Het bouwmaterialenpakket
- 1.4 Algemene materiaaleigenschappen
- 1.5 Milieueffecten
- 1.6 Materiaalkundige aspecten
- 1.7 Aspecten materiaalkeuze
- 1.8 Keuring van bouwmaterialen
- 1.9 Bouwmaterialen en afhankelijkheid
- 1.10 Bouwmaterialen en classificatie
- 1.11 Bouwmaterialen en het bouwkundig bestek

1.1 Inleiding

Voor de ingenieur zijn *materiaalkunde en materiaalkennis* een onverbreeklijk geheel. Zonder materiaalkunde zijn de fenomenologische aspecten van (bouw)materialen te weten herkenning, eigenschappen, langeduurgedrag en toepassingsgebied niet nader te verklaren, laat staan goed te begrijpen. Het is daarom noodzakelijk dat een ingenieur weet waarvoor hij materiaal-kunde nodig heeft, waarbij het vakgebied van zijn ingenieursdiscipline (vormgeving, constructie, milieukunde, weg- en waterbouwkunde, enzovoort) een grote rol speelt.

Dit boek geeft de brede basis van *materiaalkunde en materiaalkennis die noodzakelijk is voor bouwkundige en civieltechnische studies*. Het richt zich op de gestelde einddoelen van die studies en biedt de relevante verdieping. Verdieping met behulp van de materiaalkunde betekent de verklaring geven voor het gedrag van materialen, in welke klimatologische expositieomstandigheid ze zich ook bevinden (figuur 1.1a en b). Met andere woorden: de *algemene gebruikswaarde* en de *keuze* van materialen met argumenten nader onderbouwen.

Figuur 1.1a Hoog en laag, wonen aan de Hollandse IJssel



1.2 Materiaalkunde en bouwmaterialen

1.2.1 Onderscheid kennis en kunde

Bouwmaterialen zijn, kortweg gezegd, de materialen waarmee we bouwen, waarmee we een gebouw optrekken, een dijk aanleggen, een wegverbetering uitvoeren, een vliegveld realiseren, enzovoort.

Het gebruik van bouwmaterialen heeft hiermee een zeer breed karakter. Als we de materialen kennen, herkennen, hun eigenschappen weten en hun gedrag in de praktijk achterhaald hebben, is het ook mogelijk de juiste keuze te doen voor een bepaalde toepassing; een toepassing doelgericht op *construeren, afbouwen of afwerken*.

De keuze is groot, maar het zoeken naar of het verwerken van een materiaal in een bepaalde bouwomstandigheid heeft duidelijk meer voeten in de aarde. Bij combinaties van materialen (composieten en samenstellingen) ligt dat vaak nog moeilijker.

Indien onze fundamentele kennis van de materialen echter uitgebreid genoeg is om de voor- en nadelen van het gebruik te kunnen afwegen, kunnen we ook *een doordachte keuze doen voor een gerichte toepassing*.

Figuur 1.1b **Civiele techniek (poldergemaal Johan Veurink, Krimpen aan de IJssel)**



De kennis van de bouwmaterialen kan worden onderscheiden in de praktische *warenkennis* en de theoretische *materiaalkunde*.

De *warenkennis* geeft aan:

- welke materialen voorhanden zijn;
- hoe de materialen zijn ontstaan of gemaakt (waaraan kennis van de eigenschappen kan worden ontleend);
- hoe en waaraan we ze kunnen herkennen;
- in welke vormen en formaten ze in de handel zijn;
- welke eigenschappen ze bezitten;
- de uit overlevering of ervaring bekende gegevens over levensduur.

Deze *warenkennis* hoeft niet gestoeld te zijn op verklarende theoretische beschouwingen of onderbouwing.

De *materiaalkunde* geeft de theoretische grondslagen van:

- de structuur, de opbouw, de eigenschappen van de materialen en de daartussen zeker bestaande samenhang;
- de corrosie van metalen en de aantasting van alle andere materialen;
- de bescherming tegen allerlei aantastende milieu-invloeden;
- de weerstand tegen brand, vorst en weersinvloeden;
- de sterkte in de constructie;
- de vervormbaarheid onder verschillende omstandigheden (kruip en stijfheid);
- de mogelijke *levensduur* van materialen en constructies, vertaald in *duurzaam bouwen*;
- de onderhoudsproblematiek van materialen en constructies.

De materiaalkunde is de basis bij het voorspellen van het gedrag van nieuwe en gerecycleerde materialen. De materiaalkunde speelt een duidelijke rol bij het onderkennen van mogelijkheden tot hergebruik van materialen en de toepassing van afvalstoffen.

1.2.2 Keuring, speurwerk en ontwikkeling

Een belangrijk gegeven om meer van bestaande en nieuwe bouwmaterialen te weten te komen vormt het *onderzoek*. Dit onderzoek kan worden onderscheiden in keuring, speurwerk en ontwikkeling. Bij de *keuring* wordt nagegaan of de geleverde materialen wel aan de gestelde eisen voldoen. Keuring wordt niet zelden onderbouwd met statistische berekeningen, waarvoor groepen (praktijk Grote) proefstukken a-select zijn genomen.

Bij *speurwerk* en *ontwikkeling* worden nadere gegevens verkregen over de eigenschappen van de materialen en hun bruikbaarheid in verschillende (nagebootste) omstandigheden. Er ontstaan zo zelfs nieuwe materialen en vaak andere gebruiksmogelijkheden voor 'oude' materialen. Veel is er ook te doen over het om- of verwerken van *afvalstoffen*; bijvoorbeeld vlieggas (een afvalproduct van met steenkool gestookte elektriciteitscentrales) en *sloopmaterialen* kunnen hier worden genoemd.

1.3 Het bouwmaterialenpakket

1.3.1 Het maatschappelijk belang van bouwmaterialen

Bouwmaterialen omvatten alle producten die in alle facetten van bouwkunde en civiele techniek worden verwerkt. In dit productenpakket is een zeer *grote verscheidenheid van materialen* vertegenwoordigd. Bovendien heeft dit pakket een omvang die de hoeveelheid andere vaste verbruiksgoederen in de maatschappij ver overtreft.

Bouwmaterialen zijn niet alleen economisch *van groot belang* maar ook *voor het milieu en de energie- en grondstoffenvoorraden*. Een en ander is lastig in getallen aan te geven omdat deze aandachtsgebieden niet onafhankelijk van elkaar zijn. Verder zullen voor een afgewogen waardering ook eigenschappen, onderhoud, de duur van het gebruik en de gevolgen van hergebruik van materialen in de beschouwing moeten worden meegenomen.

1.3.2 De structuur van het bouwen

Bouwkunde en civiele techniek worden gevormd door verscheidene structuren, van groot naar klein opgebouwd uit onderdelen die zelf ook weer gestructureerd zijn. In de bouwkunde kan een gebouw als voorbeeld dienen. Er is een stedelijke structuur, het gebouw heeft een structuur, de dragende vormgeving (bijvoorbeeld een staalskelet) heeft een structuur, de bouwprofielen hebben een structuur, het oppervlak en de interne opbouw van de materialen zijn gestructureerd. Bij staal zijn dat streng geordende atoomstructuren in kristallen.

In de civiele techniek is zo'n rangorde weer te geven voor bijvoorbeeld een weg, van de infrastructuur tot wegoopbouw, de korrelsamenstelling en de gebonden structuur van de materiaalkeuze (asfalt of beton).

De structuren staan niet los van elkaar. Bij onderzoeksprogramma's van materialen worden daarom macrostructuur van een bouwwerk en microstructuur van de materialen betrokken. Samenstelling en opbouw van de diverse structuren bepalen gezamenlijk de 'eigenschappen' van de gebouwde omgeving. Het is de basis voor *doelgerichte materiaalkeuze* (paragraaf 1.7).

1.3.3 **Functies van bouwmaterialen**

Een bouwwerk moet een aantal *technische functies* vervullen. Voor een gebouw betekent dat bescherming bieden tegen invloeden van binnen en buiten, dat wil zeggen mechanisch in stand blijven (sterk en stijf zijn) en weerstand bieden tegen kou, vocht en geluid. Voor een dijk zijn vergelijkbare functies in te vullen: in stand blijven, bescherming bieden en aanvullend een gebied ontsluiten.

Het is kenmerkend voor de ontwikkeling van de bouwtechniek dat de bouwmaterialen zo gekozen, toegepast en gedimensioneerd worden dat zij met tevoren berekende gegevens deze functies kunnen vervullen. Een gevolg van deze ontwikkeling is dat *één materiaal minder functies tegelijk* behoeft te vervullen dan in vroegere tijden het geval was.

De mate waarin een (bouw)materiaal geschikt is, hangt af van de wijze waarop het een of meer *functies* kan *vervullen* en ook waarop het kan worden afgestemd op andere materialen (figuur 1.2).

De klassieke massieve steens-buitenmuur heeft tot taak om constructief te dragen maar ook om regen, geluid en koude te weren.

In een gebouw met een staalskelet wordt de dragende functie overgelaten aan het staal, terwijl voor warmte-isolatie en regenwering afzonderlijke materialen worden gekozen.

De *geschiktheid van een bouw materiaal* hangt niet alleen af van de wijze waarop zij bepaalde functies vervult, maar ook van de wijze waarop moet kunnen worden samengewerkt met andere bouwmaterialen. De kwaliteit van een bouw materiaal is daarom een relatief begrip: er zijn vele goede bouwmaterialen, maar het gebruik op een bepaalde plaats of in bepaalde omstandigheden kan verkeerd gekozen zijn en dan tot een onnodig negatief oordeel aanleiding zijn.

Sommige materialen zijn specifiek op één functie gericht, zoals warmte-isolerende materialen. De meeste materialen die thermisch isoleren kunnen ook gebruikt worden voor geluidsabsorptie mits het oppervlak poreus genoeg is. Voor geluidsisolatie worden zware dichte bouwmaterialen (muren) of speciale samengestelde constructies van lichte elementen gekozen (voorzetwanden).

Functievoorbeelden bij een gebouw

Funderingen

De fundering verdeelt de belasting van de bovenbouw op de ondergrond. Bovendien kan zij tot taak hebben het optrekken van vocht te verhinderen. Van de gebruikte materialen zijn dus de druksterkte, vervorming, capillaire opzuiging en resistentie tegen het grondwater van belang. Gewapend beton of metselwerk met hardgebakken stenen komen in aanmerking en palen van hout of beton voor de directe funderingsoverdracht.

Figuur 1.2 **Bouwmaterialen**



Buitenmuren

Buitenmuren kunnen functioneren als vulling in een skelet van kolommen en balken; ze kunnen ook zelf dragen.

Van een gevel wordt verwacht dat zij regulerend werkt op het binnentreden en uittreden van licht, warmte, geluid en waterdamp. Bijna alle soorten bouwmaterialen kan men erin aantreffen, zoals natuursteen, baksteen, betonblokken, kalkzandsteen, platen van beton, hout, kunststoffen, aluminium, glas en vezelcement.

Daken

De bouwmaterialen in het dak hebben in beginsel dezelfde taak te vervullen als die van de gevel.

Voor platdakconstructies worden dragende, isolerende en waterkerende materialen gebruikt.

Voor de waterkering komen andere materialen in aanmerking dan voor de gevel (de afvoer van water is daar eenvoudiger). De waterkering bij het platte dak bestaat doorgaans uit bitumineuze banen of kunststoffolies, bij het schuine dak uit pannen of platen.

De keuze van de isolatie is afhankelijk van de gehele constructievorm. De

plaats van de isolatie is daarbij van groot bouwfysisch belang (koudebruggen en vocht).

Vloeren

Vloeren hebben primair een dragende functie. Dan is vooral de treksterkte aan de onderzijde van de vloer en de stijfheid van de gehele vloeropbouw van belang.

Daarnaast is geluidsisolatie noodzakelijk. Dit wordt bereikt door de vloer voldoende zwaar en dicht te maken. Isolatie tegen loopgeluid kan behalve door een eenvoudige zachte vloerbedekking bij intensief contactgeluid worden verkregen door een zwevende dekvloer (een vloer zonder contacten met de constructie en waarin minerale wol of kunststofschuim zijn verwerkt).

Van begane vloeren en woningscheidende vloeren wordt ook thermische isolatie geëist. De vloeren bestaan uit gewapend of voorgespannen beton, stalen of houten balken in combinatie met isolatiematerialen.

Binnenmuren

Binnenmuren dragen in het algemeen alléén als ze woningscheidend zijn. Zij moeten in dat geval ook geluid isoleren. De andere binnenmuren hebben meestal alleen een scheidende functie. Men kan niet-dragende wanden opbouwen uit elementen van gips of cellenbeton, of uit sandwichconstructies met bijvoorbeeld gipskartonafwerking.

