

Commentaar Verzamelbesluit Besluit Bouwwerken Leefomgeving 2025

Opsteller: Dr. W.F. ten Berge
Deskundige Gevaarlijke Stoffen en Risico-analyse
Datum: 28 januari 2025

Algemeen

In dit commentaar wordt het uitgangspunt gehanteerd, dat veiligheid en gezondheid van de bewoners geen gevaar mag lopen door thermische isolatie van de woning met gespoten PUR.

De volgende punten komen aan de orde:

1. De eisen, die aan de isolatie van gespoten PUR gesteld worden in de Wijziging Besluit Bouwwerken Leefomgeving, zijn niet opgesteld in lijn met de Europese Verordeningen (EU) 2019/1020 en (EU) 305/2011 en hun updates, die de kwaliteit van bouwproducten moeten garanderen. Die Europese Verordeningen gelden voor internationaal verhandelbare producten, die ook onderworpen kunnen worden aan terugroep acties. Gespoten PUR valt niet daaronder.
2. De nieuwe voorgestelde regels voor het aanbrengen van PUR bieden geen garantie, dat bewoners van met PUR geïsoleerde huizen geen gevaar lopen voor hun veiligheid en gezondheid. Bij de huidige methode van spuiten is het niet uitgesloten, dat nog steeds vluchtige toxische isocyanaten kunnen vrijkomen uit gespoten PUR.
3. De VUmc heeft een medisch protocol opgesteld voor onderzoek van de PUR-slachtoffers in overleg met de NVPU. Dit onderzoek is enkel gericht op blootstelling aan MDI en overgevoeligheid voor MDI. Effecten van vluchtige isocyanaten zoals ernstige oogklachten maken geen deel uit van het medisch protocol.
4. RPS heeft een Richtlijn Emissieveiligheid Gespoten Pur-Schuim opgesteld op verzoek van het Kennisplatform Gespoten Pur-Schuim. In deze richtlijn wordt niet geadviseerd de vluchtige isocyanaten te meten, die de typische PUR-klachten bij de bewoners kunnen veroorzaken door het PUR spuiten in te dikke lagen..
5. Na de isolatie met gespoten PUR-schuim (brandklasse E en F) van schuine daken in ruimtes die gebruikt worden als woonruimtes is de brandbaarheid van het huis en vergiftiging door rookgassen aanzienlijk toegenomen. Dit is in strijd met de regels voor het toepassen van weinig brandbare materialen in het Besluit Bouwwerken Leefomgeving voor ruimtes met een woonfunctie.

Inpassing in de Europese regelgeving

De gespoten PUR heeft geen constante kwaliteit, want die wordt bepaald door temperatuur en vochtigheid en manier van productie tijdens het spuit proces in woonhuizen. Verder wordt gespoten PUR niet verhandeld maar wordt ter plaatse gespoten in woonhuizen. Als het product niet voldoet, treedt niet een terugroepactie in werking. Dit geldt wel voor verhandelbare bouwproducten als pasklare isolatiepanelen op basis van PUR, die onder streng gecontroleerde condities gefabriceerd worden en bij stank kunnen worden teruggestuurd naar de afzender. Dat is onmogelijk voor gespoten PUR, want er is geen simpel proces, dat uit het gespoten product weer de uitgangsstoffen MDI en polyol maakt, die teruggezonden kunnen worden naar de producent.

Artikel 2.15 van het Besluit Bouwwerken Leefomgeving heeft de oplossing, waar bouwregels mogelijk niet passen in de set van Europese regels. Dit artikel luidt als volgt:

Artikel 2.15 (erkenning kwaliteitsverklaringen bouw)

1. Kwaliteitsverklaringen bouw als bedoeld in artikel 2.14, tweede en derde lid, worden afgegeven op basis van een door Onze Minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties erkend stelsel van kwaliteitsverklaringen voor de bouw.
2. Onze Minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties stelt de voorwaarden vast waaronder kwaliteitsverklaringen bouw worden afgegeven.

