

# Chemische Feitelijkheden

#94

Editie 373

april

2021

Marga van Zundert

## Isolatie

Warmte binnen en kou buiten houden

Warmte 'ontsnapt'. Daarom trekken we in de winter een warme trui aan en thermo-ondergoed. Ook ons huis heeft een 'jas' om warm te blijven: muren hebben een isolerende spouw, onder het dak en de vloer liggen isolatieplaten en in de kozijnen zit dubbelglas. Wist je dat het juist 'luchtige' materialen zijn die goed isoleren? Isolatie van je huis bespaart energie en helpt dus tegen klimaatverandering. Isolatie staat zelfs stevast bovenaan op lijsten met slimme klimaatmaatregelen. 'Verduurzamen van je huis begint met

isoleren', stelt bijvoorbeeld MilieuCentraal, de nationale onafhankelijke voorlichtingsorganisatie over duurzaamheid. Daarom zijn niet alleen huizen, maar ook fabrieken goed 'ingepakt'. Hoe je jezelf goed inpakt tegen kou, daar weten poolvolkeren zoals de Inuit en Samen alles van. Hun kennis vind je terug in kleding voor wintersporters, bergbeklimmers en moderne poolavonturiers. Maar in plaats van traditioneel bont, kiezen de recreatiekoukleumen vaak voor lichte kunststofvezels.

# Warmte binnen en kou buiten houden

In een iglo kan het een 'behaaglijke' 16 graden worden terwijl het buiten veertig graden vriest. En een goede thermoskan houdt je koffie urenlang gloeiend heet. Isolerende materialen slagen erin warmte vast te houden.

Isolatie is overal om je heen: je trui of warme huissokken, en in alledaagse dingen als de theemuts, je donzen dekbed, de thermoskan of het dubbelglas in je kozijnen. Ook vliegtuigen hebben een zo'n warme jas. Ze vliegen al snel hoger dan 10 km, waar het rond de  $-50^{\circ}\text{C}$  is. Zonder isolatie zouden de inzittenden stijf bevroren aankomen. Daarnaast zijn industriële installaties en pijpleidingen goed geïsoleerd om geen warmte te verliezen. Maar isoleren gebeurt ook om kou in stand te houden. Denk aan je koelkast en vriezer die beide ingepakt zijn met een laag isolatiemateriaal. En de koelboxen waarin vaccins worden vervoerd, hebben (net als

een dure thermosfles) een vacuümomhulling om de temperatuur laag en stabiel te houden.

Isolatie is de afgelopen jaren steeds belangrijker geworden vanwege klimaatverandering. Warmte (of kou) vasthouden spaart energie en daarmee  $\text{CO}_2$  uit. Isolatie wordt wel het laaghangend fruit genoemd in de energietransitie. Het gaat vaak om relatief simpele ingrepen die zichzelf terugverdienen. Verwarming van woningen en gebouwen zorgt nu voor circa een kwart van het totale energieverbruik in Nederland. In 2050 zou dat gereduceerd moeten zijn tot nul. Extra isolatie speelt daarbij een belangrijke rol.

## Warmte stroomt

Van nature stroomt warmte. Het stroomt van plaatsen met hoge naar plaatsen met lage temperatuur. Dat zegt de tweede wet van de thermodynamica, maar we weten



Er zijn drie soorten warmteoverdracht: convectie (via vloeibare of gasvormige warmeluchtstromen), conductie (warmtegeleiding via het materiaal zelf) en straling (afhankelijk van de temperatuur en het materiaal).



het ook proefondervindelijk vanuit het dagelijks leven: hete thee koelt bijvoorbeeld vanzelf af. Isolatie trotseert dus deze hoofdwet: het voorkomt dat warmte wegstroomt naar koudere plekken. Het ontsnappen van warmte (warmteoverdracht) gebeurt op drie manieren (zie de figuur op pagina 2). Warmte stroomt ten eerste weg via warmtegeleiding oftewel conductie. Dat is warmteoverdracht binnen een materiaal of tussen materialen die met elkaar contact maken. Zet een pan op het vuur en je kunt al snel niet meer de oren vastpakken zonder gevaar voor brandblaren. Warmte verspreidt zich vanuit de hete bodem naar alle delen. De snelheid waarmee dat gebeurt, is afhankelijk van de warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ ) die typisch is voor een bepaald materiaal. Terwijl een pan van een goed warmtegeleidend materiaal (gietijzer, aluminium) wordt gemaakt, zijn handvatten of de steel vaak van een slecht geleidende kunststof zodat ze koeler blijven.