Bij dit voorbeeld van een gebouw komt tot uiting dat materialen kunnen worden ingezet voor *construeren* (opvangen van mechanische belastingen), *afbouwen* (additieve functies zoals afsluiten met ramen, deuren en gevel- en dakinvulling, maar verder ook trappen en scheidingswanden) en tot slot *afwerken* (dakbedekking, tegelwerk, isolatie enzovoort).

Vele materialen zijn bruikbaar. Er is daarbij keuze uit een omvangrijk arsenaal, onder te verdelen in de volgende hoofdgroepen:

- steenachtige materialen (zoals natuursteen, baksteen, beton);
- metalen (staal en non-ferro);
- hout en houtproducten;
- kunststoffen;
- diversen: glas, bitumen, enzovoort

1.3.4 Toepassingsgebieden voor bouwmaterialen

Het toepassingsgebied van bouwmaterialen is zeer uitgebreid. In veel gevallen is er duidelijk verband met de productie en verwerking. De juiste keuze van de materialen resulteert doorgaans in succesvol en functioneel ontwerpen.

Toepassingsgebieden van bouwmaterialen zijn:

- woningbouw (eengezinswoningen en woongebouwen);
- gebouwen met andere bestemmingen dan wonen, zoals kantoorgebouwen, winkelcentra, industriehallen, fabrieken, vrieshuizen, ziekenhuizen, verzorgingscentra, verpleeginrichtingen, theaters en bioscopen;
- waterbouwkundige werken, zoals irrigatievoorzieningen, dijken, sluizen, reservoirs, bruggen en viaducten;
- verkeersconstructies, zoals wegen, wegmarkering, wegbeveiliging, tunnels en geluidkerende muren;
- defensiewerken, zoals bunkers en militaire vliegvelden;
- leidingwerken voor gas, water, olie en chemicaliën;

- milieutechnische werken, zoals waterzuiveringsinstallaties, afval(-water) bunkers en grondafdekkingen en zeker ook het inrichten van afvalterreinen.

1.3.5 **Bouwmaterialen en bouwstoffen**

Er wordt onderscheid gemaakt tussen de aanduidingen *bouwmaterialen* en *bouwstoffen* op de volgende wijze:

- *Bouwmaterialen* kunnen nog een bewerking ondergaan zonder de functionele bedoeling te verliezen waarvoor ze gemaakt zijn. Ze kunnen zonder vorm zijn (bijvoorbeeld een cementsoort) ofwel een direct bruikbare vorm hebben meegekregen (bijvoorbeeld een staalprofiel).
- *Bouwstoffen* zijn de basisstoffen waaruit de bouwmaterialen zijn gevormd. Een goed voorbeeld is de natuursteensoort graniet. Er kan een gepolijste plaat uit worden gemaakt, een bouw materiaal voor gevelelementen.

Zo'n *gevelement* wordt een *bouwproduct* genoemd. Een bouwproduct bestaat uit bouwmaterialen en/of bouwstoffen. Het heeft een (fabrieksmatige) vorm gekregen, waardoor het zonder meer in het werk kan worden gebracht. *Het geleverde product mag geen ingrijpende wijziging meer ondergaan; anders verliest het zijn functie.*

We zien dus dat bouwproducten met een nadere omschrijving kunnen worden aangeduid; in dit voorbeeld het gevelement. Met een element is men duidelijk aan het bouwen, vandaar dat er sprake is van *bouwelementen*. De functie is hier gericht op de gevelinvulling. Daarbij kunnen zowel dragende als niet-steunende wensen een rol spelen.

1.4 **Algemene materiaaleigenschappen**

Inleiding

De belangrijkste materiaaleigenschappen zullen onder de loep worden genomen. Bij de bespreking van de afzonderlijke materialen krijgen deze eigenschappen extra aandacht. Van belang is, dat we sterkte, uitzetting, vervorming, stijfheid, dichtheid enzovoort in een vroegtijdig stadium kunnen definiëren. Het is dan mogelijk een materiaal min of meer te identificeren. De *materiaalkeuze* wordt minder moeilijk als we het nodige van de gebruikswaarde van het materiaal kennen. We kunnen aangeven of een materiaal sterk-zwak, stijf-slap, enzovoort is. Voor een belangrijk deel worden *de eigenschappen van (bouw)materialen bepaald door* de manier waarop ze zijn gefabriceerd, door de natuur gevormd of een voor de toepassing noodzakelijke vervorming hebben ondergaan. Bekendheid met vervaardigingsprocessen van materialen en hun halfproducten is daarom vaak noodzakelijk.

De eigenschappen van bouwmaterialen moeten bekend zijn voor goede functieuitoefening in de tijd. Een vloerbelasting blijft de gehele levensduur van een gebouw gehandhaafd en de muren moeten dat continu verwerken. Andere belastingen herhalen zich regelmatig, zoals de spanningen in een dak- of gevelconstructie tengevolge van temperatuurvariaties. Verkeersbelastingen kunnen zelfs vele malen per minuut invloedrijke spanningen in de constructie veroorzaken.

Wanneer materiaaleigenschappen worden bepaald, gebeurt dit meestal onder (standaard)beproevingsomstandigheden waarin bouwkundige en/of

civieltechnische aspecten en het tijdsafhankelijk gedrag niet volledig verdisconteerd kunnen worden. Daarom zijn gevonden waarden voor verschillende materialen niet volledig met elkaar vergelijkbaar. Ieder materiaal is onder eigen genormeerde methoden beproefd. In tabellen weergegeven eigenschappen dienen daarom altijd nauwkeurig te worden beoordeeld. Vooral ook die welke zonder meer in brochures worden vermeld!

1.4.1 **Opbouw, structuur en chemie van bouwmaterialen**

Opbouw en structuur

Steeds zullen we zien dat opbouw en structuur van een materiaal aan de eigenschappen ten grondslag liggen. De *samenhang van de stof* is dus van uitermate belang. Moeilijk blijft, dat ondanks die kennis het gedrag van een materiaal in de praktijk niet altijd eenduidig te voorspellen is.

Van grote invloed zijn:

- Waar komt een materiaal vandaan (ontstaanswijze, vormingsproces)?
- Wat gaan we ermee doen, waar, wanneer en onder welke omstandigheden?
- Hoe zal het zich gedragen (vervorming, aantasting)?
- Waarom gedraagt het zich zo (welke eigenschappen spelen een belangrijke rol)?
- Wat kunnen we doen om de levensduur (dus het behoud van de eigenschappen) zo lang mogelijk te laten zijn (keuze, combinatie, verduurzamen)?
- Wat zijn de mogelijkheden voor recycling en hergebruik? Bij het ontwerpen van bouwwerken en constructies zou mee moeten wegen wat er gaat gebeuren bij 'einde levensduur'.

De chemie van bouwmaterialen

Om het gedrag van bouwmaterialen te begrijpen en te voorspellen is men vaak aangewezen op de chemie van bouwmaterialen. Op de **internetsite** bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, is in *Aanvulling 1.1 De chemie van bouwmaterialen. Begrippen uit de scheikunde* een korte samenvatting van chemische achtergronden gegeven die van nut kunnen zijn voor het begrijpen van de opbouw en duurzaamheid van materialen en het bestuderen van de vakliteratuur. Behandeld worden achtereenvolgens de bindingskrachten tussen atomen, de stapeling van atomen en moleculen en een aantal scheikundige begrippen ter ondersteuning van het inzicht in de materiaaleigenschappen.

1.4.2 **Mechanische eigenschappen**

De sterkte

Onder de *sterkte* van een materiaal verstaat men de weerstand tegen breuk. De van buiten opgelegde krachten zullen daarbij het materiaal trachten te vervormen, wat zich kan uiten in: krom staan, doorbuigen, dunner worden enzovoort. De sterkte waarden waarover men bij materialen spreekt en die in veel tabellen worden weergegeven, bereiken de materialen vlak voor het moment van bezwijken en de samenhang geheel verloren gaat. Een materiaal kan dan ook op dat moment een voor het oog maximale vervorming te zien geven. Bij brosse materialen is van een zichtbare vervorming vrijwel geen sprake, de zogenoemde brosse breuk.

De sterkte van een materiaal wordt aangegeven met de spanning in het ma-

termaal (waarover hierna meer), waarbij het bezwijkt. We onderscheiden treksterkte, druksterkte, buigsterkte en schuifsterkte. Deze waarden geven dus de (sterkte) *kwaliteit* aan van een materiaal. Een materiaal mag echter in de praktijk nooit tot deze sterktewaarden worden belast. Als grens van belasting wordt de waarde van de *toelaatbare spanning* aangehouden (figuur 1.3).

Figuur 1.3 Toelaatbare sterkte overschreden, bezwiken betonbekisting



Deze toelaatbare spanning is de sterktewaarde van het materiaal gedeeld door een veiligheidscoëfficiënt. Anders gezegd: de veiligheidscoëfficiënt is de verhouding tussen de maximale sterktewaarde van een materiaal en de toelaatbare spanning in de constructie. De coëfficiënt is materiaalgebonden en ligt tussen 2 en 5.

In normbladen (*TGB, Technische Grondslagen voor Bouwconstructies*) zijn de waarden van de toelaatbare spanning voor verschillende materialen vastgelegd. Het zal duidelijk zijn dat de sterkte van een materiaal een belangrijk gegeven is als het gaat om mechanische belastingen te dragen. Indirect gaat het hier om de interne samenhang van de materialen. Naast de sterkte, komen in dit verband aan de orde de *stijfheid* en de *vormstabiliteit*, met andere woorden de weerstand tegen bezwijken.

Vervorming door mechanische belasting

Spanning en stijfheid

Belastingen op een constructie leiden altijd tot spanningen in de samenstellende bouwdelen en dat weer in de toegepaste materialen. Er is dus sprake van een *gedwongen situatie*. Hierdoor kunnen zich *vervormingen* ontwikkelen die tot bezwijken aanleiding geven. Te hoge spanningen in een balkdragende muur kunnen de muur doen scheuren. In constructieberekeningen worden altijd alle mogelijk optredende vormveranderingen meegenomen. Zie paragraaf 1.4.3 en 1.4.4.

Het is goed hier ook het begrip *relaxatie* aan te geven. Hieronder verstaat men de achteruitgang in de loop der tijd van een oorspronkelijk in een materiaal gebrachte spanning. De vermindering van de spanning berust op verschuivingen in de atomaire of moleculaire opbouw van een materiaal. Voorbeelden zijn de stalen kabels van hangbruggen, nagespannen stalen wapening in betonconstructies en relaxerende spanningen in asfaltconstructies. Ook aan relaxatie wordt in berekeningen aandacht geschonken.

Spanningen in materialen doen zich voor indien constructies aan trek-, druk-, buig- en/of schuifbelastingen worden blootgesteld; als er dus bepaalde krachten op worden uitgeoefend.

Onder *het begrip spanning* (σ) wordt bij *trek en druk* verstaan de op het materiaal werkende kracht (F) gedeeld door het belaste oppervlak (A); in formule:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (\sigma = \text{sigma})$$

$$\text{Bij buiging geldt: } \sigma = \frac{M}{W}$$

In deze formule stelt M het uitwendige moment voor en W het weerstandsmoment van het op buiging belaste constructieonderdeel.

Worden de krachten in beide formules uitgedrukt in newton (N) en het oppervlak in mm^2 , dan volgt uit deling de eenheid van spanning in N/mm^2 .

Ten gevolge van een trekspanning zal een materiaal uitrekken, dat wil zeggen langer worden.

Onder *de specifieke rek* ε van een materiaal verstaat men de verlenging Δl gedeeld door de oorspronkelijke lengte:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (\varepsilon = \text{epsilon})$$

ε is dus een *vormverandering* en als gevolg van de definitie een dimensieloos getal, dus bijvoorbeeld % of ‰. De vervorming ε is afhankelijk van het materiaal en de spanning.

Indien de uitrekking evenredig is met de optredende spanning, geldt de Wet van Hooke (1678). Deze luidt:

$$\sigma/\varepsilon = E \quad \text{of} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon$$

Hierin stelt de letter E de *elasticiteitsmodulus* (evenredigheidsconstante) voor. E wordt uitgedrukt in N/mm^2 als σ wordt uitgedrukt in N/mm^2 , omdat ε immers dimensieloos is. Een hoge E betekent dat een materiaal stijf is; een E die zeer laag is geeft aan dat een materiaal slap is (E is stijfheid, is weerstand tegen vervorming).