Hiermee krijgt de minister de bevoegdheid, dat de strengst gereguleerde industriële processen met de meest gevaarlijk stoffen zelfs in woonhuizen mogen worden uitgevoerd op grond van een simpele kwaliteitsverklaring. Het lijkt wel een sprookje voor het betrokken bedrijfsleven. De kwaliteitsverklaringen bouw, die de veiligheid en gezondheid van de bewoners moeten garanderen, worden opgesteld door functionarissen, die nauw verbonden zijn met de bouw.

Bescherming van werknemers en van het milieu wordt uitgevoerd op een geheel andere wijze, namelijk door risico-analyse, direct toezicht en interventie van organisaties en overheidsdeskundigen zonder enige link met de producerende bedrijven.

Gespoten PUR en het vrijkomen van vluchtige isocyanaten

Gespoten PUR bestaat uit polyurethanen. Dit is maar ten dele waar. Tijdens de reactie van isocyanaten en polyolen ontstaan niet alleen poly-urethanen, maar ook allophanaten en biureten (Rao et al 2017). En deze allophanaten en biureten gaan bij veel lagere temperatuur ontleden dan de poly-urethanen (McKenna 2017).

Wanneer PUR langzaam verwarmd wordt, komen er vluchtige isocyanaten vrij. De onderzoekers Jiao et al (2013) hebben isolatie-PUR langzaam verwarmd. De rookgassen werden door een meetcel geleid en door middel van FTIR (Fourier Transformed InfraRed spectroscopie) onderzocht. In de emissiespectra is duidelijk een absorptieband te zien bij 2280 cm⁻¹, die karakteristiek is voor isocyanaten. Deze absorptieband neemt sterk toe met stijgende temperatuur. Bij 115 °C is deze absorptieband niet afkomstig van MDI, want MDI is bij deze temperatuur niet of nauwelijks in dampvorm aanwezig. De absorptieband moet dus wel afkomstig zijn van vluchtige isocyanaten bij 115 °C.

Dit is niet verwonderlijk. De onderzoekers Sennbro et al(2004) vonden in Zweedse werkplaatsen, waar PUR werd verwerkt bij verhoogde temperatuur, dat 75% van de aanwezige vluchtige isocyanaten in de werkruimte bestonden uit isocyaanzuur, een ontledingsproduct van PUR. Voor isocyaanzuur wordt in Zweden een MAC-waarde gehanteerd, die gelijk is aan die van methylisocyaanaat, namelijk 20 µg/m³.

De onderzoekers Dahlin et al (2008) droegen ook een steentje bij. Zij verhitten PUR 1 à 2 minuten op 400 °C en analyseerden de vrijkomende dampen. Deze dampen bestonden voor 70 tot 80% uit isocyaanzuur.

In 2013 heeft TNO onderzoek in opdracht van de PUR-spuiters (Nuon) gedaan naar de lucht in woonruimte en kruipruimte van woonhuizen, waarin mensen ernstige klachten van ogen en luchtwegen hadden na de PUR isolatie. In de woonhuizen was de PUR niet zorgvuldig gespoten volgens de regels van de fabrikant van NESTAAN.

Even terzijde, dit rapport was zeer vertrouwelijk en werd pas na enkele jaren na een WOB procedure aan het Meldpunt PUR ter beschikking gesteld. Ook de overdracht van de technische documentatie van NESTAAN aan het Meldpunt PUR slachtoffers viel hieronder.

TNO vertelt in dit rapport, dat gespoten PUR pas bij 250 °C gaat ontleden. Dit is gedeeltelijk juist en geldt voor de polyurethaan in gespoten PUR. Gespoten PUR bevat ook allophanaten en biureten, die bij veel lagere temperatuur ontleden. TNO heeft 7 maanden tot ruim een jaar na het PUR spuiten de lucht gemeten in woonruimte en kruipruimte. TNO heeft geconstateerd, dat de gemeten concentratie isocyaanzuur na deze lange periode niet gevaarlijk was voor de gezondheid en **dat de isocyaanzuur in de woonkamer niet alleen van de gespoten PUR afkomstig kan zijn.**

TNO heeft tegelijkertijd een tweede onderzoek in opdracht van Nuon gedaan. Dit was een soort model onderzoek, waarbij met in achtname van de regels van de fabrikant van NESTAAN de PUR in 3 modelhuizen was aangebracht. In deze woonhuizen werd ook isocyaanzuur gemeten, maar de concentratie was na een paar weken veel lager dan in de woonhuizen met klachten.

