

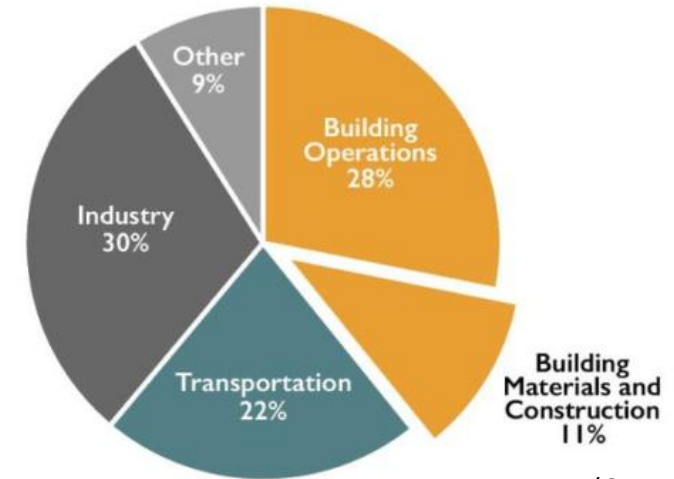
Hygrische aspecten en aantasting bio-based materialen

ir. Paressa Loussos – ABT
NVBV Kennisdag 9 juni 2022

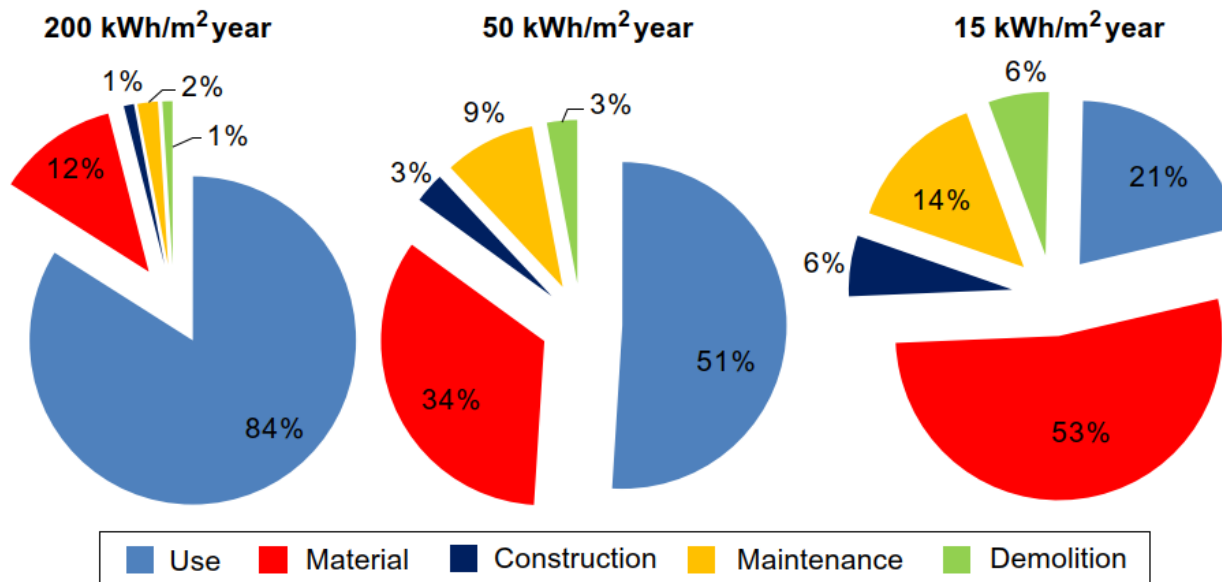
Globale materiaalgebonden emissies

- Gebouwde omgeving voor bijna 40% verantwoordelijk voor de wereldwijde CO₂ uitstoot
- 28% operationele emissies
- 11% materiaalgebonden emissies
- Aandeel van materiaal wordt groter bij energiezuinige gebouwen

Global CO₂ Emissions by Sector



(Cortese, 2020)



(Jones, 2017)

Definitie bio-based

Definitie (NEN-EN 16575:2014):

- Bio-based product: product dat geheel of gedeeltelijk afkomstig is uit **biomassa**.
- **Biomassa**: materiaal van biologische oorsprong, met uitzondering van materiaal dat in geologische formaties is vastgelegd en/of gefossiliseerd.
- Na het oogsten of verzamelen kan de biomassa worden gebruikt als grondstof voor diverse processen en producten. Biomassa kan fysisch, mechanisch, chemisch of biologisch worden verwerkt tot materialen of stoffen van biologische oorsprong, die kunnen worden verwerkt met of zonder materialen of stoffen van andere oorsprong (bv. fossiel, mineraal), resulterend in producten van biologische oorsprong (d.w.z. geheel of gedeeltelijk afkomstig uit biomassa).