Enkele rekenwaarden:

$$E_{\text{staal}} = 1,9 \text{ à } 2,1 \times 10^5 \text{ N}/\text{mm}^2 \text{ (afhankelijk van de staalsoort);}$$

$$E_{\text{hout}} = 0,8 \text{ à } 2 \times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2 \text{ (afhankelijk van de houtsoort, het vochtgehalte en de vezelrichting waarin } \sigma \text{ werkt);}$$

$$E_{\text{beton}} = 1,5 \text{ à } 3 \times 10^4 \text{ N}/\text{mm}^2 \text{ (afhankelijk van de samenstelling en de praktische verwerkingseisen);}$$

$$E_{\text{kunststof}} = 1,5 \text{ à } 3,5 \times 10^3 \text{ N}/\text{mm}^2 \text{ (afhankelijk van de soort kunststof).}$$

De Wet van Hooke (de evenredigheid tussen σ en ε) geldt voor een bepaald materiaal alleen tot een bepaalde grootte van de daarin optredende span-

ning. Deze grenswaarde van de spanning is de zogenoemde *evenredigheids-grens* (zie paragraaf 8.2.6 Eigenschappen van staal).

Boven deze grens neemt de rek sneller toe dan de spanning. De evenredigheid is dus verloren gegaan. Een duidelijke evenredigheid (de Wet van Hooke dus) wordt door slechts weinig materialen getoond. Bij staal is dit tot een bepaalde belasting wel duidelijk het geval.

Even boven de evenredigheidsgrens ligt de *elasticiteitsgrens*. Tot deze grens is *het materiaal elastisch*; dat wil zeggen: bij het opheffen van de daarbij optredende trekspanning krijgt het materiaal nog zijn oorspronkelijke lengte terug. De Wet van Hooke wordt door vele materialen nauwelijks gevolgd of zelfs maar in een klein gebied. Bij staal dus vrij duidelijk. Voor steenachtige materialen (brosse) materialen geeft een trekproef geen uitkomst en moeten we het met een onderzoek op druksterkte doen. Bij beton is sprake van een parabolisch verband tussen σ_d en ε , waarbij de top bereikt wordt bij een vervorming van ca. 3,5‰.

We kunnen stellen dat *bij mechanische vervorming* van een materiaal doorgaans zowel elasticiteit, viscositeit als plasticiteit een rol spelen. Lage spanningen veroorzaken bij veel (stijve) materialen een elastisch gedrag. Worden de spanningen hoger dan volgt een plastische vervorming (metalen, zie de trekkromme bij staal paragraaf 8.2.6). Worden de spanningen nog hoger dan volgt breuk of scheurvorming.

Plasticiteit

Sommige materialen bezitten *plastische eigenschappen*. Als de spanning boven de elasticiteitsgrens is gekomen en daarna weer tot nul is teruggebracht (dat wil zeggen: als de belasting van het materiaal is weggenomen), is bij deze materialen een blijvende vervorming ontstaan. Vooral metalen kunnen plastische vervorming vertonen. We zeggen dat staal *elastoplastisch* is. Een echt plastisch materiaal is klei, indien daaraan een bepaald percentage water is toegevoegd. Ook sommige kitsoorten gedragen zich plastisch.

Er is wel tijd nodig voor plastische vervorming optreedt en de vervorming ontstaat dan pas nadat de spanning een zekere waarde bereikt heeft (de zwicht- of vloeispanning).

Viskeuze vervorming

Sommige materialen, zoals bitumen (het bindmiddel in asfaltwegdekken en bitumineuze dakbedekkingsmaterialen), vertonen onder bepaalde belastingomstandigheden een vervorming die *viskeus* wordt genoemd. Figuur 1.4 laat de invloed van het verkeer zien. Het materiaal is viskeus gaan vervormen, dat wil zeggen vloeien. In het materiaal treden afschuivingen in de moleculaire structuur op en in feite hebben we te maken met (dikstroperige) vloeistoffen.

De mate van de optredende vloe is afhankelijk van de opgelegde uitwendige kracht en van de tempera-

Figuur 1.4 **Viskeuze vervorming in asfalt**



tuur. De viskeuze vloeï is tevens heel duidelijk afhankelijk van de tijd. Een materiaal dat *viskeus* reageert, zal vervormen (vloeïen) *zolang het materiaal wordt belast* door één van de drie genoemde invloeden. Heffen we een belasting op dan is er een blijvende vervorming ontstaan. De *viscositeit* geeft het verband weer tussen de afschuifspanning in het materiaal en de vervormingssnelheid van de ‘vloeïstof’.

Verhoging van de temperatuur kan een viskeus materiaal dunvloeïbaar maken; met andere woorden de viscositeit daalt. Bij bitumen wordt het viskeuze gedrag veroorzaakt doordat de lange moleculen waaruit het materiaal is opgebouwd, onderling slechts geringe aantrekkingskrachten op elkaar uitoefenen. Belasting, temperatuur en tijdeffecten doen hun invloed daarom duidelijk op het vervormingsgedrag gelden.

Dit geldt in het algemeen ook voor een groep polymeren, de thermoplasten (zie hoofdstuk 9 paragraaf 9.3), waarin gekluwde ketenmoleculen vooral afhankelijk van temperatuurwisselingen meer of minder gemakkelijk langs elkaar kunnen glijden.

In de praktijk wordt vaak gezondigd tegen de juiste formulering van het begrip *viscositeit*. Een bepaald materiaal is hoog viskeus indien de vloeïstof een sterke inwendige samenhang bezit, en laag viskeus indien dat niet het geval is. Bij bitumina is dat dus goed nader aan te geven.

Bij viskeuze materialen is het beter niet van een (eenduidige) *E*-modulus te spreken maar van een (tijdsafhankelijke) *stijfheidsmodulus*. Ook hierbij is een bitumen een goed voorbeeld. De samenhang (cohesie) in het materiaal is gebaseerd op de grootte van de onderlinge aantrekkingskrachten van ionen (geladen atomen) en moleculen.

Voor een goed onderscheid wordt de stijfheidsmodulus met *S* (van stijfheid) aangegeven.

|| **Op de internetsite bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, wordt in Aanvulling 1.2 nader ingegaan op viskeuze en visco-elastische stoffen.**

Kruip

Onder *kruip* verstaat men in de tijd toenemende vervorming van een vast materiaal indien het aan een gelijkblijvende belasting wordt onderworpen. Veelal treedt een eindwaarde op, de *kruiplimiet*, waarbij geen breuk behoeft op te treden (houten balken in historische gebouwen of een brugoverspanning, zie figuur 1.5).

Vrijwel alle materialen vertonen in de praktijk deze kruip. We denken daarbij aan doorbuiging van liggers van staal en beton, zelfs onder invloed van het eigen gewicht. Met dit verschijnsel kruip wordt in berekeningen voor constructies en in voorschriften altijd rekening gehouden.

De *vervorming door kruip* is voor een *groot deel viskeus*, dat wil zeggen: de opgetreden vervorming zal na wegnemen van de belasting niet geheel worden opgeheven. Er is een *blijvende* vormverandering opgetreden, het materiaal is inwendig als het ware iets gevloeïd.

Het *andere deel* van de kruipvervorming is *reversibel*, dat wil zeggen: na het wegnemen van de belasting vervalt deze vervorming; een vertraagd elastische terugvering dus. Bitumen, hout en beton zijn voorbeelden van visco-elastische materialen.

Figuur 1.5 **Kruip en kruiplimiet in brugdek en wegdek**



De eigenschap die bij kruip nauw aansluit is de *langeduursterkte* van een materiaal. Daarbij treedt in een materiaal de hoogste spanning op waarbij de kruip tevens tot stilstand is gekomen.

Vermoeiing

Vaak zijn in de praktijk de belastingen op materialen en constructies niet constant, zij wisselen in grootte. Invloed van wind op gebouwen, grondtrillingen (aardbeving) en verkeersbelasting zijn hier voorbeelden van. Constructies kunnen onder dergelijke belastingen bezwijken, zelfs onder de toelaatbaar berekende spanningen. Trek- en drukzones wisselen elkaar daarbij af en veroorzaken breuk die nog (lang) niet verwacht was. Onderzoek naar vermoeiingsgedrag wordt diepgaand gedaan: bijvoorbeeld op waterkeringen in de Deltawerken en op wegbouwconstructies, terwijl ook bouwwerken in gebieden met aardbevingsbelastingen in de ontwerpfase nauwkeurig worden berekend.

Definitie: de *vermoeiingssterkte* van een materiaal of constructie bij belastingswisselingen, is altijd lager dan de materiaalsterkte die wordt vastgesteld bij (standaard) kortdurende belastingsproeven.

1.4.3 **Thermische vormveranderingen**

Bepalend voor de mate waarin een materiaal bij temperatuurverandering zal uitzetten of krimpen is de *lineaire uitzettingscoëfficiënt*. Hieronder verstaat men de lengteverandering van een materiaal per meter en per graad Kelvin. Vaak gebruikt men de praktische omschrijvingen ‰ of mm/m.

Deze uitzetting is voor sommige materialen, zoals voor de meeste gebakken producten, te verwaarlozen. Bij andere materialen, zoals metalen en kunststoffen, dienen we met deze eigenschap in praktijkomstandigheden terdege rekening te houden. Enkele voorbeelden zijn:

- beton: 0,012‰ (of $12^{-6}/K$);
- kalkzandsteen: 0,010‰;
- staal: 0,012‰;
- aluminium: 0,024‰;
- PVC: 0,08‰;
- baksteen: 0,006‰.

Opmerkelijk grote verschillen zijn hier dus aan de orde. Het tegen elkaar verwerken van verschillende materialen in een constructie kan daarom problemen opleveren.

Sommige materialen zijn ook zeer richtinggevoelig (anisotroop, zie paragraaf 1.4.5), reden waarom voor dergelijke materialen geen eenduidige getallen zijn te geven (een duidelijk voorbeeld is hout).

1.4.4 **Vormveranderingen door vocht**

Krimpen is een gevolg van uitdrogen. Bij vochtopneming zullen de materialen daarentegen *zwellen*. Materialen als hout (het zogenoemde werken van hout) en beton vertonen deze eigenschap (figuur 1.6).

Figuur 1.6 **Droogscheur in beton (oppervlaktescheur in voetpad, met stortnaad)**



Kalkzandsteen vertoont bij onoordeelkundig gebruik door uitdroging (te nat verwerkt) een vrij grote krimp. Baksteen echter is voor dergelijke invloeden vrij ongevoelig (baksteen: 0,03‰; graniet: 0,1‰; cementmortel: 0,3‰; beton: 0,3‰; gips: nihil; kalkzandsteen: 0,6‰).

Hieruit blijken enorme verschillen. Combinaties van genoemde materialen kunnen daarom tot problemen leiden, zoals aangegeven voor de thermische uitzetting (zie paragraaf 1.4.3). Het is daarom noodzakelijk lange doorgaande muren van kalkzandsteen en betonsteen te voorzien van een dilatatievoeg om de ca. 6 m en bij baksteenwanden om de ca. 18 m.

Aan vocht gerelateerd is het gedrag van poreuze materialen met betrekking tot vorst. De uitzetting van water naar ijs (9%) veroorzaakt vaak mechanische destructie. Deze is wel afhankelijk van de poriënstructuur (vorm en grootte van de poriën). De vorstbestandheid van steenachtige producten is een belangrijk praktijkgegeven.

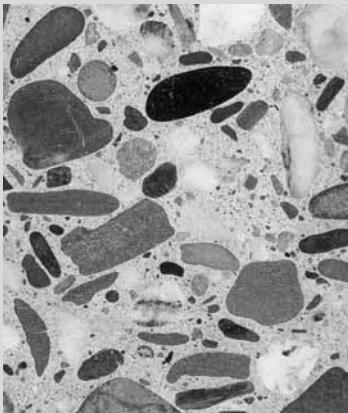
1.4.5 Homogeniteit en isotropie

Een materiaal is *homogeen* als het op welke plaats in welke doorsnede dan ook een gelijkmatige samenstelling vertoont. Zulk een materiaal is bijvoorbeeld staal. Maar ook beton kan op macroniveau homogeen zijn. Is een beton sterk ontmengd (grindnesten bijvoorbeeld) dan is het niet homogeen. In wezen is beton *heterogeen*, dat wil zeggen ongelijksoortig van samenstelling, omdat

het opgebouwd is uit grind, zand, verhard cement en water.

Een materiaal is *isotroop* als het op welke plaats in het materiaal dan ook in alle richtingen gelijke eigenschappen bezit. Staal is vrijwel isotroop, hout evenwel niet. Dit laatste materiaal is opgebouwd uit in een bepaalde richting duidelijk georiënteerd weefsel. In de lengterichting (de groeirichting) van een stuk hout heeft bijvoorbeeld de treksterkte een duidelijk andere waarde dan loodrecht op die richting. We noemen hout daarom *anisotroop*. Ook bladzink is anisotroop (dunne in één richting gewalste plaat). Zelfs beton is anisotroop omdat het een stortrichting kent (figuur 1.7).