De conclusie van TNO, dat het gemeten isocyaanzuur niet alleen van de PUR afkomstig kon zijn, werd gedaan op basis van de volgende redenering:

Het blaasgas pentafluorbutaan was in hogere concentratie in de kruipruimte aanwezig dan in de woonruimte. Bij isocyaanzuur was dit precies omgekeerd. Dan moet het isocyaanzuur wel van andere bronnen in de woonruimte afkomstig zijn.

Helaas was de isocyaanzuur concentratie in de 3 modelwoningen ook lager dan de pentafluorbutaan concentratie, maar dit was voor TNO geen aanleiding om deze conclusie te herzien. De hogere concentratie isocyaanzuur in de woonkamers van de modelwoningen kon niet alleen van de buitenlucht komen maar vooral ook van de gespoten PUR in het geval van de modelwoningen.

TNO had moeten beseffen, dat het gedrag van isocyaanzuur in lucht en water niet vergelijkbaar is met dat van pentafluorbutaan. De oplosbaarheid van isocyaanzuur is een miljoen keer hoger dan die van pentafluorbutaan in water. De kruipruimtes waren vochtig en soms stond er een laag water in. In de kruipruimte wordt de isocyaanzuur geabsorbeerd door het aanwezige water. De woonruimte is vanzelfsprekend vele malen droger. Een lagere isocyaanzuur concentratie in de kruipruimte werd gemeten zowel in de woonhuizen met klachten en als in de woonhuizen van het modelonderzoek.

TNO heeft in het onderzoek van de woonhuizen met klachten verzuimd enig statistisch onderzoek te doen. De kans, dat de gemiddelde gemeten concentraties in woonruimte en kruipruimte verklaard kunnen worden uit de gemiddelde concentraties in de buitenlucht is kleiner dan 1 op 50000. Met een hoge mate van waarschijnlijkheid mag worden aangenomen dat de isocyaanzuur in de woonhuizen met klachten van de gespoten PUR afkomstig was.

Verder heeft TNO zich niet afgevraagd, wat de concentraties geweest zouden zijn direct na het PUR-sputten in de woningen met klachten. De poging tot een voor de hand liggende aanpak zou als volgt kunnen worden uitgevoerd.

De hoogste concentratie pentafluorbutaan in het onderzoek van de 3 modelhuizen was 123400 µg/m³ ongeveer 16 uur na de PUR-isolatie in woning C (TNO-rapport 10 juli 2013). In woning C was de PUR-isolatie uitgevoerd volledig volgens de regels van de Nestaan fabrikant.

De hoogste concentratie isocyaanzuur in de woonkamer 7 maanden na de PUR-isolatie was 0,316 µg/m³ bij een pentafluorbutaan concentratie van 47 µg/m³ (TNO rapport 31 mei 2013).

Uit deze gegevens kan een simpele schatting gemaakt worden van de maximale concentratie in een woonhuis met PUR-klachten 16 uur na de PUR-isolatie door:

$$123400/47,3 \times 0,316 = 824 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ isocyaanzuur}$$

Een concentratie van 40 maal de Zweedse MAC-waarde van isocyaanzuur kan toch niet ongemerkt aan de bewoners voorbij zijn gegaan.

Op basis van deze redenering is een bewoner schadeloos gesteld op voorwaarde van volledige geheimhouding door alle partijen.

De Gezondheidsraad heeft kennis genomen van deze rapporten en komt tot de conclusie, dat er geen gezondheidsproblemen zijn, als de PUR correct wordt aangebracht.