Warmte verplaatst zich als tweede via convectie. Dat is warmteoverdracht waarbij warmte wordt meegevoerd door een vloeistof of gas. We kennen allemaal het advies 'ga niet in de tocht staan': wind rond je lijf koelt je af. De waterkoker werkt er sneller door. Water dat opwarmt zet uit en stijgt op, waardoor kouder water in contact komt met de hete spiraal op de bodem. Ook de centrale verwarming in huis werkt voor een belangrijk deel via convectie. Hoe goed een medium warmte meevoert wordt uitgedrukt in de warmteoverdrachtcoëfficiënt ( $h$ ). Tenslotte verplaatst warmte zich ook door straling: radiatie. Elk object straalt warmte uit. Denk aan de warmte die je voelt wanneer je in de zon zit of bij een haardvuur je handen warmt. Het soort en de sterkte van de straling zijn afhankelijk van de temperatuur en het materiaal. Zeer hete objecten zoals de zon of ijzer dat je smeedt stralen zichtbaar licht uit. Maar ook bij kamertemperatuur is er warmtestraling, namelijk

infraroodstraling. Die voel je bijvoorbeeld in de buurt van een hete pan of moderne terraslampen in de vorm van warmte. Isoleren draait om het voorkomen van alle vormen van warmteoverdracht. Bushokjes bieden je in de kou bescherming doordat ze de wind (convectie) wegvangen. Onderkoelde mensen krijgen vaak een flinterdunne zilverkleurige deken omgeslagen. Het oppervlak reflecteert de eigen lichaamswarmte (infraroodstraling) zodat het slachtoffer warm wordt. In een iglo kan het zelfs bij zeer strenge vorst  $16^{\circ}\text{C}$  worden dankzij de lichaamswarmte van de bewoners. Sneeuwmuren houden warmte binnen en de wind buiten.

### Spouwmuren

Ook bij een huis isoleren moet je op alle vormen van warmteoverdracht letten. Dubbelglas isoleert dankzij een tussenlaag met een zeer lage warmtegeleidingscoëfficiënt. Dat is meestal lucht of het gas argon.



In veel landen aan de kust van de Middellandse Zee maken de bewoners hun huizen wit. Dat zorgt ervoor dat de warmte niet al te veel wordt opgenomen door de stenen en zo veel mogelijk reflecteert.



### ► Isolatierampen

In 2017 vond een dramatische brand plaats in de Grenfell Tower die in Londen staat. Het vuur verspreidde zich razendsnel doordat het isolatiemateriaal in de gevelplaten niet aan de brandwerende eisen voldeed, ondanks waarschuwingen die al in 2013 aan de eigenaar van het pand waren gericht. Meer dan zeventig bewoners kwamen om. Degenen die de brand overleefden uitten hun frustratie en ongenoegen in 2020. De situatie was niet veranderd en met de renovatie van vergelijkbare panden schiet het ook niet op. Het gebouw is inmiddels gesloopt.

Ook in de ruimtevaart gaat het ondanks strenge controle wel eens mis met de isolatie. Bij de lancering van spaceshuttle Columbia in 2003 beschadigde een afbrekend stuk isolatiemateriaal van de externe brandstofraket het hitteschild. Het ruimteschip vloog zestien dagen later bij terugkeer in brand door het beschadigde schild. Alle zeven bemanningsleden kwamen om.

## ► Veelgebruikte isolatiematerialen



### Glaswol

#### Vorm

Op rol, plaat, vlokken

#### Voordelen

Goedkoop, niet brandbaar, van gerecycled glas, neemt geen water op

#### Nadelen

Losgeraakte vezels/deeltjes kunnen schadelijk zijn bij aanbrengen



### Steenwol

#### Vorm

Op rol, vlokken

#### Voordelen

Deels gerecycled materiaal, brandwerend, niet brandbaar

#### Nadelen

–



### Piepschuim (polystyreen, EPS)

#### Vorm

Blokken, platen, korrels (parels)

#### Voordelen

Lichtgewicht, waterdicht, goedkoop, diverse kwaliteit, glad oppervlak

#### Nadelen

Brandbaar



### Pur (polyurethaan)

#### Vorm

Schuim (ter plekke gespoten), platen

#### Voordelen

Lichtgewicht, brandwerend, verouderd,

#### Nadelen

Een van de twee uitgangsstoffen (een isocyanaat) is giftig en kan allergie opwekken.