Figuur 1.7 **Beton, homogeen en anisotroop**



1.4.6 De volumieke massa

Er zijn *massieve* en *poreuze* materialen. Voor beide kunnen we een verband aangeven tussen hun massa en hun volume. Dit verband is de *volumieke massa*, ook wel *dichtheid* genoemd. Onder de volumieke massa verstaat men de massa in kilogram van een materiaal per kubieke meter. Bij de poreuze materialen zal het poriëngehalte uiteraard van invloed zijn op de grootte van de spreiding in de volumieke massa. Bij hout wordt zelfs een voorgeschreven vochtgehalte gehanteerd (zie paragraaf 2.5.1) bij onderlinge vergelijking van houtsoorten.

De volumieke massa van bijvoorbeeld ongewapend grindbeton is 2 300 tot 2 400 kg/m³ (afhankelijk van de samenstelling), van lichtbeton (afhankelijk van het gebruikte toeslagmateriaal) 1 700 à 2 000 kg/m³. De volumieke massa van ongelegeerd staal is constant en wel 7 850 kg/m³. In dit geval is in feite sprake van de *soortelijke massa*.

|| Op de internetsite bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, is in
|| Aanvulling 1.3 de definitie van gewicht gegeven.

1.4.7 Warmtegeleiding

Bij de warmtegeleiding gaat het om de hoeveelheid warmte die door een bepaald materiaal kan worden doorgelaten. Hierbij zijn het soort materiaal, de dikte en het temperatuurverschil aan beide zijden van het materiaal van belang, terwijl de tijd eveneens een rol speelt. Onder de λ -waarde van een materiaal verstaat men de warmtegeleiding in watt per meter en per graad Kelvin. Staal heeft een λ -waarde van ca. 50 W/(m · K).

Een hoge geleiding betekent een slechte isolatie, een lage geleiding een goede isolatie. Stilstaande, droge lucht is een goed 'isolatiemateriaal', natgeworden poreuze materialen verliezen duidelijk aan isolatiewaarde. De warmte-isolatie van water is 25 × lager dan die van droge lucht. De isolatiewaarde van dubbel glas is gebaseerd op de lage geleiding van droge stilstaande lucht of bepaalde gasen tussen de glasbladen.

Voor constructies wordt gerekend met de zogenoemde R -waarde. Deze weerstandswaarde is de verhouding tussen de dikte d van de constructie en de warmtegeleidingscoëfficiënt λ :

$$R = d/\lambda \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$$

Op deze wijze is bij een gewenste R en de gegeven materiaalconstante λ de benodigde dikte van het materiaal te bepalen. Warmte-isolatie is in hoge mate afhankelijk van de volumieke massa, het vochtgehalte en de aard en de structuur van het materiaal. De temperatuur speelt eveneens een rol. Enkele vergelijkingen met betrekking tot warmtegeleiding zijn:

- grindbeton: ca. 3 × lichtbeton (met bijvoorbeeld bimstoeslag);
- grindbeton: ca. 3 × buitenmuursteen (baksteen);
- staal: ca. 22 × grindbeton;
- aluminium: ca. 4 × staal;
- aluminium: ca. 250 × glas.

|| Op de internetsite bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, is in
|| Aanvulling 1.4 de definitie van Watt gegeven.

1.4.8 Het poriëngehalte

Het poriëngehalte is van invloed op verschillende eigenschappen binnen een materiaalgroep.

Achtereenvolgens kunnen worden genoemd:

- sterkte: hoe meer poriën, hoe lager de sterkte;
- warmte-isolatie: hoe meer poriën des te beter de isolatie; de poriën moeten dan wel met droge lucht gevuld zijn;
- waterdichtheid: hoe minder poriën en ook hoe fijner de poriën, hoe waterdichter (hierbij is van groot belang hoe de poriënstructuur is; onderscheid wordt gemaakt tussen een spons- of een schuimstructuur (al of niet

doorgaande kanalen); in materialen met zeer fijne poriën kan water zeer diep worden opgezogen en met grove poriën minder diep maar wel sneller;

- weerstand tegen aantasting: hoe minder poriën, hoe minder kans op een bepaalde aantasting; de grootte (doorsnede) en vorm van de poriën is van belang voor de mate van binnendringen van gassen of vloeistoffen;
- vorstbestandheid: ook hier zijn poriegrootte en -vorm van groot belang; een rol speelt de zogenoemde verzadigingsgraad waaruit de ruimte volgt die in het materiaal nodig is voor de volumevergroting van water naar ijs;
- volumieke massa: hoe meer poriën, des te lichter (droge) materialen zijn;
- bufferwerking: het poriënsysteem van bijvoorbeeld gips bepaalt in hoge mate de vochtregulatie in keukens en douchecellen in samenhang met ventilatie;
- wateropzuiging: hoe fijner het poriënsysteem, des te meer water er in de loop der tijd kan worden opgezogen en ook des te langer wordt dat water vastgehouden;
- geluidsabsorptie: het poriënsysteem in een materiaal kan duidelijk invloed uitoefenen op het geluiddempend vermogen van het oppervlak van het materiaal.

De invloed van vocht zal bij poreuze materialen duidelijk tot uiting komen.

Indien de poriën zich vullen met vocht zal de volumieke massa stijgen. Bij hout is dit gegeven van groot belang. Verder zullen onder andere de sterkte en de isolatie zich wijzigen bij veranderingen in het vochtgehalte. Beide worden in het algemeen lager bij verhoging van het vochtgehalte. Ook de stijfheid van een materiaal wordt nadelig beïnvloed door een verhoging van het vochtgehalte; de vervormingsweerstand wordt immers verlaagd.

Vergelijkende waarden voor materialen die poreus zijn (sterkte, stijfheid en isolatie), dienen altijd te worden aangegeven met een afgesproken waarde voor het vochtgehalte.

Verscheidene bouwmaterialen zoals beton, gips, mortels, hout, bakstenen en grond hebben een poreus karakter. Vele eigenschappen hangen in sterke mate af van hun poriënstructuur, terwijl de poriënstructuur weer afhangt van de grondstoffen en van het fabricageproces van de producten. In tabel 1.8 wordt de relatie tussen technologische factoren, poriënstructuur en materiaaleigenschappen nader aangegeven.

Tabel 1.8 De grondbeginselen van materiaaleigenschappen

technologische (productie)factoren	poriënstructuur	materiaaleigenschappen
<ul style="list-style-type: none"> • korrelgradering grondstoffen • vochtgehalte grondstoffen • luchtbelvormende e.a. hulpstoffen • verdichtingsgraad • temperatuur bij vervaardiging • (chemische) samenstelling grondstoffen • vervaardigingsmethode (persen, extruderen) 	<ul style="list-style-type: none"> • totaal poriënvolume (porositeit) • doorsnede poriën • gesloten poriën • aandeel gesloten poriën • aandeel doodlopende poriën • vorm poriën • poriegrootteverdeling • poriënoppervlak 	<ul style="list-style-type: none"> • wateropneming • waterdoorlating • wateropzuiging • waterdampcondensatie • waterdampdoorlating • zwellen en krimpen • vervormingsgedrag • sterkte • warmte-isolatie • geluidsabsorptie • volumieke massa • weerstand agressieve omstandigheden

1.4.9 Gedrag bij hoge temperatuur (brand)

Een materiaal is *brandbaar* indien het in aanwezigheid van voldoende zuurstof bij een bij dat materiaal geëigende temperatuur uit zichzelf gaat branden (figuur 1.9). Er ontstaan namelijk bij die temperatuur uit zichzelf ontbrandende gassen.

Hout en bepaalde kunststoffen vertonen deze eigenschap. Onbrandbare materialen dragen niet bij tot de voortgang van een brand.

Onder *brandwerendheid* wordt wat anders verstaan dan onder brandbaarheid. De brandwerendheid van een constructie (of materiaal) is de *tijd* gedurende welke ze (het) in stand blijft bij een bepaalde verhitting. Het gaat dus in feite om de tijd waarin doorslag van brand naar aangrenzende ruimten wordt voorkomen.

De brandwerendheid is van groot belang voor de sterkte-eigenschappen bij hoge temperatuur. Zware doorsneden van hout hebben een vrij lange levensduur bij brand. Staal heeft daarentegen bij ca. 500 °C (normale brandtemperatuur ca. 1000 °C) nog slechts de helft van de maximale kwaliteitssterkte van een soort, terwijl de vloeigrens daarvoor al is bereikt. Hiermee wil evenwel niets gezegd zijn ten nadele van de goede eigenschappen van staal als constructiemateriaal, er wordt wel rekening mee gehouden.

Enkele andere begrippen met betrekking tot hoge temperaturen zijn:

- *Ontvlambaarheid* – het al dan niet zelfstandig doorbranden na aanraking met een warmtebron. Men onderscheidt gemakkelijk en niet-gemakkelijk ontvlambare materialen.
- *Vlamoverslagintensiteit* – hiermee wordt de bijdrage beoordeeld die een materiaal levert tot vlamoverslag ten gevolge van warmteophoging aan het oppervlak van het brandbare materiaal. Er is dan sprake van uitbreiding van brand via aan de lucht afgedragen brandbare gassen. De gehele ruimte staat plotseling in brand. Materialen kunnen worden ingedeeld in klassen van zwakke tot sterke bijdrage en tussenliggende waarden. De vlamoverslagintensiteit is een maatstaf voor de ontvlambaarheid.
- *Brandoverslag door straling* – de nadruk ligt op veilige afstanden tussen gevelopeningen.
- *Vlamuitbreiding* – de snelheid waarmee vlammen zich over materialen voortplanten. Ook hier vindt indeling in klassen plaats.
- *Bijdrage tot brandvoortplanting* – het zich uitbreiden van een brand in de ruimte. Men onderscheidt klassen van zeer zwakke bijdrage tot sterke bijdrage. Van groot belang is dat een materiaal na de brand niet direct geheel in brand staat of grote hoeveelheden rook ontwikkelt. De mate van rookontwikkeling wordt aangegeven met een zogenoemd rookgetal *R* (van zwakke tot zeer sterke rookontwikkeling).
- *Zelfdovendheid* – het materiaal kan wel branden, maar onderhoudt de brand niet. De omstandigheden bij uitslaande brand zijn soms in duidelijke tegenstelling met deze aanname. Beter is ook hier te spreken van bijdrage tot brandvoortplanting.

Op het gebied van brandveiligheid wordt in de *normalisatie* uitgebreid aandacht besteed, ook in nauwe relatie met het *Bouwbesluit*. Naar de volgende normen wordt dan verwezen:

- brandbeveiliging van gebouwen en woningen;
- brandwerendheid van bouwmaterialen en bouwdelen.

Brandaspecten zijn als zeer belangrijk onderwerp in het Bouwbesluit 2003 omschreven. Een bijzonder gegeven is de 'compartimering' van gebouwen, waardoor beheersbaarheid van branden mogelijk is.

De paragraaf Brandveiligheid van het Bouwbesluit richt zich op de Euroklassen volgens NEN-EN 13.501-1. Bouwmaterialen en bouwproducten voldoen daarbij aan de Richtlijn Bouwproducten.

De brandklasse-indeling geschiedt naar de mate waarin materialen aan een brand bijdragen. De indeling loopt van A1 (hoogste veiligheid, onbrandbaar) tot F (zeer gevaarlijke bijdrage, uiterst brandbaar).

De Euroklassen-indeling maakt onderscheid tussen vloeren en niet-vloeren.

Figuur 1.9 Het schrikbeeld van brand



1.4.10 Duurzaamheid

Een materiaal is *duurzaam* als aan alle denkbare belastingen goede weerstand kan worden geboden in een economisch nuttig tijdsbestek (de *langeduurgebruikswaarde*). Die belastingen kunnen zowel een intern als een extern karakter hebben, terwijl ze bovendien van chemische, fysische, biologische en mechanische aard kunnen zijn.

We kunnen positieve invloed op de lengte van de levensduur van materialen en constructies uitoefenen als we alle belastingen onderkennen en kunnen verklaren. De grondslagen voor *duurzaam bouwen* (Dubo). Behoud en onderhoud van constructies gaan daarbij hand in hand.

Voorbeelden van *chemische* belasting (waarbij ook destructieve reacties kunnen optreden) zijn:

- intern: verontreiniging van aanmaakwater in beton;
- extern: zure regen en zuur grondwater op beton, zwamaantasting op hout, corrosie van staal.

Fysische belastingen kunnen zijn:

- intern: spanningen ten gevolge van temperatuurwisselingen en wisselingen in vochtgehalte (krimpen/zwellen);
- extern: vorst, brand, zonnewarmte, afkoeling door regen.

Biologische belastingen vinden voornamelijk plaats op organische materialen. Voorbeelden zijn de dierlijke (insecten) en plantaardige (zwammen) aantasting van hout.

Mechanische belastingen kunnen zijn:

- intern: eigengewicht, nuttige belasting;
- extern: zettingen van de ondergrond, aardbeving, wind.

Bij materialen kunnen duurzaamheidsklassen worden aangegeven; bijvoorbeeld de vijf duurzaamheidsklassen van hout (zie paragraaf 2.9.6).