Dat is geen sinecure. Op 30 augustus 2023 brak brand uit in de vers gespoten isolatie-PUR in huizen aan de Kopkas in Delft. De PUR-laag werd gespoten met gecertificeerde uitgangsstoffen door een gecertificeerd bedrijf en door gecertificeerde medewerkers.

Brand kan uitbreken uit als er in te dikke lagen PUR wordt gespoten. De temperatuur wordt dan blijkbaar 600 °C of hoger. Dit betekent dat de voorschriften van maximale laagdikte, die in een keer mag worden gespoten en afkoeling tot kamer temperatuur alvorens een nieuw PUR-laag te spuiten strikt moeten worden nageleefd om de temperatuur van de PUR niet boven de 100 °C te laten stijgen.

Als de PUR-isolatie toch veel te heet wordt, zijn de woningen weken tot maanden onbewoonbaar vanwege de ernstige oog- en luchtwegirritatie bij de bewoners.

Eigenlijk verwacht men, dat ook met de huidige werkwijze toch een beetje vluchtige isocyanaten gevormd worden. Daarom zijn hele strenge regels opgesteld zoals in de beoordelingsrichtlijn van Insula BRL 2131. De bewoners mogen niet in het huis aanwezig zijn tijdens het PUR-spuiten om blootstelling aan MDI te vermijden. Verder moet de kruipruimte na het PUR-spuiten van de onderkant van de begane grondvloer worden afgesloten van de woonruimte en mogen de bewoners twee weken lang niet in de kruipruimte komen. Verder moet de kruipruimte naar de buitenlucht geventileerd worden met isolatie-openingen van 100 mm² per m² vloeroppervlak. Deze maatregelen zijn nodig om blootstelling van de bewoners aan vluchtige isocyanaten te beperken.

De gezondheidsraad adviseert voor het isoleren van daken met gespoten PUR dezelfde strenge voorschriften te hanteren als voor de kruipruimte. Uit de concept KOMO beoordelingsrichtlijn BRL 1332-02 blijkt echter, dat men deze richtlijnen minder streng wil maken dan die voor de kruipruimte. Ook de controle op naleving van de regels van de beoordelingsrichtlijnen dienen bij voorkeur onaangekondigd te gebeuren. Naar mijn mening moet controle op naleving van de regels tijdens en na het spuiten altijd onaangekondigd gebeuren, zeker met deze gevaarlijke stoffen als di- en tri-isocyanaten.

Er zijn nog nooit voor iedereen toegankelijke wetenschappelijke publicaties geschreven over de concentraties van MDI in de spuitruimtes en in de afgezogen lucht uit de spuit ruimtes tijdens PUR-isolatie in Nederland onder verantwoordelijkheid van de NVPU. In dit verband zijn de bevindingen van de Amerikaanse onderzoekers (Bello et al 2019) van belang. Op grond van hun metingen lijkt het niet verstandig de opening van de slang met afgezogen lucht van de spuitruimte van PUR-isolatie naast een kinderspeeltoestel als een wipkip in de openbare ruimte te leggen zonder enige afzetting van de omgeving (Elst).

NB

Op de websites van Huntsman Building Solutions (H2FoamLite) en van Technisol zijn alleen de veiligheidsinformatiebladen van de polyol component van gespoten PUR te vinden en niet die van de zeer giftige isocyanaatcomponent. Het gaat hier dan om de polymere isocyanaat variant van MDI. Echter polymere MDI bevat nog altijd ruim 50% MDI. Dus ook van de isocyanaat component moet een Veiligheidsinformatieblad beschikbaar zijn. De onderzoekers Feron et al (2001) hebben aangetoond, dat de mate van fibrose van de longen in ratten door pure en polymeer MDI gelijk was.

Medisch protocol voor onderzoek van PUR-slachtoffers

Er is een projectgroep “Protocol PUR” opgericht onder leiding van prof. Rustemeyer (VUmc) et al (2016) om een protocol op te stellen voor diagnostiek van gezondheidsklachten bij bewoners in relatie tot potentiële blootstelling aan isocyanaten en PUR schuim, gebruikt voor isolatie.