3 Hoofdpunten (biobasedbouwen.nl):

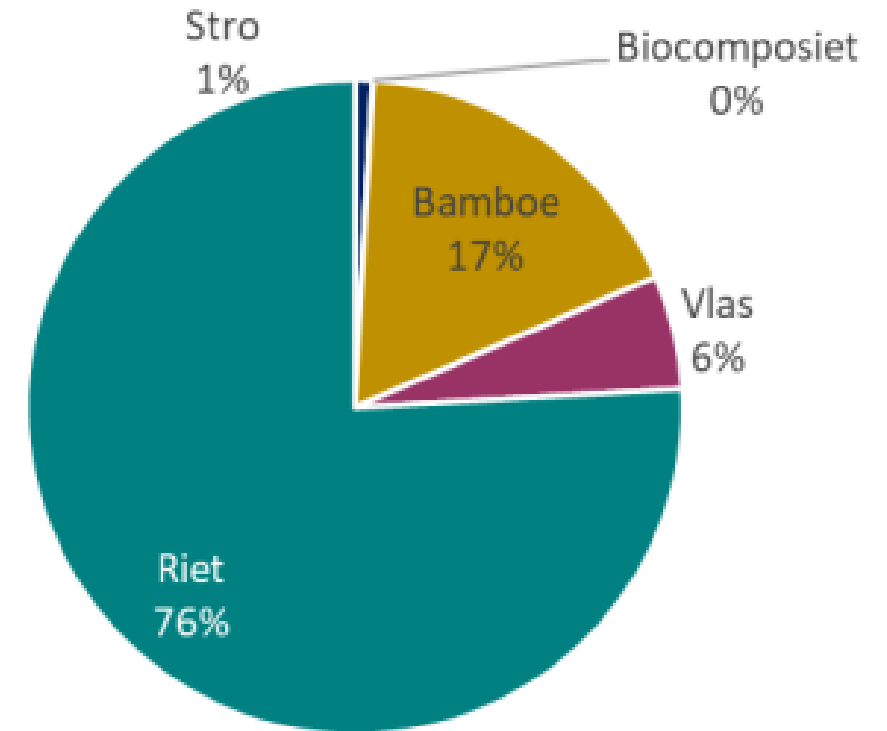
- Bio-based materialen zijn materialen die afkomstig zijn uit de levende natuur.
- Dit zijn grondstoffen uit veeteelt, tuin-, land- en bosbouw.
- En materialen die tijdens de levensduur van een gebouw opnieuw kunnen groeien.