### Natuurlijke materialen: cellulose, wol, stro, katoen, hennep, kurk, vlas

#### Vorm

Divers

#### Voordelen

Bioafbreekbaar

#### Nadelen

Vaak niet vocht/waterbestendig, brandbaar

Alleen vacuüm is nog effectiever omdat er dan ook geen sprake is van convectiestromen in die tussenlaag. Vloerverwarming werkt alleen met isolatie onder de vloer anders warm je vooral de kruipruimte op en ontsnapt alle warmte naar buiten. En een reflecterende folielaag achter de radiatoren, onder de vloer en tegen het dak helpt alle stralingswarmte binnen te houden.

Sinds 1920 is een spouwmuur verplicht bij alle Nederlandse woningen en gebouwen: een lege ruimte tussen twee buitenmuren met een dikte van 3 tot 5 cm. Zo'n luchtlaag om de binnenschil van het huis isoleert, omdat lucht warmte niet goed geleidt. Sinds de jaren tachtig van de vorige eeuw bevat de spouw geen lucht maar isolatiemateriaal. Dat zijn zonder uitzondering luchtige materialen; ze bestaan voor een groot deel uit gevangen lucht. Het materiaal heeft zelf geen lagere warmtegeleidingscoëfficiënt dan lucht, maar isoleert extra doordat het convectie in de spouwen tegengaat. Heb je een huis met lege spouwmuren, dan kun je na-isoleren door ze vol te laten spuiten met glaswolvlokken of zogenoemde piepschuimparsels: kleine bolletjes piepschuim.

Zoals gezegd is lucht een goede isolator, en dat geldt voor alle gassen. Alleen vacuüm scoort nog beter. Metalen zijn daarentegen uitstekende warmtegeleiders en opvallend

genoeg heeft diamant de hoogste thermische geleiding. Het wordt daarom – ondanks de hoge kosten – bijvoorbeeld in de chipindustrie gebruikt om warmte af te voeren.

Wat maakt een materiaal een goede of juist slechte warmtegeleider? Warmte verspreidt zich in een materiaal door botsende atomen, elektronen of moleculen en is natuurkundig gezien de bewegingsenergie van deeltjes. Hoe warmer een object is, hoe meer de deeltjes bewegen. Bij botsingen wordt energie, en dus warmte, overgedragen. Goede isolatoren zijn dus materialen waarin maar weinig botsingen plaatsvinden. Dat geldt voor alle gassen omdat die zeer ijl zijn vergeleken bij vaste stoffen of vloeistoffen.

## Isolatiematerialen

De meest gebruikte isolatiematerialen voor huizen zijn glaswol, steenwol en piepschuim ook wel polystyreen genoemd (zie de tabel op pagina 5). Glas- en steenwol bestaan uit kluiten van dunne gesponnen draden die een heel luchtig materiaal vormen.

Piepschuim bestaat slechts voor twee procent uit de kunststof (polystyreen); 98% is lucht of een ander blaasmiddel dat is ingevangen in bellen van polystyreen. Het is vooral de grote hoeveelheid lucht die zorgt dat deze materialen goed isoleren. Want lucht geleidt warmte slecht en de lucht is in-

gevangen zodat er geen convectie optreedt. Glaswol bestaat uit dunne draden gesponnen uit vloeibaar glas en is vooral gemaakt van gerecycled materiaal. De basis voor steenwol is basalt. Het gesteente wordt gesmolten bij 1400°C en daarna gesponnen. Het idee komt uit de natuur; op Hawaï kun je natuurlijk steenwol vinden rondom vulkanen. Naast deze twee minerale isolatiematerialen gebruik je ook veel kunststoffen (gemaakt van aardolie) als isolatiemateriaal. Ze worden meestal niet gesponnen maar geblazen en worden ook wel schuimen genoemd. Daarnaast zijn er ook natuurlijke, bioafbreekbare isolatiematerialen op de markt, van stro (dat de boer vroeger bij vorst in zijn klompen deed) tot wol, kurk, en materialen gebaseerd op oude kranten. Volgens MilieuCentraal zijn de verschillen in milieubelasting tussen de diverse isolatiematerialen erg klein, zeker vergeleken met de milieuwinst die je behaalt met het isoleren. Want woningisolatie bespaart veertig tot vierhonderd keer zoveel energie als het kost om het isolatiemateriaal te maken. De productie-energie is in enkele maanden tot twee jaar terugverdiend. Alleen schapenwol en PUR (polyurethaan) met fluorkoolwaterstoffen (HFK's) als blaasmiddel zijn voor het milieu geen aanraders. Wol produceren kost relatief veel energie. HFK's zijn schadelijk voor de