Op basis van een literatuurstudie en na raadpleging van de deskundigen en belangenbehartigende organisaties (bv NVPU) concludeert de projectgroep Protocol PUR dat voldoende consensus bestaat in Nederland over de aard van de aandoeningen waarvan voldoende wetenschappelijk bewijs bestaat dat zij veroorzaakt kunnen worden door blootstelling aan PUR schuim en isocyanaten:

- Astma, irritatief (inclusief het Reactive Airway Dysfunction Syndrome) of allergisch, de novo (nieuw) of uitgelokt bestaand astma
- Extrinsieke allergische alveolitis
- Contacteczeem, irritatief of allergisch
- Urticaria

In het medisch protocol ligt de nadruk eigenlijk op effecten van MDI (methylendifenyldi-isocyanaat) met hieraan gekoppeld de overgevoeligheid voor deze stof. Hieraan kunnen de bewoners alleen tijdens en kort na het PUR-spuiten worden blootgesteld. Het medisch protocol houdt geen rekening met eventuele ontledingsproducten als laagmoleculaire isocyanaten, die door een sterk toegenomen temperatuur bij in te dikke lagen spuiten kunnen ontstaan en over een periode van weken tot maanden uit de PUR-isolatielaag in de woonruimte terecht komen.

Het medisch protocol gaat er min of meer van uit, dat de klachten aan PUR-isolatie kunnen worden toegeschreven, als de mensen bij huidcontact overgevoelig blijken voor MDI. Echter het is ook bekend, dat de overgevoeligheid voor MDI in deze testen verdwijnt, als men enige maanden niet aan MDI wordt blootgesteld. Een allergietest voor MDI, die maanden na de isolatie met PUR bij de bewoners wordt uitgevoerd, is dan ook meestal negatief.

Veel PUR-slachtoffers hadden klachten als brandende oogirritatie en tranende ogen bij verblijf binnenshuis. De kans op ooginfecties was ook groter. Enkele PUR-slachtoffers kregen soms het gevoel, dat ze als querulanten gezien werden omdat ze negatief testten op overgevoeligheid voor MDI, maar wel ernstige oogklachten hadden, zodra men zijn eigen woning binnenkwam.

De effecten op de ogen van PUR-slachtoffers vertonen gelijkenis met de oogklachten van de overlevenden van de Bhopal ramp in december 1984 in India, die enige tijd werden blootgesteld aan methylisocyanaat. Bij de mensen blootgesteld in Bhopal, werd nauwelijks allergie voor isocyanaten gevonden, maar zij hadden wel ernstige oogklachten door directe irritatie.

Het is dan ook merkwaardig, dat het onderzoek van de ogen geen deel uitmaakt van het medisch onderzoek volgens het PUR-protocol van bewoners met klachten na vloerisolatie met PUR. Effecten op de ogen na isolatie met PUR zijn geen aandachtspunt (geweest) van de regionale GGD-en, deze klachten stonden niet in het medisch protocol en zijn dan ook weinig gemeld door de GGD-en.

Richtlijn Emissieveiligheid Gespoten Pur-Schuim (Smallenberg RPS)

Deze richtlijn moet de hoge kwaliteit van gespoten PUR garanderen, die de bij de NVPU aangesloten bedrijven produceren in woonhuizen.

Deze richtlijn heeft tot doel om in belangrijke mate bij te dragen aan de betrouwbaarheid en reproduceerbaarheid van de resultaten die verkregen worden met de uit te voeren emissietesten conform de internationale standaard EN 16516 die gebaseerd is op de ISO 16000. De richtlijn heeft tot doel om de emissies van bestaande en nieuwe polyurethaan schuimproducten volgens een standaardmethode te kunnen beoordelen.

Bij voorkeur vindt de vervaardiging plaats in een gecontroleerde spuitcabine bij een temperatuur tussen de 15 en 30 °C en een relatieve vochtigheid tussen de 30 en 70%. De cabine moet 30x per uur geventileerd worden.