Het is zaak dat steeds *maatregelen* worden genomen om de *duurzaamheid* van bouwwerken te garanderen voor de beoogde gebruikstijd. Daarbij zijn van belang: ontwerp, materiaalkeuze, uitvoering en beheer.

De technische zowel als de functionele *levensduur van bouwwerken* moeten zo lang mogelijk zijn. Technisch is dat mogelijk door een verantwoorde *materiaalkeuze*; functioneel door de bouwwerken zo te ontwerpen dat de taak die ze moeten vervullen de beoogde tijd haalt en dat ze zonder grote ingrepen later aan nieuwe functie-eisen kunnen voldoen. Dan behoort demontabel bouwen tot de mogelijkheden.

1.5 Milieueffecten

1.5.1 Inleiding

Steeds meer worden we geconfronteerd met de vraag of *bepaalde materialen milieubelastend* zijn of zelfs direct de gezondheid nadelig kunnen beïnvloeden. Het is zaak ontwikkelingen ten aanzien van milieueffecten nauwgezet te volgen, om te veel onrust te voorkomen. Zeker ook op het gebied van de recycletechnieken is men nog niet uitgepraat. Goede berichtgeving (op onderzoek gefundeerd) blijft noodzaak. Vaak zijn het nieuwere materialen (bepaalde kunststoffen) of producten die van andere industriële processen afkomstig zijn (bijvoorbeeld gipssoorten) of bepaalde afvalstoffen (bijvoorbeeld vliegias) die de mens, al of niet gegrond, in beroering brengen.

Vaak biedt wetenschappelijk onderzoek uitkomst. *Vliegias* kan worden verwerkt in cement, in een vuurvast materiaal voor brandwerende coating van staalconstructies en in isolerende bouwpanelen. Een gipssoort, die vanuit de kunstmestindustrie kan worden gewonnen is enigszins radioactief en daardoor voor het binnenklimaat onbruikbaar. Buitenshuis kan het eventueel gebruikt worden, echter zonder watercontact! *Rookgasontzwavelingsgips* (zogenoemde Rogips) is evenwel onschuldig.

Duidelijker ligt het met *asbest*, dat van een bepaalde kristalopbouw kankerwekkend is. Nog vele producten *in de bestaande bouw* zijn asbesthoudend, asbestcementplaten en buizen en bitumen, lijm, coatings, en isolatiesystemen. Hiervoor zijn wettelijke verwijderingsrichtlijnen uitgevaardigd.

Houtverduurzamingsmiddelen zijn niet voor niets onderworpen aan toelatingsregels van de overheid. Over de milieu- en gezondheidsaspecten van verfsoorten (oplosmiddelen) is het laatste woord ook nog niet gezegd. Verder kan hergebruik of gewoon afval van bepaalde kunststoffen (bijvoorbeeld PVC) problemen geven. *Teerhoudende* producten, bepaalde coatings en verf zijn eveneens problematisch bij hergebruik.

We kunnen er echter van uitgaan dat overheid en fabrikant in nauw overleg blijvend tot duidelijke regelgeving zullen en willen komen.

Het al genoemde product *vlieg*as (poederkoolvlieg)as is het bijproduct van de met steenkool gestookte elektriciteitscentrales. Daarvan komen enorme hoeveelheden vrij. Door de specifieke eigenschappen van vlieg)as (zogenoemde puzzolane werking, dat wil zeggen met kalk in een waterige omgeving een verhardingsreactie aangaan) is dit materiaal goed te gebruiken als vulstof in cement (portlandvlieg)asement), beton, schuimbeton, kalkzandsteen en asfalt voor de wegenbouw. Naar de mogelijkheden van vlieg)as is diepgaand wetenschappelijk onderzoek verricht.

Bij de bespreking van de verschillende materiaalgroepen wordt specifiek op het milieu teruggekomen.

De Stichting Milieukeur ontwikkelt systematisch onafhankelijke milieukeurmerken voor producten en productgroepen voor producenten.

1.5.2 Optimaal materiaalgebruik

Intensief onderzoek is en wordt verricht naar de milieubelasting door bouwmaterialen op basis van bepaalde milieu- en energieaspecten; aspecten die optreden gedurende de gehele levensduur van de materialen, van grondstofwinning tot en met mogelijke en gewenste recycling. Men beoogt hiermee te komen tot *milieubewust bouwen* en de ontwikkeling van milieuvriendelijke (woon)gebouwen.

Bij bouwmaterialen dient aandacht te worden besteed aan:

- het in het algemeen zuinig gebruik van bouwmaterialen (dit verlaagt het percentage reststoffen);
- het zo min mogelijk gebruikmaken van grondstoffen die schaars zijn (tropisch hardhout en grind bijvoorbeeld);
- het terughoudend gebruik van materialen die milieu- en natuurbelastend zijn (chemische bouw- en hulpstoffen);
- materiaaltoepassingen die de mogelijkheid bieden tot hergebruik (bijvoorbeeld metalen).

Verder moet ook aandacht besteed worden aan de ontwikkeling van nieuwe bouwmethoden waardoor:

- slopen minimaal kan zijn (belang van demontabel bouwen);
- hergebruik van sloopafval mogelijk is (selectief slopen); zie figuur 1.10.
- het percentage bouwafval laag is (prefabricage, goede maatvoering, zo veel mogelijk gebruikmaken van handelsafmetingen);
- het onderhoudsafval minimaal kan zijn (duurzame materialen toepassen, een onderhoudsplanning en indien mogelijk onderhoudscontracten afsluiten met de uitvoerende aannemer);
- bij latere functiewijziging weinig afval ontstaat (bijvoorbeeld kantoorgebouw wordt garage).

En tot slot wordt er aandacht besteed aan:

- het gebruik van schoon afval (geselecteerd op de bouwplaats door selectief slopen), zoals balkhout en puingranulaat voor beton;
- het toepassen van duurzame materialen (dit verlengt de gebruiksduur van bouwwerken).

Figuur 1.10 Sloopafval, bestemming zoeken



Zoals de zaken er nu voorstaan komen vele materialen voor nader onderzoek en vergelijking in aanmerking. *Een taak voor de pure materiaalkunde.* Het is de bedoeling van gedegen onderzoek geen 'schuldigen' in het bouwmaterialenpakket aan te wijzen zodat bouwen vertraagd en zelfs onmogelijk wordt. Voor het realiseren van bouwwerken zijn nu eenmaal bouwmaterialen nodig!

Met optimaal materiaalgebruik moet *duurzaam bouwen* mogelijk zijn.

1.5.3 **Bouwmaterialen, mens en milieu**

Vele grondstoffen en vooral ook materiaalsamenstellingen moeten nog worden beoordeeld op nadelige invloeden. Bepaalde materialen staan onder grote druk en zijn of worden uit de handel/productie genomen. Voor bepaalde bouwdoeleinden zijn alternatieven nodig die het liefst even goedkoop moeten zijn als het oorspronkelijke product (vervanging van golfplaten van asbestcement bijvoorbeeld).

In samengestelde producten worden bepaalde stoffen sterk gereduceerd. De toevoegingen *vrij* en *arm* worden vaak gebruikt. Er geldt dan dat bij *vrij geen* en bij *arm nog steeds een zekere hoeveelheid* van een bepaalde stof verwerkt is. Hoe weinig dat dan ook mag zijn! Bij materiaaltoelevering moet een exacte aanduiding van de samenstelling aanwezig zijn, zodat twijfel uitgesloten wordt.

Een belangrijke milieuvervuiling wordt veroorzaakt door CFK's (chloor-fluorkoolstoffen). Deze chemische producten zijn de voor de ozonlaag bedreigende koolstofverbindingen (dus niet koolwaterstoffen, zoals vaak gezegd). Ook in bouwmaterialen komen die voor, onder andere in oudere polyurethaanschuimen. Vanaf 1993 is de controle op deze ozonlaag vernietigende koolstofverbindingen indringend verhoogd. Isolatieplaten en -panelen, vloer- en spouwmuurisolatie die met CFK zijn geproduceerd mogen van begin 1993 niet meer worden gebruikt. Sinds 1 juli 1993 zijn alle CFK-houdende isolatiematerialen verboden.

Er is ook veel van de zogenoemde *binnenruimte-invloed* van bouwmaterialen op de mens bekend. Een aantal materialen wordt geweerd of staat onder strenge controle, zoals bepaalde synthetische gipssoorten, de beruchte asbestvezels en oplosmiddelen in verf en lijm. Tegelijkertijd hebben hier tevens positieve ontwikkelingen geleid tot zeer bruikbare producten, zoals de isolatiemogelijkheden met cellulose en vlas.

Het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE), gevestigd in Bussum, heeft grondslagen ontwikkeld voor milieubewust en gezond bouwen, werken en wonen.

Belangrijke grondslagen zijn:

- De NIBE *milieuclassificatie* bouwmaterialen. Hierin hebben bouwmaterialen een keuzewaardering van 1 (voorkeur) tot 7 (onaanvaardbaar). In de beoordeling wordt de gehele levenscyclus van een materiaal meegenomen: grondstofwinning, productie (inclusief halffabrikaten), constructie, gebruik, onderhoud, sloop, afvalverwerking en hergebruik.
- De NIBE *milieu-index*, een getal voor de duurzaamheid van een gebouw. Als basis fungeren bouwmaterialen, energie, waterhuishouding, mobiliteit en bereikbaarheid. De index geeft de druk op het milieu weer. Hoe lager de index (referentieniveau: de bouwmethoden van 1990) des te meer aan de wensen van *duurzaam bouwen* wordt voldaan.

1.5.4 Milieubeleid overheid

Het Nationaal Milieubeleidsplan

In het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) werd de tactiek nader omschreven voor het milieubeleid op de middellange termijn. Voor het milieu is het uitgangspunt: streven naar een duurzame ontwikkeling. Deze ontwikkeling voorziet voor de mens in de behoeften van de huidige generatie en tegelijkertijd in waarborging van de behoeften van toekomstige generaties.

Bij een goed milieubeheer moeten ongewenste effecten van menselijk handelen worden voorkomen of tegengegaan.

De steeds groter wordende milieuproblemen zijn aanleiding geweest tot het opstellen van dit beleidsplan. Problemen die vroeger slechts van lokaal belang in een land leken, zijn wereldproblemen gebleken, en omgekeerd.

In het NMP is de *bouwsector een doelgroep* waarvan grote inspanningen worden verlangd. Van de bouw uit moeten continue activiteiten plaats vinden om aan de doelstellingen te voldoen: opleidingen, gerichte informatie aan werknemers en consumenten, maar ook milieuvriendelijke producten voor de steeds intensievere 'doe-het-zelfsector'.

Het NMP eiste van de bouw al taakstellingen die vóór 2000 moesten zijn gehaald. *In relatie tot bouwmaterialen* kwam dit op het volgende neer:

- een verdubbeling van het hergebruik van bouw- en sloopafval;
- in het gehele bouwproces duidelijke aandacht voor milieueffecten van bouwmethoden en bouwmaterialen;
- vervanging van (bouw)materialen waarvan winning, gebruik en/of afvalverwerking tot ernstige milieugevolgen leiden;
- besparing (extra) van het energiegebruik van 25% in de verwarming van gebouwen (normstelling met betrekking tot isolatie van gebouwen is hiermee verscherpt);
- bevorderen van de bouwkwaliteiten (grenswaarden zijn gesteld aan risico's van het binnenmilieu);
- grote aandacht voor natuurlijke producten (grondstoffenproblematiek);
- beheerst gebruik van grondstoffen die uitgeput raken;
- tropisch bos ontzien. Het NMP 4 eist dat 25% duurzaam geproduceerd hout voor de bouw in 2005 wordt bewerkstelligd.

Gebaseerd op het voorgaande werd het project Duurzaam Bouwen tot ontwikkeling gebracht. Een zogenoemde *ketenbeheer* (kringloop van grondstoffen voor de bouw) staat daarbij centraal.

Bij *duurzaam bouwen* (Beleidsnota van het Nationaal Milieubeleidsplan) vormen ontwerpen, bouwen (uitvoeringsproces) en beheren en het onderkennen van milieuproblemen een onverbreekelijke interactie. Het beleid is wat grondstoffenproblematiek voor de bouw betreft, gericht op:

- vermindering van het gebruik van eindige grondstoffen en aanmoediging van het gebruik van vernieuwbare en secundaire grondstoffen;
- beperking van afvalstromen in de bouw en stimulering van hergebruik van bouw- en sloopafval;
- vermindering van belastende milieuemissies bij de productie van bouwmaterialen en gebouwen.

De milieubelasting wordt vastgelegd door ontwerp en materiaalkeuze en loopt van producten tot sloop of hergebruik.