ozonlaag. Er zijn inmiddels alternatieve blaasmiddelen voor pur. Steen- en glaswol zijn van nature brandwerend. Pur, piepschuim en andere isolerende kunststoffen zijn dat niet. Bovendien kunnen ze veel en giftige rook veroorzaken wanneer ze smeulen. Kunststoffen worden daarom behandeld met brandwerende middelen. Die blijken helaas niet altijd milieuvriendelijk te zijn. Zo is een bekende vlamvertrager voor polystyreenpiepschuim, hexabroomcyclododecaan (HBCD), in 2015 verboden in de EU omdat deze stof niet afbreekt in de natuur en bij stapeling toxisch kan zijn. Maar ook de veelgebruikte opvolger polyFR, een gebromeerd polymeer, ligt onder vuur. Het zou makkelijker vrijkomen uit het isolatiemateriaal dan gedacht en afbreken tot toxische producten.

## Aerogel

Brandveiligheid is van groot belang. Bij de dramatische brand in de Londense Grenfell Tower in 2017 waarbij meer dan zeventig mensen omkwamen bleek het isolatiemateriaal in de gevelplaten niet te voldoen aan de eisen; het vuur verspreidde zich hierdoor razendsnel via de buitenkant vanaf de vierde verdieping naar de twintig etages erboven (zie ook pagina 4). Een innovatie in isolatiematerialen zijn de zogeheten aerogels. Een wat misleidende

naam, want het gaat niet om een gel, maar een vast materiaal: doorzichtig, zeer poreus, superlicht, bros en vooral nog experimenteel. Aerogels bestaan tot wel 99,98% uit lucht, bijeengehouden door sterke vertakte, dunne, maar sterke microstructuren. De meeste aerogels zijn gemaakt van silicagel dat wordt gevriesdroogd zodat de vloeistof erin verdampt. Maar wetenschappers zijn er ook in geslaagd ze van metaal en koolstof te maken. Die zijn vanwege hun zeer geringe gewicht ook wel frozen smoke en solid air genoemd. Ze isoleren uitstekend, maar zijn erg prijzig en kwetsbaar, en worden tot nu toe vrijwel uitsluitend gebruikt in ruimtevaartindustrie. Aerogels beschermen bijvoorbeeld elektronica in de Mars Pathfinder en de Mars Exploration Rovers tegen de kou op de rode planeet. Fabrikanten van isolatiematerialen proberen betaalbare, minder brose aerogels te maken. Die zouden bijvoorbeeld erg interessant zijn voor isolatie van monumenten, omdat de benodigde dikte van de isolatielaag (en daarmee voorzetwanden of kozijnen) drie tot viermaal dunner zou kunnen zijn. 'Er bestaat geen slecht weer, alleen slechte kleding', zo beweert een Scandinavisch gezegde. Ook bij sneeuw en vorst spelen jonge kinderen in het hoge noorden in de gezonde buitenlucht. Maar wat is precies

goede kleding tegen flinke kou? Bont is natuurlijk een bekende warmhouder, net als wol en dons, en vroeger stopten de boeren stro in de klompen voor warmere tenen. Moderne buitensport- en poolkleding kopieert de aloude isolatiekennis – met moderne materialen.

## Slobbertrui

De oudste tactiek tegen kou is een extra laagje aantrekken, het liefst een dikke wol- of bontlaag. Poolvolkeren zoals de Inuit en Sami dragen traditioneel een laag ruimvallend bont direct op de huid met de behaarde kant naar binnen. Daaroverheen komt nog een laag bont met de haren juist naar buiten gericht. Het bont op de huid houdt lucht vast tussen de haren, en stilstaande lucht isoleert zoals eerder gezegd prima. Een laag bont losjes daaroverheen creëert twee extra isolatielagen. Het bont zelf isoleert, maar ook de ruimte tussen de bontlagen. Een slobbertrui heeft dus functie. Hoe dikker een trui of bontlaag, hoe meer warmte. Er bestaat zelfs een zogenaamde thermal knit, een weeftechniek die een honingraatstructuur geeft die veel lucht vasthoudt. Schoeisel van de Inuit kent ook het tweelagensysteem met een extra dikke zool.