Het isolatie PUR-monster wordt gespoten op een 10 mm dikke HPDE plaat, waarbij de voorschriften van de leverancier als maximale laagdikte, die in een keer mag worden gespoten, strikt worden nageleefd. Daarna laat men de gespoten PUR één uur uitharden in de spuitcabine. Vervolgens wordt de PUR in aluminiumfolie gewikkeld en in een luchtdichte PET-zak gestopt. Het monster wordt vervolgens opgestuurd naar een laboratorium, dat gecertificeerd is om deze metingen betrouwbaar uit te voeren.

Echter deze richtlijn biedt geen enkele garantie, dat de PUR even zorgvuldig in woonhuizen wordt aangebracht als in de spuitcabine. In de kruipruimte of zolderruimte is er weinig manoeuvreer ruimte, men is gekleed in volledig beschermende kleding met volgelaatsmasker met luchttoevoer, men werkt onder tijdsdruk, kortom dit zijn weinig ideale omstandigheden om de vereiste laagdikte te meten en vervolgens te wachten tot de PUR van 4 cm dik voldoende is afgekoeld om de volgende laag aan te brengen.

Op 30 augustus 2023 vatte de isolatie-PUR vlam in huizen aan de Kopkas in Delft bij PUR-isolatiwerkzaamheden door een gecertificeerd bedrijf, met gecertificeerde uitgangsstoffen en gecertificeerde werknemers. De NVPU heeft toen een kans gemist om een monster van de PUR uit te laten uitsnijden en voor analyse aan te bieden. De resultaten hadden dan vergeleken kunnen worden met de PUR-kwaliteit uit de spuitcabine onder gecontroleerde omstandigheden.

Voor zover is na te gaan, worden er in deze richtlijn geen metingen geadviseerd om vluchtige isocyanaten te meten, die in het verleden de typische PUR-klachten veroorzaakt hebben. De vluchtige isocyanaten zijn 10 tot 20 keer meer irriterend dan formaldehyde. Als vluchtige isocyanaten tot een concentratie van 100 µg/m³ in de binnenlucht aanwezig zijn, dan is de woning in feite onbewoonbaar vanwege ernstige oogirritatie, maar voldoet wel aan de voorgestelde kwaliteitsnorm voor TVOC van 1000 µg/m³ (TVOC = Total Volatile Organic Carbon) in deze richtlijn voor emissieveiligheid.

Aanbeveling:

In een woonhuis met PUR-klachten bij bewoners wordt een representatief stuk isolatie-PUR, dat te heet geweest is, uit de isolatielaag gesneden en luchtdicht verpakt. Dit wordt vervolgens aangeboden om alle vluchtige isocyanaten te meten, die uit deze PUR onder gestandaardiseerde omstandigheden vrijkomt.

Brandbaarheid en brandklasse van gespoten PUR

Binnen het Bbl2024 zijn er strenge regels voor brandveiligheid van vloeren, wanden en plafonds van woonruimte. Het is ten allen tijde verboden materialen te gebruiken met een brandklasse E of F voor grote oppervlakken als wanden, plafond of vloer. De ruimte onder schuine daken zijn vaak zolders die direct met de woonruimte in contact staan of zelfs als woonruimte gebruikt worden. Het brandgevaar in de woningen neemt enorm toe door het isoleren met gespoten PUR van grote oppervlakken. Gespoten isolatie-PUR wordt ingedeeld in brandklasse E (zeer brandbaar) of in brandklasse F (buitengewoon brandbaar).

Voor een kruipruimte met gespoten PUR is het aspect brandgevaar niet zo manifest, maar voor ruimtes met een woonfunctie moet isolatie van binnenkant van daken met gespoten PUR ontmoedigd worden. Dit moet expliciet in het VBbl2025 vermeld worden.

In dit verband is het belangrijk in herinnering te brengen de brand in de Grenfell Tower van 14 juni 2017 in Londen, die zich snel kon verspreiden via zogenaamde Celotex vlamdovende PIR isolatiepanelen (95% van de gevels van de Grenfell Tower). Deze Celotex panelen hadden ten onrechte een certificaat van vlamdovendheid gekregen door fraude van de producent. PIR is nauw verwant aan PUR, behalve dat PUR nog brandbaarder is.