Geschiedenis van bio-based materialen



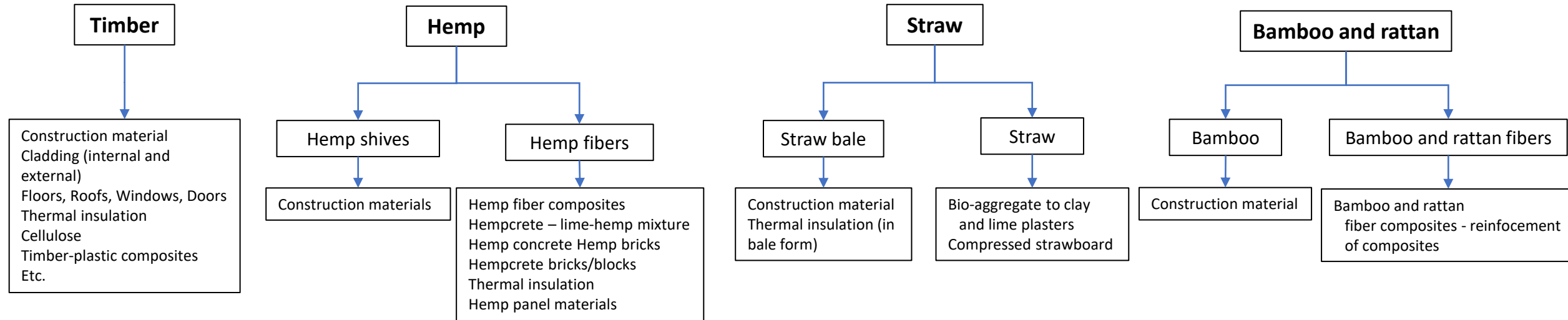
Bio-based materialen in de bouw

- Huidige stand van zaken:
 - Hout is op dit moment veruit de grootste stroom bio-based materiaal in de bouw.
 - Andere bio-based materialen die op dit moment worden gebruikt in de bouw zijn riet, vlas, bamboe en stro.
 - In Nederland is op basis van gewicht het aandeel van hout 2% en overige bio-based materialen 0,1%.

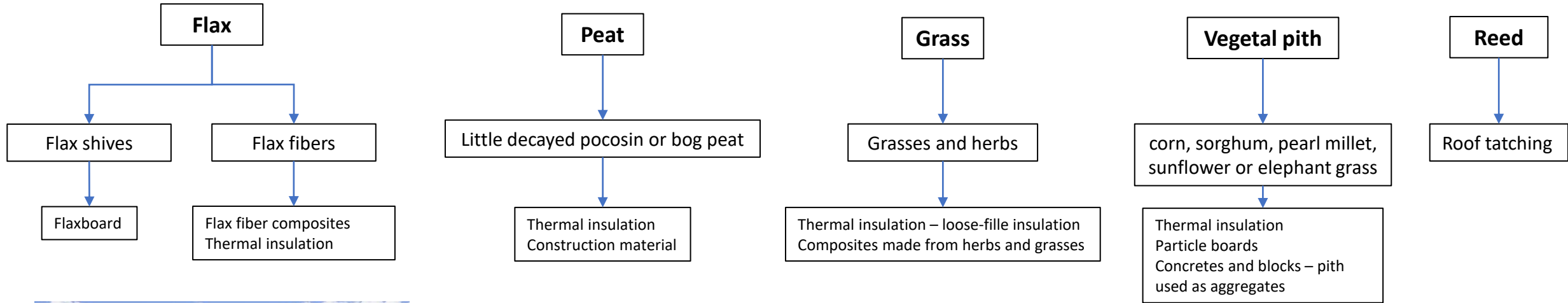


(Van der Velde & Van Leeuwen, 2019), NIBE Research

Bio-based building materials (D. Jones, 2017)

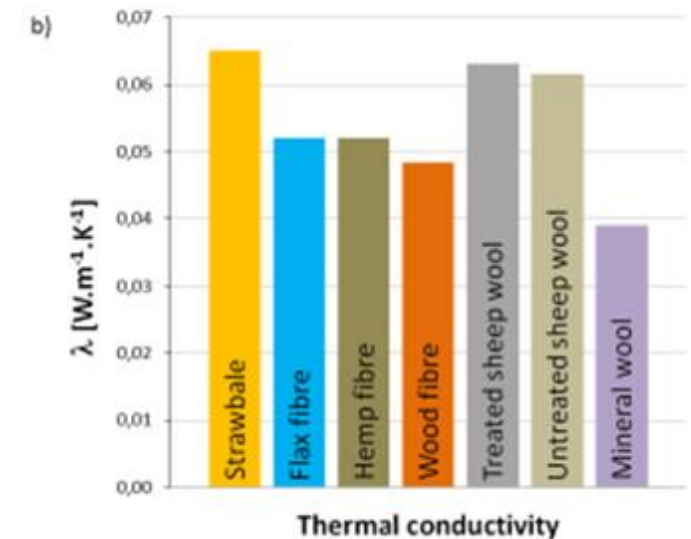


Biobased building materials (D. Jones, 2017)



Potentiële bio-based isolatie materialen

- Lage warmtegeleidingscoëfficiënt
- Potentiële bio-based isolatie materialen (Jones, 2017):
 - Vlasvezels
 - Hennepvezels
 - Stro
 - Turf
 - Gras en kruiden
 - Plantaardig merg



(Volf et al., 2015)

Bio-based bouwen: wat is anders?