Duidelijk is dus dat *duurzaam bouwen* (Dubo) algemeen wordt gerelateerd aan energiezuinig en milieuvriendelijk. *Duurzaam bouwen* wordt het meest toegepast in de woningbouw. Architecten passen Dubo het meest toe, zo'n 80%, aannemers 70% en woningcorporaties 79%. Professionele opdrachtgevers en gemeenten zijn vaak de initiatiefnemers. Het NPDB (Nationaal Pakket Duurzaam Bouwen) wordt zowel als naslagwerk en als leidraad gebruikt. Voor de algehele bouwsector (bouwkunde en civiele techniek) is het duidelijk dat er weloverwogen keuzes moeten worden gemaakt bij zowel bouwprojecten als bouwprocessen.

In de strategie van *duurzaam bouwen* past de ontwikkeling van Industrieel, Flexibel en Demontabel bouwen (IFD): een combinatie van verhoging van productkwaliteit (I), wisselende gebruikerswensen (F) en vermindering van milieubelasting (D). Het samenspel versterkt de ontwerpfase. De gebruiksfase moet de bedoeling van IFD bewijzen. Zowel in de woningbouw, utiliteits-

bouw als grond-, weg- en waterbouw zijn de mogelijkheden voor IFD ruimschoots voorhanden.

De doelstellingen van *duurzaam bouwen* zijn ook van toepassing verklaard op de sector grond-, wegen- en waterbouwkunde. Van belang is verder het besluit van het Ministerie van VROM dat het storten van herbruikbaar bouwen en sloopafval verbiedt.

Duurzaam bouwen maakt onderdeel uit van het Bouwbesluit. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen materiaalgebonden en niet-materiaalgebonden maatregelen. Voor materialen zijn minimumeisen en LCA (levensduurcyclusanalyses) van belang.

Na het uitkomen van het NMP constateerde men dat dit milieuplan aangescherpt moest worden om de doelstellingen van dit plan, gericht op een *duurzame ontwikkeling*, zo snel als mogelijk te realiseren: *de geboorte van NMP⁺*. De milieuproblemen mogen namelijk niet worden afgewenteld op komende generaties. Dit is te realiseren met aanpassing van tegenwoordige consumptie- en productieomstandigheden.

De aanscherping van het NMP met de regels van het NMP⁺ waren:

- minder uitstoot kooldioxide;
- verzuring intensiever aanpakken;
- bescherming en ontwikkeling van de natuur nog meer centraal stellen;
- totale afvalketen blijvend beheersen: productiebeleid aandachtig volgen;
- sanering grond en water;
- energiebesparing.

Het latere NMP 3 staat aanzienlijke reductie van belastende emissies voor.

Het is duidelijk dat ook bouwmaterialen steeds op de voorgrond treden. Het was niet de bedoeling met het NMP⁺ de strategie van het NMP aan te tasten; wel werden versnelling van maatregelen en aanvullende maatregelen beoogd. De duurzame ontwikkelingen moesten eerder in zicht komen. NMP en NMP⁺ vormen samen het milieubeleid van de jaren negentig af.

Bodembelasting (op basis van samenstelling en uitloging van (bouw)materialen) en stralingsbelasting (onder andere gasvormig radon) zijn te verwerken in kengetallen (milieumaten) en in de bedoeling van NMP⁺ geïntegreerd. De *milieumaten* zijn bedoeld om milieueffecten van (bouw)producten duidelijk te maken.

De Europese Commissie publiceert de *regelgeving Milieu Prestatie Normen voor Gebouwen*. De LCA-methodiek (levensduurcyclusanalyse) voor bouwmaterialen is in het Bouwbesluit 2003 opgenomen. Voor bouwdelen, bouwproducten en -materialen en ook voor afvalstromen zijn milieugegevens nodig om milieuprestaties van woningen aan te geven. Van een bouwproduct moeten milieuprofiel en milieumaten worden bepaald. Het *milieuprofiel* omvat onder andere broeikas effect en verzuring.

Men onderkent in dit verband het zogenoemde *materiaalgebonden milieuprofiel van gebouwen* (mmg).

De LCA zet de eigenschappen van het product af tegen de belasting van het milieu. Daarbij zijn van belang de verwerkingsfase, de winning, de productie, de bewerking, het transport en einde levensduur. Expliciet worden vijf milieumaten onderkend, te weten grondstoffen, energie, emissie, hinder en afval.

Het *Bouwstoffenbesluit* (verantwoord toepassen van primaire en secundaire bouwstoffen, algemeen beleid ter bescherming van bodem, oppervlaktewater en 'gelimiteerde' grondstoffen) is vanaf 1 juli 1999 volledig van kracht (toelaatbare bodembelasting door bouwstoffen). Er worden milieuregels gehecht aan het toepassen van steenachtige bouwmaterialen, zoals de natuurlijke materialen grond, zand, grind en klei, en de secundaire producten asfalt, baksteen en beton.

AVI-bodemassen (afvalverbrandingsindustrie) en teerhoudend asfalt (te hoog PAK-gehalte) mogen uitsluitend nog geïsoleerd, gecontroleerd en beheerd worden aangebracht in fundering en ophoging. Lichtverontreinigde materialen mogen onder bepaalde omstandigheden worden verwerkt.

Veld- en laboratoriumonderzoek heeft laten zien dat AVI-bodemassen geschikt is als ophogingsmateriaal voor wegen. De dienst Weg- en Waterbouwkunde (RWS) kwam tot die conclusie na onderzoek van een proefvak in de rijksweg A15.

1.6 Materiaalkundige aspecten

1.6.1 Eigenschappen en materiaalgrootheden

De civiele techniek houdt zich voor een belangrijk deel bezig met mechanische grondslagen van materialen (en constructies), terwijl de bouwkunde een flink aandachtsgebied vindt in de afsluitende functies van bouwwerken. Overgangsgebieden zijn in beide bouwdisciplines overduidelijk aan te geven, terwijl elk duurzaamheidsaspect dan ook voor beide geldt.

We zien dat terug als we de verschillende functies nader onder de loep nemen en daarbij *materiaalgrootheden* centraal stellen.

In de toegepaste mechanica en de bouwfysica wordt gerekend met *grootheden, die zijn afgeleid uit de materiaaleigenschappen*. Voorbeelden van deze eigenschappen en materiaalgrootheden die bekend moeten zijn om te beoordelen of een bouwwerk aan zijn *functies* zal voldoen, zijn in tabel 1.11 aangegeven. Vier bouwtechnische functies staan hierbij centraal.

Tabel 1.11 **Functie, eigenschap, grootheid**

functie	eigenschap	uitgedrukt in de grootheden
• dragend vermogen	– sterkte	– druksterkte – treksterkte – schuifsterkte – buigsterkte
• vormstabiliteit	– stijfheid – kruip – krimp – thermische uitzetting	– E-modulus – kruipmodulus – uitdrogingskrimp – uitzettingscoëfficiënt
• thermische isolatie	– warmtegeleidingsvermogen	– warmtegeleidingscoëfficiënt en warmtedoorgangcoëfficiënt
• waterkerend vermogen	– permeabiliteit – wateropzuiging – waterdampdoorlating (diffusie)	– waterdoorlatendheidscoëfficiënt – capillariteit – waterdampdoorlatendheidscoëfficiënt

1.6.2 Grootheden en afhankelijkheid

Men zou geneigd zijn te denken dat de materiaalkunde kan volstaan met het geven van (eenduidige) waarden voor de *grootheden van materiaaleigenschappen*. Er zijn echter verschillende redenen aan te geven waarom de ontwerper of constructeur aan die waarden niet voldoende heeft.

Hier volgt daarvoor een aantal argumenten.

- 1 *Grootheden* hangen vaak af van de *ontstaanswijze* de wijze waarop een materiaal is vervaardigd en/of nabehandeld (staal, beton) of van nature gevormd (natuursteen, hout). Eigenschappen van materialen zijn dus duidelijk gerelateerd aan of gebaseerd op een voorgeschiedenis.

Voorbeelden:

- Staal krijgt door koudvervormen of warmtebehandelingen andere eigenschappen.
- Betoneigenschappen zijn afhankelijk van wijze en tijdsduur van het mengen van de specie, van toegepaste hulpstoffen, van cementsoorten, van de verdichtingsprocessen, van de vervaardigingstemperatuur en van de zorgvuldigheid van de nabehandeling.

De materiaalkunde heeft daarom de taak uit de technologie de relaties te zoeken tussen de manier van het maken en/of vindomstandigheden van het materiaal en de eigenschappen ervan. Een materiaal is niet altijd gelijksoortig (heterogeen) en dat moet in de gebruikte waarden tot uitdrukking komen.

- 2 De *grootheden* zijn altijd afhankelijk van:
 - a de temperatuur;
 - b de spanning in het materiaalsysteem;
 - c het vochtgehalte van het materiaal.

Ad a Temperatuur

De temperatuur heeft een zeer grote invloed op de elasticiteitsmodulus van kunststoffen, een vrij grote op die van staal en een wat minder grote op die van steenachtige materialen. Binnen een temperatuurgebied van 50 °C kan een kunststof meer dan 100 × minder stijf worden. Staal is bij 20 °C zeven maal stijver dan beton, maar bij 600 °C (bij brand bijvoorbeeld) kan beton stijver zijn dan staal.

Ook andere eigenschappen zijn temperatuurafhankelijk. De warmte-isolatie van een geschuimde kunststof bijvoorbeeld is afhankelijk van de temperatuur.

Ad b Spanning in het materiaalsysteem

De E-modulus is vaak een functie van de spanning. Dat wil zeggen dat de modulus geen constante is. Soms moet gerekend worden met de raaklijn aan de krommen van het spannings-vervormingsdiagram (zie ook σ , ϵ -diagram van staal, paragraaf 8.2.6).

Ad c Vochtgehalte van het materiaal

Het vochtgehalte van poreuze stoffen kan de eigenschappen van een materiaal aanzienlijk veranderen. De sterkte van vochtig beton is bijvoorbeeld 20 tot 35% lager dan van droog beton. Bij gips kan het verschil oplopen tot 50%.

Hoe vochtiger het beton, des te groter wordt de krimp bij uitdrogen (zie figuur 1.6). Vochtig beton laat (verontreinigde) lucht veel langzamer binnendringen dan droog beton.

De materiaalkunde moet daarom formules aandragen waarmee de temperatuur-, spanning- en vochtafhankelijkheid van de materiaaleigenschappen berekend kunnen worden.

- 3 De effecten van temperatuur, kracht en vochtgehalte op het materiaalgedrag zijn niet onafhankelijk van elkaar. Vochtig beton heeft een andere thermische uitzettingscoëfficiënt dan droog beton. Door vormveranderingen die met vocht gepaard gaan, treden spanningsverschillen op tussen kern en oppervlak van het materiaal. Op iedere plaats zijn temperatuur, vochtgehalte en spanning anders. Op iedere plaats is ook de sterkte anders door vocht- en temperatuurverschillen. Voor het nauwkeurig berekenen van spanningen mogen daarom geen 'materiaalconstanten' gebruikt worden.

De materiaalkunde heeft tot taak om de effecten op het materiaal bij gelijktijdige veranderingen van temperatuur, krachten of vochtgehalte te onderzoeken.

- 4 Alle grootheden zijn tijdsafhankelijk. Sterkte en elasticiteitsmodulus van beton bijvoorbeeld nemen toe met de tijd. Blijvende vormverandering onder voortdurende gelijkblijvende belasting in de tijd is van grote betekenis (kruip). De korteduursterkte van een materiaal is vaak veel hoger dan de sterkte bij langeduurbelasting. Een baksteenmuur bijvoorbeeld bezwijkt onder kruipbelasting bij een sterkte waarde die ca. 60% bedraagt van de sterkte bij een kortdurende belasting. Een extra complicatie is dat sommige materialen (beton, mortels) in de tijd verder verharderen en daarmee sterker worden.

De materiaalkunde mag daarom niet volstaan met alleen de sterkte op te geven die bij een korteduurbelasting is gevonden, maar moet tevens de belastende factoren weergeven die voor de tijdsduur gelden waarin de constructie moet dienstdoen.

Dit geldt ook voor alle andere grootheden.

- 5 De grootheden zijn dimensieafhankelijk. De grootheden die in vele tabellen worden weergegeven, gelden in het algemeen voor materialen waarvan de onderzochte proefstukken (veel) kleiner en ook anders van vorm zijn dan de constructies zelf. De breukrek van een korte stalen proefstaaf is vele malen groter dan van hetzelfde staafmateriaal met de (grote) lengte in de constructie. Bij onderzoek blijkt dat van betonkubussen, die van hetzelfde beton zijn gemaakt en in hetzelfde milieu en gedurende dezelfde tijd verhard zijn, de gemiddelde sterkte van grote kubussen veel lager is dan van kleinere kubussen. Ook blijkt dat de sterkten van alle kubussen met eenzelfde afmeting niet even groot zijn. De spreiding in de sterkte waarden is echter bij de grote kubussen veel geringer.