Daar komt nog bij, dat PUR bij brand een zeer dichte rook vormt, waardoor het zicht maar tot enkele meters beperkt wordt. Deze rook bevat isocyanaten en blauwzuur en is 10x giftiger dan rook van hout. Het is dus materiaal, dat de kans op ontsnapping uit een brandende ruimte veel geringer maakt.

Samenstelling van de rookgassen (isocyanaten, nitrillen en blauwzuur)

De ontledingstemperatuur van vlam-vertraagd PUR is wat lager dan van PUR zonder vlamvertrager (Chattopadhyay en Webster 2009). Door verhitting van 150-400 °C wordt PUR ontleed in de uitgangsstoffen isocyanaat en polyolen, waarbij een zeer dichte rook ontstaat (Bengtström et al 2016, McKenna en Hull 2016). Het gaat hierbij niet alleen om het originele isocyanaat maar vooral ook om meer vluchtige isocyanaten als methyilisocyanaat en isocyaanzuur (Dahlin et al. 2008).

Verder ontstaat bij pyrolyse van vlam-vertraagd PUR 9 x meer HCN als bij niet vlam-vertraagd PUR (Braun 1990). De rookgassen van hard polyurethaanschuim zijn aanzienlijk giftiger dan van gewoon hout (Paabo&Levin 1987 en Caldwell en Alarie 1991). Als er HCN wordt aangetoond, komen er zeker ook nitrillen vrij, zoals is aangetoond door Chambers et al (1981), Herrera et al (2002) en Hull & Paul (2007). Voor blauwzuur wordt ook gewaarschuwd in Dossier Brandbestrijding, risico's van het vak (Wildenburg et al 2013).

Ferrari et al (2001) beschrijven een gevangenisoproer, waarbij het merendeel van de doden gestorven was door inademing van blauwzuur uit de rook van brandende PUR-matrassen. De doodsoorzaak door HCN inademing werd afgeleid uit het lage carboxyhemoglobine gehalte en het hoge cyanide gehalte in het bloed van de slachtoffers.

Advies inzake brandbaarheid

Als onderdeel van het certificaat voor gespoten isolatie-PUR moet de isolatie-spuiter in het certificaat verklaren, dat:

1. De brandbaarheid van de woning niet is toegenomen door het aanbrengen van een isolatielaag van zeer brandbare PUR in direct contact met de lucht van de woonruimtes.
2. De mogelijkheden om te ontsnappen bij brand niet zijn verkleind door de zeer dichte en giftige rookgassen