In de kou is het heel belangrijk droog te blijven. Als natte kleding bevriest sta je in direct contact met ijs. De wind zorgt vervolgens voor verdamping van water en ijs, wat weer warmte onttrekt. Vroeger werd leer geolied om waterdichte kleding te maken (vandaar de term oliejas) en wollen mantels waren populair vanwege de waterafstotende haren. Poolvolkeren naaiden vissenhuiden of zeehondendarmen secuur aan elkaar voor een lichtgewicht regencape. Maar vochtgevaar komt ook van binnenuit, in de vorm van zweet. Kleding moet goed ventileren en waterdamp doorlaten. Traditionele poolkleding is wijd, zodat zweet bij inspanning kan ontsnappen. Ben je niet in beweging dan kan de kleding strakker om het lijf worden getrokken voor extra isolatie. Poolavonturiers hebben veel last van steeds zwaarder (en kouder) wordende slaapzakken. 's Nachts bevriest zweet in de buitenste



Een regenjas van zeehondendarmen; weer eens wat anders dan de moderne regenjas!

isolerende lagen en dat stapelt zich op gedurende een expeditie. Soms lukt het na weken zelfs niet meer de stijve, kilogrammen zwaardere slaapzakken op te rollen. Inuit slapen traditioneel met de hele familie onder goed ventilerende huiden. Op die manier delen ze lichaamswarmte, wat het onder die huiden comfortabel maakt. Er wordt vaak beweerd dat je de helft van je lichaamswarmte verliest via je hoofd. Dat klopt alleen bij  $-4^{\circ}\text{C}$  en wanneer de rest van je lichaam al goed is ingepakt. Maar je hoofd bloot laten in de kou is inderdaad onverstandig. Naast tenen en vingers zijn juist oren en de huid rond ogen en neus kwetsbaar voor bevriezing. Niet alleen omdat ze uitsteken, maar uitgeademde waterdamp zal in extreme kou direct bevroren en zich rond neusgaten en mond verzamelen.

### Kunststofkleding

Moderne buitensportkleding tegen de kou is gebaseerd op het laagjesprincipe. De laag direct op de huid moet zweet snel absorberen, maar daarna ook snel afvoeren naar buiten (wicking), zodat de huid droog en warm blijft. Het gaat vaak om polyester of polyamide, maar soms ook om een fijne wolsoort als merinowol, of een combinatie. De laag moet liefst ook nog dun zijn en prettig aanvoelen op de huid. De combinatie aan eisen is vrij lastig en fabrikanten komen telkens met verbeteringen zoals nieuwe materialen, het vezeltype, de weeftechnieken en eventuele toevoegingen.

De tussenlaag heeft meestal als belangrijkste functie warmte vasthouden. Fleece – pluizig, lichtgewicht, goed isolerend polyester – is het moderne alternatief voor wol en bont. Het kunststofmateriaal isoleert uitstekend en voelt zacht aan. Ook met dons gevulde nylon- of polyesterjassen zijn populair.

De buitenste laag dient winddicht te zijn, en liefst ook meteen waterdicht. Maar tegelijkertijd moeten alle kledingstukken tezamen wel blijven ‘ademen’ om zweet in de vorm van waterdamp af te kunnen voeren. Moderne regenkleding heeft daartoe aan de binnenzijde van de buitenste laag vaak een flinterdun membraan. Het eerste in zijn soort was in de jaren zeventig Gore-Tex, een membraan gemaakt van polytetrafluorethyleen (PTFE, oftewel teflon). Gore-Tex is een sterk hydrofobe laag met kleine poriën waar waterdamp doorheen kan maar wa-



Een traditionele mannenparka, inclusief broek, van de Inuit van het Zuidelijke Baffineiland (1910–1914). Deze kledij houdt je heerlijk warm door een bontlaag naar binnen en naar buiten te richten. De binnenste laag houdt je lichaamswarmte vast en de buitenste laag houdt de kou buiten. Deze kledingset staat in het Royal Ontario Museum.

terdruppels niet. Inmiddels zijn er veel soorten ademende membranen. De meest duurzame bevatten geen milieubelastende fluorkoolwaterstoffen (PFAS) meer en bestaan (deels) uit gerecycled materiaal. Alle innovaties ten spijt, blijft het zeker in de stromende regen lastig zweet kwijt te raken bij fikse inspanningen. De buiten-

lucht is dan vrijwel verzadigd met waterdamp. Daarom is de flodderige regencap op de fiets nog steeds populair en hebben de duurste ademende regenjassen vaak nog een low-tech toevoeging: ritsen onder de oksels. Inregenen kan het daar haast niet, terwijl langsstromende lucht vocht afvoer makkelijk maakt. ●