De materiaalkunde moet daarom op statistisch verantwoorde wijze rekening houden met heterogeniteit in het materiaal en met de spanningspatronen die bij onderzoek in grote en kleine proefstukken kunnen optreden.

- 6 De grootheden zullen met de tijd veranderen als gevolg van invloeden van het milieu. De eigenschappen van kunststoffen kunnen sterk veranderen als gevolg van langdurige inwerking van ultraviolet licht, hout kan door

organismen aangetast worden, staal kan corroderen, geïsoleerde baksteen kan soms slecht bestand zijn tegen vorst en beton kan door zuren en bepaalde zouten worden aangetast. Zie de aantasting van metselwerk in figuur 1.12.

Met de eigenschappen zal ook de bruikbaarheid in de tijd van de constructie veranderen. Constructies moeten daarom niet berekend worden met gebruikmaking van de waarden van de materiaaleigenschappen die het materiaal in het nieuwe bouwwerk bezit, maar met de *verwachte minimumwaarden* die in de loop van de levensduur ervan worden bereikt.

De materiaalkunde moet dus trachten om kwantitatief de achteruitgang van materialen in de loop van de tijd te voorspellen als functie van de gekozen verduurzamingsmethoden en onderhoudsregels.

- 7 In onze tijd wordt de *materiaalkeuze* niet meer alleen bepaald door de technische en esthetische materiaaleigenschappen en de prijs die voor het materiaal moet worden betaald, maar zeker ook door de invloed die het gebruik van een materiaal op de andere aandachtsgebieden in de maatschappij heeft, zoals de gezondheidssector (straling, ontwikkeling van gassen) of de milieusector (consequenties van ontgronding, recycling, enzovoort).

De materiaalkunde moet trachten de voor- en nadelen van het gebruik van materialen tegen elkaar af te wegen en bovendien nagaan of het mogelijk is om afvalstoffen in de bouwmaterialen op een verantwoorde wijze te verwerken.

Resumé materiaalgrootheden

Bij eenvoudige constructies loont het zeker niet om alle *varianties* die in *materiaaleigenschappen* kunnen voorkomen nauwkeurig te kennen. Men kan volstaan met die constante waarden van de materiaalgrootheden, waarvan de praktijk geleerd heeft dat ze tot verantwoorde constructies leiden en hebben geleid. De onzekerheden komen in dat geval tot uiting in een grotere veiligheidsfactor waarmee gerekend wordt.

Het toepassen van verschillende waarden voor de materiaaleigenschappen van één materiaal op verschillende plaatsen en tijden, maakt dat de berekening veel moeilijker wordt. Computergestuurde rekenprogramma's laten daar waar nodig verfijningen toe waardoor de 'onzekerheidsfactor' als onderdeel van de veiligheidsfactor wordt verlaagd.

De belangrijkste opgave van de materiaalkunde bestaat uit een kwantitatieve beschrijving van de opbouw van de materialen (de materiaalstructuur) en van de wetmatigheden, die het verband aangeven tussen de structuur en de waarden van de eigenschappen waar we gebruik van willen maken. Anderzijds moeten we weten hoe door samenstelling en fabricagemethode de structuur bepaald wordt. *We kunnen dus twee verbanden onderkennen:*

Verband 1: samenstelling en fabricagemethode → materiaalstructuur

Verband 2: materiaalstructuur → eigenschappen (de mechanische eigenschappen sterkte en vervorming, thermische isolatie, waterkering, duurzaamheid)

Verband 1 geldt per afzonderlijk materiaal, omdat dit verband voor elk materiaal anders is. Verband 2 geldt in principe voor alle materialen met eenzelfde soort structuur.

De materiaalstructuur is dus het centrale thema in de materiaalkunde, de relatie met de eigenschappen ligt voor de hand.

Figuur 1.12 Tijd en milieu kunnen materiaalgrootheden nadelig beïnvloeden



1.6.3 De structuur van bouwmaterialen

Constructieve bouwmaterialen bestaan uit vaste stoffen. Echter zijn lang niet alle vaste stoffen geschikt om te gebruiken als bouw materiaal.

Enige voorwaarden zijn:

- Ze moeten goedkoop te verkrijgen en te bewerken zijn.
- Ze moeten een inwendige samenhang vertonen die overal zo groot is dat erop (en ook ermee) te rekenen valt. Grote samenhang betekent stijfheid, sterkte en dichtheid.
- Hun kwaliteiten mogen in de praktijk niet te snel afnemen (langeduurgebruikswaarde).
- Ze mogen geen al te grote vormveranderingen ondergaan.

We kunnen drie materiaalgroepen onderscheiden die hieraan min of meer voldoen:

- 1 de metalen: staal, aluminium;
- 2 de steenachtige materialen: beton, natuursteen, baksteen, kalkzandsteen, grond;
- 3 de organische groep: kunststoffen, hout, bitumineuze producten.

De variaties in eigenschappen binnen de groepen zijn groot. Toch is het mogelijk een ruwe karakterisering te geven van hun belangrijkste kenmerken. Deze karakterisering (tabel 1.13) laat duidelijk zien dat de chemische verwantschap van de grondstoffen een grote invloed moet hebben op hun eigenschappen.

Tabel 1.13 Karakterisering van de kenmerken van drie materiaalgroepen

	metalen	steenachtige materialen	hout en kunststoffen
• treksterkte	zeer hoog	laag tot zeer laag	hoog tot vrij hoog
• weerstand tegen druk	zeer hoog	hoog	matig
• rek bij breuk	hoog	laag	vaak hoog
• elasticiteitsmodulus	zeer hoog	hoog	laag
• gedrag bij brand	matig	goed	slecht
• thermische-uitzettingscoëfficiënt	laag tot middelmatig	laag tot zeer laag	hoog tot zeer hoog
• volumieke massa	hoog	middel	laag
• elektrische geleiding	hoog	laag	laag
• warmtegeleiding	hoog	laag	laag

1.6.4 Belang van vormingsprocessen

In een materiaal met voldoende mechanische eigenschappen (stijfheid, sterkte) voor constructieve doeleinden moet de nodige samenhang aanwezig zijn (doorlopend systeem van atomen of moleculen op zo kort mogelijke afstand van elkaar). Dit kan worden verkregen door:

- afkoeling vanuit een gesmolten toestand: fabricage van metalen en stollen van natuursteen, waarbij kristalvorming optreedt met onderlinge zeer grote aantrekkingskrachten;
- vorming uit oplossing: kristallisatie vanuit een oplossing bij de verharding van cement of gips en ook bij het ontstaan van natuurlijke kalksteenoorsten;
- vorming uit enkelvoudige verbindingen: fabricage van kunststoffen en het ontstaan van het natuurproduct hout.

1.7 Aspecten materiaalkeuze

De materiaalkeuze is een van de moeilijkste opgaven in de bouwwereld. Geschiktheid van materialen begint op de tekentafel en moet waargemaakt worden met kennis van de eigenschappen en onderbouwing van levensduurvoorspelling.

De gebruikswaarde is gebaseerd op gefundeerde materiaalkeuzes. Hierbij spelen de volgende aspecten een belangrijke rol:

- Een bepaalde *vormgeving* is alleen bereikbaar met geschikte materialen (beton, baksteen, staal, hout, kunststof).
- De materiaalkeuze wordt echter ook door *andere eisen* bepaald: de mechanische eigenschappen (sterkte en stijfheid), thermische isolatie, vochtwering, lichtaspecten, geluidwering, brandveiligheid, kleur, windkering.
- De materiaalkeuze wordt nader bepaald door *plaatselijke omstandigheden en economische factoren*: verkrijgbaarheid materialen (waar ter wereld), dichtheid bebouwing, aardbevingsgevaar, overstromingsgevaar.
- *De grote diversiteit van de eigenschappen*: het functie-aspect (welke functies en hoeveel).
- De mogelijkheid *materialen te combineren* waardoor de gebruikswaarde wordt vergroot (grenzen verleggen): beton-staal, glasvezelversterkte cement en polyester en vezelversterkte gips, sandwichproducten, het lamineren van hout.
- *De levensduur van materialen* moet gelijk zijn aan de gebruiksduur van de constructie. Duurzaam bouwen.
- *Het kostenplaatje van het materiaalpakket* moet zo laag mogelijk zijn, met behoud van kwaliteitszorg.
- *De materiaalkeuze afstemmen* op: mogelijkheden in het ontwerp, de technologische mogelijkheden van de bouwplaats en de oppervlaktestructuur van het gehele bouwwerk (cosmetica).
- Indien mogelijk een *toekomstige functiewijziging* van het bouwwerk koppelen aan het materiaalpakket met behoud van eigenschappen.
- Een optimale *onderhoudsstrategie* moet mogelijk zijn.
- De materiaalkeuze baseren op specifieke onderzoeks- en keuringseisen.

1.8 Keuring van bouwmaterialen

1.8.1 Belang van normen

Keuren is het toetsen van constructies of materialen aan bepaalde normen. Normen zijn vastgelegde regels die de belanghebbende groepen in gemeenschappelijk overleg hebben opgesteld en aanvaard. Wetenschap en techniek zijn onderbouwende pijlers.

Normen zijn in het algemeen gericht op opheffing van onnodige verscheidenheid door het brengen van eenheid, vaak ook typebeperking.

Normen hebben in het bijzonder betrekking op:

- benamingen, symbolen, eenheden en tekenwijzen;
- meetmethoden, onderzoekings- en beproevingsmethoden;
- maten, ter bevordering van uitwisselbaarheid van producten en onderdelen;
- uitvoering en kwaliteit, overeenkomstig het doel waarvoor het product is bestemd; kwaliteit omvat duurzaamheid, veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid en milieu;
- installatievoorschriften en werkwijzen;
- meting en controle van veiligheid, gezondheid en milieu.

In Nederland is het Nederlands Normalisatie Instituut (NNi) de instelling, die tot taak heeft Nederlandse normen en praktijkrichtlijnen tot stand te brengen en te publiceren. Het NNi is het Nederlandse lid van de (mondiale) International Organization for Standardization (ISO) en van de Europese normalisatieorganisatie CEN. Het NNi levert bijdragen aan Euro- en ISO-nor-

mering. Ook voor bouwmaterialen en bouwconstructies kunnen de normen tot een gunstig economisch resultaat leiden.

|| Op de internetsite bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, is in Aanvulling 1.5 een nadere beschouwing gewijd aan normen en normalisatie opgenomen.

1.8.2 Keuringsinstituten

Het Nederlands Normalisatie-instituut keurt niet zelf; daarvoor zijn andere instituten beschikbaar:

- TNO, waarin TNO-Bouw, Metaalinstituut, Houtinstituut, Kunststoffeninstituut e.d.;
- verschillende particuliere laboratoria zoals Koning en Bienfait in Amsterdam;
- fabriekslaboratoria: kalkzandsteenindustrie, dakpannenindustrie e.d.;
- rijkswegelaboratoria: voor wegbouwkunde en materialen;
- KOMO certificaat/attest voor vele producten in de bouw door keuringsinstituten zoals KEMA, BDA, Intron, KIWA, SKH en Gasunie.

1.8.3 Monsterneming

In de normen wordt het aantal monsternemingen niet aan de ontwerper overgelaten. De betreffende norm stelt dat het *aantal monsters* zo groot moet zijn dat de kwaliteit van het product, over een bepaald werk beschouwd, statistisch beoordeeld kan worden.

De uitkomsten van grote aantallen keuringsproeven kunnen daarbij worden uitgezet in een frequentiekromme. Hierin wordt de frequentie (het aantal malen dat een bepaalde waarde in een nauw gebied bereikt wordt) uitgezet tegen de waarde zelf. De lengte van Waalformaat baksteen kan bijvoorbeeld variëren tussen 206 en 214 mm. Omdat er zoveel verschillende oorzaken kunnen zijn waarom de lengte varieert, voldoet de kromme aan een normale statistische verdeling. De lengte kan namelijk veranderen door variaties in de samenstelling en vochtigheid van de grondstof klei, door slijtage van vormmachines, door verschillen (hoe klein ook) in baktemperaturen, enzovoort.

1.8.4 Keuring van grote bouwelementen

Bij keuring gaat het dus om de controle van de tussen afnemer en producent afgesproken kwaliteit. Voor een goede keuring moet het aantal proefstukken niet te klein zijn. Bij grote elementen is dat echter niet mogelijk (te duur). Wel kan dat op onderdelen van elementen of met niet-destructieve methoden. De controle kan worden uitgevoerd bij de fabricage. Bij betonelementen bijvoorbeeld kan de toetsing plaatsvinden op het beton, de wapening, de deklaag van het staal, enzovoort. De keuring van het element moet bewijzen dat de combinatie van ontwerp, uitvoering en materiaal goed is.