Literatuurverwijzingen

- Bello, A., Xue, Y., Gore, R., Woskie, S., & Bello, D. (2019). Assessment and control of exposures to polymeric methylene diphenyl diisocyanate (pMDI) in spray polyurethane foam applicators. *International journal of hygiene and environmental health*, 222(5), 804-815.
- Braun, E., Gann, R. G., Levin, B. C., & Paabo, M. (1990). Combustion Product Toxic Potency Measurements: Comparison of a Small Scale Test and "Real-World" Fires. *Journal of Fire Sciences*, 8(1), 63-79.
- Caldwell, D. J., & Alarie, Y. (1991). A method to determine the potential toxicity of smoke from burning polymers: III. Comparison of synthetic polymers to Douglas Fir using the UPitt II flaming combustion/toxicity of smoke apparatus. *Journal of fire sciences*, 9(6), 470-518.
- Chambers, J., Jiricny, J., & Reese, C. B. (1981). The thermal decomposition of polyurethanes and polyisocyanurates. *Fire and Materials*, 5(4), 133-141.
- Chattopadhyay, D. K., & Webster, D. C. (2009). Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. *Progress in Polymer Science*, 34(10), 1068-1133.
- Dahlin, J., Spanne, M., Karlsson, D., Dalene, M., & Skarping, G. (2008a). Size-Separated Sampling and Analysis of Isocyanates in Workplace Aerosols. Part I. Denuder—Cascade Impactor Sampler. *Annals of occupational hygiene*, 52(5), 361-374.
- Feron, V., Kittel, B., Kuper, C., Ernst, H., Rittinghausen, S., Muhle, H., ... & Hoffmann, H. (2001). Chronic pulmonary effects of respirable methylene diphenyl diisocyanate (MDI) aerosol in rats: combination of findings from two bioassays. *Archives of toxicology*, 75, 159-175.
- Gezondheidsraad, 2018. Di- and tri-isocyanates. Health-based recommendation on occupational exposure limits. To: the State Secretary of Social Affairs en Employment No. 2018/20, The Hague, November 28, 2018
- Gezondheidsraad, 2020. Gespoten PUR-schuim isolatie en gezondheid. Aan: de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Nr. 2020/24, Den Haag, 1 december 2020
- Herrera, M., Matuschek, G., & Kettrup, A. (2002). Thermal degradation of thermoplastic polyurethane elastomers (TPU) based on MDI. *Polymer degradation and stability*, 78(2), 323-331.
- Hull, T. R., & Paul, K. T. (2007). Bench-scale assessment of combustion toxicity—A critical analysis of current protocols. *Fire Safety Journal*, 42(5), 340-365.
- Jiao, L., Xiao, H., Wang, Q., & Sun, J. (2013). Thermal degradation characteristics of rigid polyurethane foam and the volatile products analysis with TG-FTIR-MS. *Polymer Degradation and Stability*, 98(12), 2687-2696.
- McKenna, S. T., & Hull, T. R. (2016). The fire toxicity of polyurethane foams. *Fire Science Reviews*, 5(1), 1-27.

Paabo, M., & Levin, B. C. (1987). A review of the literature on the gaseous products and toxicity generated from the pyrolysis and combustion of rigid polyurethane foams. *Fire and Materials*, 11(1), 1-29.

Rao, R. R., Mondy, L. A., Long, K. N., Celina, M. C., Wyatt, N., Roberts, C. C., Soehnel M., Wyatt N. & Brunini, V. E. (2017). The kinetics of polyurethane structural foam formation: Foaming and polymerization. *AIChE Journal*, 63(7), 2945-2957.

Rustemeyer T, Duijm F en Bakker JG, 2016. Protocol voor diagnostiek van gezondheidsklachten in relatie tot potentiële blootstelling aan isocyanaten en PUR schuim, gebruikt voor isolatie, bij bewoners

Sennbro, C. J., Lindh, C. H., Oestin, A., Welinder, H., Jönsson, B. A., & Tinnerberg, H. (2004). A survey of airborne isocyanate exposure in 13 Swedish polyurethane industries. *Annals of Occupational Hygiene*, 48(5), 405-414.

Smallenberg (RPS), 17 januari 2024. Richtlijn Emissieveilgheid Gespoten Pur-Schuim in opdracht van Kennisplatform Gespoten Pur-Schuim (Versie 2.0)

TNO, 2013, R10642 | Eindrapport: Evaluatie van gezondheidsrisico's voor bewoners, op basis van resultaten van metingen in woningen waar SPF vloerisolatie is aangebracht (VERTROUWELIJK), Datum: 31 mei 2013

Auteur(s): W.R. Leeman, B.Sc. ; H.E. Buist, M.Sc. ; L. Krul, M.Sc

Opdrachtgever: Nuon Isolatie BV, thans United Energy Works Isolatie BV

TNO, 2013, 060 UTP 2013 00250: Emissie van PUR gerelateerde stoffen uit Spray Polyurethaan Foam (SPF) vloerisolatie, gemeten in de tijd. Datum: 10 juli 2013.

Auteur(s): John Havermans, Marc Houtzager. Opdrachtgever: Nuon Isolatie B.V.

Wildenburg J, Veen B van, Beek C van, Velde C van der, Scheepers P, Maas J, maart 2013. Dossier Brandbestrijding, de risico's van het vak. Reviewer: Ing. Dick Arentsen MSc CSP MIFireE RVK van Brandweer Nederland