## Isolatie



Ook in de chemische industrie is isolatie een must. Alle pijpleidingen - een gemiddelde olieraffinaderij telt al snel meer dan tweehonderd kilometer - zijn geïsoleerd. Wie een chemische fabriek ziet, kijkt doorgaans niet tegen de pijpen aan, maar tegen (reflecterend) aluminium dat een laag isolatiemateriaal om de pijp afdekt. Isolatie draagt vaak bij aan veiligheid. Medewerkers kunnen zich niet verwonden aan hete leidingen of installaties. En in de winter biedt isolatie vorstbescherming en hoeft personeel niet te vreezen voor afbrekende ijspegels. Op koude pijpen voorkomt isolatiemateriaal condensvorming en daarmee corrosie. Afsluiters en pompen zijn 'lastig' te isoleren. Niet alleen door hun vorm, maar ook omdat personeel er regelmatig bij moet zijn. Daarvoor bestaan er speciale flexibele 'isolatieverbanden': op maat te snijden 'lappen' isolatiemateriaal die makkelijk rondom een object kunnen worden gewikkeld om toch energie te besparen.

### Voor op school

- 1 Wat is het doel van isolatiemateriaal?
- 2 Wat zijn de drie vormen van warmteoverdracht? Leg ze kort uit in je eigen woorden.
- 3 Noem de allerbeste isolator die bestaat.
- 4 Waarom geleiden metalen warmte en elektriciteit beter dan plastic?
- 5 Waarom is aerogel zo'n goede isolator? En waarom wordt het nog niet zoveel gebruikt?
- 6 Waarom gebruik je reflecterend materiaal als je warmte wilt buitenhouden?
- 7 PTFE/Teflon maak je uit tetrafluoretheen. Teken de structuurformule van zowel tetrafluoretheen als polytetrafluoretheen.
- 8 Waarom hebben sommige regenjassen ritsen onder de oksels?

### Editie

#### Isolatie

editie 94 | nummer 373 | april 2021  
www.chemischefeitelijkheden.nl

**Coverbeeld:** Een inheemse vrouw uit Alaska draagt een traditionele parka. De wollen stof aan de buitenkant houdt de kou buiten en eenzelfde wollige binnenkant zorgt ervoor dat je je lichaamswarmte goed vasthoudt. (Credit: Jerzy Strzelecki, creative commons)

**Met dank aan:** Jos Brouwers, hoogleraar Bouwmaterialen, TU/e

### Colofon

Over Chemische Feitelijkheden

**KNCV**

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu.  
Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

#### Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), Daniël Linzel MSc (eindredacteur en vragen),  
Marga van Zundert (tekst)

#### Vormgeving & Opmaak

Content Innovators

#### Uitgever

Rik Stuijvenberg, Beta Publishers  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag

#### Abonnementen

088-2266 680

beta@mijntijdschrift.com

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenisrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd, tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale onlinearchief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

#### Tarieven (2021)

Voor particulieren: online-toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 100\*; leden van de KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10 korting.

Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van

IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmap) kost € 280\*.  
Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij Mijntijdschrift.com.

\*Bij betaling per factuur wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.

### Meer weten?

- MilieuCentraal, [www.milieucentraal.nl](http://www.milieucentraal.nl)
- Isolatiematerialen o.a. [www.isolatie-info.nl](http://www.isolatie-info.nl), [www.isolatie-weetjes.nl](http://www.isolatie-weetjes.nl), [www.verzekeraars.nl](http://www.verzekeraars.nl), [joostdevree.nl](http://joostdevree.nl), [local.college.ie](http://local.college.ie), [www.energy.gov](http://www.energy.gov)
- Geschiedenis poolkleding o.a. [www.coolantarctica.com](http://www.coolantarctica.com), [www.nationalgeographic.com](http://www.nationalgeographic.com), [www.khanacademy.org](http://www.khanacademy.org)
- Slaapzakken: [cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc17/p520372.pdf](http://cradpdf.drdc-rddc.gc.ca/PDFS/unc17/p520372.pdf)
- Hoofd/muts: [www.bmj.com/rapid-response/2011/11/02/head-cover-cold](http://www.bmj.com/rapid-response/2011/11/02/head-cover-cold)
- Thermische kleding o.a. [www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6607422/](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6607422/)