Voor bepaalde bouwdelen zijn richtlijnen opgesteld, zoals voor lichte scheidingswanden (windbelasting, aansluitingen, brand, waterdichtheid, geluid, enzovoort), ramen (lucht- en waterdichtheid, mechanische eigenschappen) en dakplaten (thermische isolatie, waterkering, brandwering, sterkte).

1.8.5 Keuring op de bouwplaats

Bij de meeste materialen en producten zal de keuring voor de verwerking plaatsvinden in de fabriek of in een laboratorium. Keuring op de bouwplaats vindt onder andere plaats bij betonconstructies omdat die constructies ook ter plaatse vervaardigd kunnen worden.

Onderzoek kan dan worden gedaan op de verontreiniging van zand met humus, de korrelverdeling van het zand en grind, de kwaliteit van het water en de verwerkbaarheid van de specie. Bij aanvoer van prefab-specie zullen de eerste drie beproevingen op de betoncentrale zijn verricht.

1.9 Bouwmaterialen en afhankelijkheid

1.9.1 Bouwmaterialen en regelgeving

Naast de sturende regels van het milieubeleid is er de *normalisatie* (zie paragraaf 1.8.1). Normen zijn er voor de woningbouw, de utiliteitsbouw en de civiele techniek. De toepassing van normen is vrij; de rechtskracht komt als er in een (wettelijk) geschrift naar wordt verwezen.

In *bouwkundige bestekken* kunnen bepaalde *normen* dwingend worden vastgelegd.

Voor de bouwwereld kunnen we *normen* onderscheiden die zich richten op functionele eigenschappen van het bouwwerk (gezondheid, comfort, veiligheid, leef- en werkruimte) en verder onder andere op de *kwaliteitseisen van bouwmaterialen*, productafmetingen en het eenduidig gebruik van termen, symbolen en eenheden.

Goed gebruik van *normen* bevordert *doordacht bouwen*, hetgeen weer leidt tot een zo hoog mogelijke gebruikswaarde van bouwwerken; de basis van *duurzaam bouwen*.

Het Nederlands Normalisatie-instituut werkt nauw samen met ISO en is daardoor ook betrokken bij de internationale ontwikkelingen met betrekking tot de ISO-normen.

De betekenis van ISO (NEN-ISO 9000 serie)

De NEN-ISO 9000-serie dient als richtlijn voor het opzetten, onderhouden en toetsen van kwaliteitszorgsystemen. NEN-ISO 9001, 9002 en 9003 zijn modellen voor externe kwaliteitsborging; algemeen toepasbare regels voor het opzetten en beheren van een kwaliteitsborgingssysteem. Een behaald certificaat geeft een bedrijf een waardering voor kwaliteitszorg binnen de organisatie. NEN-ISO 9004 is gericht op interne kwaliteitszorg (geen certificaat).

De bedoeling is te zijner tijd één ISO-9000-certificaat uit te geven waarop de verkregen kwaliteitszorg wordt aangegeven.

Het Bouwbesluit 2003 (wijzigingen/aanvullingen 2005)

In de *Europese Richtlijn Bouwproducten* gaat het om producten voor de bouw die een positieve bijdrage moeten leveren aan veilige, voor de gezondheid onschadelijke, optimaal bruikbare en energiezuinige bouwwerken (figuur 1.14). Daarbij behoren aspecten ten aanzien van sterkte en stabiliteit (stijfheid), brand, geluid en milieu. Deze Europese Richtlijn is in het Bouwbesluit ingebracht. De Richtlijn voorziet in de vrije verhandelbaarheid van bouwproducten binnen Europa.

Figuur 1.14 **Optimaal gebruik zonne-energie (zonnepanelen in de dakopbouw)**



In het Bouwbesluit zijn de technische voorschriften omschreven die bij het bouwen dienen te worden gehanteerd.

Belangrijke eisen zijn ook die welke aangeven waaraan de technische staat van de bouwwerken minstens moet voldoen om nog voor doelmatig gebruik geschikt te zijn.

Het Bouwbesluit maakt duidelijk onderscheid tussen nieuwbouw en bestaande bouw, en omschrijft ten aanzien daarvan 'Voorschriften uit het oogpunt van': *veiligheid* (bouwkundige constructies, brand en rookontwikkeling, toegankelijkheid enzovoort), *gezondheid* (geluid, vocht, lucht, licht, enzovoort), *bruikbaarheid* (bereikbaarheid, verblijfsruimte, opstelplaatsen apparatuur, enzovoort) en *energiezuinigheid* (thermische isolatie, luchtdoorlatendheid, energieprestatie).

Het zal duidelijk zijn dat materiaalkunde en bouwmaterialen een grote rol in het Bouwbesluit spelen. Een en ander komt direct tot uiting in het eerste hoofdstuk 'Algemene bepalingen'. Begripsbepalingen zijn er voor constructieomschrijvingen, NEN-voorschriften en de genoemde Richtlijn Bouwproducten. Paragraaf 1.4 'Kwaliteitsverklaringen en CE-markeringen' van het Bouwbesluit gaat nauwgezet in op bouwmaterialen, bouwdelen en CE-markering op producten (Richtlijn Bouwproducten).

Het Bouwbesluit verwijst naar de door het NNI uitgegeven NEN-normen. Voorts wordt verwezen naar voor het Besluit van belang zijnde (*product*)*kwaliteitsverklaringen*.

1.9.2 **Bouwmaterialen en bouwkwaliteit**

KOMO-kwaliteitsverklaringen voor de bouw

Deze kwaliteitsverklaringen worden uitgegeven op basis van de begrippen *bouwdeel* en *product*.

Een *bouwdeel* is een op de bouwplaats vervaardigd onderdeel van een bouw-

werk met functie-omschrijving. Een *product* is een fabrieksmatig vervaardigd element met daarbij nauwkeurig omschreven eigenschappen.

Voor een *bouwdeel* kan een producent een *attest* verkrijgen. De bouwdelen dragen *geen* KOMO-keurmerk. Afnemers moeten zelf (laten) keuren of het geleverde aan de eisen voldoet.

Voor een *product* kan een producent een *certificaat* verkrijgen. De producten dragen *wel* een KOMO-keurmerk. Op gezette tijden wordt de kwaliteit gecontroleerd.

Combinaties van een attest en certificaat bestaan eveneens.

De Stichting Bouwkwiteit beheert de KOMO-keurmerken op basis van een reglement. Er zijn overeenkomsten gesloten met verschillende keuringsinstituten welke de kwaliteit beoordelen op basis van kwaliteitseisen en beoordelingsrichtlijnen (zie ook paragraaf 1.8.2).

Het KOMO-keurmerk is een garantie voor kwaliteit voor opdrachtgevers, bestekschrijvers, architecten en ingenieurs. Voor consumenten de zekerheid bij de keuze van producten en diensten. Het keurmerk komt tot stand in samenspraak met het bedrijfsleven.

Voorbeelden van bouwdelen waarvoor een KOMO-attest kan worden verkregen, zijn: buitengevelisolatie, niet-dragende binnenwanden, dakplaten en thermisch-isolerende beglazingssystemen.

Voorbeelden van producten met KOMO-certificaat zijn: heipalen, betonvloeren, raam- en deurprofielen, thermisch-isolerend vlakglas, houten gevelelementen, kunststof gevelelementen, houtlijmen, keramische dakpannen, straatsteen en betonstaal.

Er is een aantal onafhankelijke certificatieinstellingen in Nederland in de bouw werkzaam. Op deze wijze wordt de kwaliteit van de certificatie in de bouw bevorderd. Zie paragraaf 1.8.2.

Het waarborgen van kwaliteit kan bijdragen aan *duurzaam bouwen*. Bouwgebreken kunnen er zeker door worden geminimaliseerd. Gecertificeerde producten kunnen het ontwerpproces sturen en het toezichthoudend personeel op de bouwplaats de helpende hand bieden.

1.9.3 **Bouwmaterialen en Arbo-zorg**

De Arbeidsomstandighedenwet (Arbowet) regelt onder andere hoe we gezond en veilig kunnen werken. De Arbowet geldt voor alle bedrijfstakken, dus ook voor de bouwnijverheid. De bouwnijverheid doet een beroep op gespecialiseerde instituten die weten hoe de Arbowet bij de praktijk (de bouwplaats) past.

De Stichting Arbouw heeft de zorg voor de verbetering van de arbeidsomstandigheden in de gehele bouwnijverheid (onderzoek en ontwikkeling, adviezen geven, informatie aanreiken over arbeidsomstandigheden (arbeidsgezondheidszorg) in de bouwnijverheid, cursussen en training Arbo-techniek). Een illustratie is het Arbo-convenant dat de Nederlandse Bond van Timmerfabrikanten, vakbonden en het Ministerie van Sociale Zaken overeenkwamen terzake lichamelijke belasting; het Arbo-convenant Bouw. Hierin worden doelstellingen nader geregeld zoals werkdruk en fysieke belasting, maar ook zaken rond de kwartshoudende materialen en de invloeden van OPS (organo-psychosyndroom). Zie voor OPS paragraaf 10.5.4.

Een van de taken van de Stichting Arbouw is dus het geven van informatie. Dat wordt gedaan met *Bouwveiligheidsadviezen*. Adviezen met betrekking tot *bouwmaterialen* en materiaalgebruik zijn onder andere: minerale wol (glas- en steenwol), lijmen en kitten, asbest, epoxy, houtverduurzaming, gips, verf, cement, vliegias, tropisch hout, PUR-schuim, ontkistingsmiddelen en metselsteen.

De Stichting Arbouw geeft informatiebladen over arbeidsomstandigheden in de bouwnijverheid uit. In deze uitgaven worden regelmatig bouwmaterialen en bouwproducten nader belicht.

1.10 Bouwmaterialen en classificatie

De SfB-classificatie

Het *classificatiesysteem* SfB is destijds ten behoeve van de bouw ontwikkeld (Zweden). SfB betekent Samarbetkommitten for Byggnadsfragor. De bedoeling van het systeem is ordening in informatie over *bouwwerken en de omgeving* via een indeling in elementen, constructies en productiemiddelen:

- Elementen zijn bouwdelen met overeenkomstige functie. Voorbeelden zijn: onderbouw (funderingen), afbouw (wandopeningen), installaties (communicatie, beveiliging) en terrein (opstal, omheining).
- Constructies worden gedefinieerd vanuit ontwerpen of uitvoering. Voorbeelden zijn: heiverk, betonwerk, metselwerk.
- Productiemiddelen beoogt ordening in grondstoffen. Voorbeelden zijn: natuursteen, niet gebakken kunststeen, metalen.

Bij offertebeoordeling of productvergelijking kan het voorkomen dat de SfB-code geen antwoord heeft op classificatieaanduiding. Niet alle activiteiten en producten zijn altijd goed onder te brengen. Dat kan een negatief aspect van de SfB-classificatie zijn.

ICS – International Classification of Standards

In het ICS zijn niet alleen gebouwen en producten ingedeeld maar ook bepaalde diensten, zoals bedrijfsorganisatie en beheer. Ook grond- weg- en waterbouwkunde is er in terug te vinden. In verband met deze algemene toegankelijkheid hanteert het Nederlands Normalisatie-instituut voor zijn normindeling de ICS-classificatie.

1.11 Bouwmaterialen en het bouwkundig bestek

STABU-Standaard 2001

STABU-Standaard is een boekwerk dat een onderdeel is van de STABU-Systematiek (besteksystematiek voor de woning- en utiliteitsbouw). Ze bevat ook teksten met betrekking tot beproeving van *bouwmaterialen*. STABU-Standaard is integraal onderdeel van *projectbestekken*. Opdrachtgevers, architecten, aannemers, adviseurs, installateurs en toeleveranciers zijn verplicht voor dit soort bestekken STABU-Standaard te hanteren. Om de vijf jaar wordt het boekwerk aangepast aan de ontwikkeling in de bouw- en installatietechniek. In de Technische Bepalingen worden begripsomschrijvingen, kwaliteitseisen en kwaliteitsklassen aangegeven.

Met betrekking tot bouwmaterialen worden aangegeven:

- *begrip*: onderscheid in klassen en typen van bouwmaterialen (om misverstanden te voorkomen);
- *bouwmaterialen*: adequate maatregelen treffen om kwaliteitsverlies, verontreiniging en beschadiging te voorkomen.

Ook hier geldt: doelmatige toepassing van materialen stoelt op efficiënt gebruik van de eigenschappen.

Onderdeel van STABU-Standaard zijn de Uniforme Administratie Voorwaarden (UAV 1989). Ook hierin worden *bouwmaterialen* veelvuldig aangehaald (functionele (on)geschiktheid, levering, 'oude' bouwproducten, fouten in bouwmaterialen, eigendom en zorg voor bouwmaterialen).

|| Op de internetsite bij dit boek, www.wolters.nl/materiaalkunde, zijn vragen en antwoorden behorende bij dit hoofdstuk opgenomen, evenals enkele extra figuren.