- Bio-based materialen zijn organische materialen, gevoelig voor aantasting en degradatie door biotische en abiotische factoren.
- Organische materialen hebben een vocht bufferend vermogen. Deze hygroscopische eigenschap maakt het materiaal gevoelig voor aantasting en degradatie.
- Werken/uitzetten/krimpen van materiaal.



Bio-based materialen – factoren

- Gevoelig voor aantasting en degradatie door biotische en abiotische factoren

- **Biotische factoren:**

- Schimmels
- Insecten
- Ongedierte
- Algen
- Bacteriën

Table 5.1 Key biotic agents causing deterioration of bio-based building materials

Organism	Damage	Environment cond. range	
		RH (%)	Temperature (°C)
Bacteria	Material softening, unpleasant odour, health problems	>97	–5 to 60
Mould	Discolouration, unpleasant odour, health problems	>75	0 to 45
Algae	Discolouration	>95	0 to 40
Decay fungi	Degradation of chemical components depending on the fungi type, material strength loss, unpleasant odour, health problems	>95	0 to 45
Insects	Strength loss (severity depending on insect taxon)	>65	5 to 50

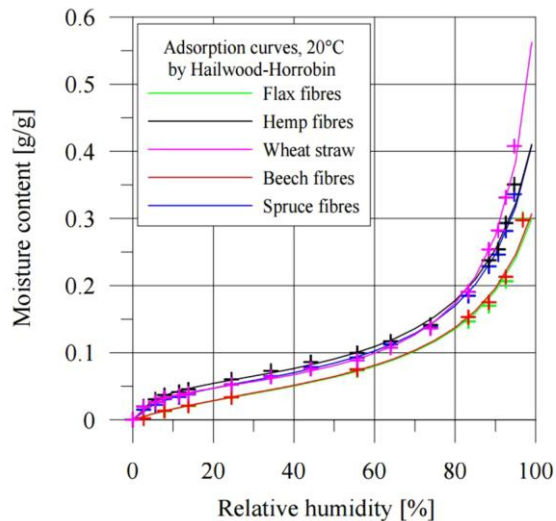
- **Abiotische factoren:**

- Temperatuur, relatieve vochtigheid, water en regen, stof en vuil, zonnestraling, verontreinigende stoffen, pH waarde, fysieke schade.

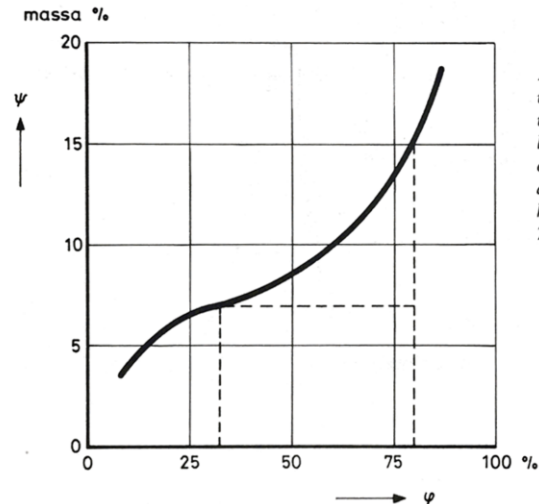
(Sandak et al., 2019)
(Stanaszek-Tomal, 2020)

Hygro-thermische eigenschap – sorptie isotherm

- Vochtopname en drogen van het materiaal aan de hand van sorptie isotherm:



(Mesa & Arengi, 2019)



Afb. 136 Evenwichtsvochtgehalte (ψ) van een bepaald type hout als functie van de relatieve vochtigheid (ϕ) van de lucht. Daar de relatieve vochtigheid in ons klimaat fluctueert tussen ca. 35% in de winter en 80% in de zomer, fluctueert het vochtgehalte van het hout tussen ca. 7 en 15 massa %.

Tabel 4

Toepasbare duurzaamheidsklassen per risicoklasse bij gewenste levensduren van 25 en 10 jaar (bron: www.vibe.be).

Risicoklasse	Houtvochtgehalte	Gewenste levensduur 25 jaar	Gewenste levensduur 10 jaar
1	Permanent < 20%	I - II - III - IV - V	I - II - III - IV - V
2	Incidenteel, kortdurend > 20%	I - II - III	I - II - III - IV
3	Regelmatig, kortdurend > 20%	I - II - II tot III	I - II - III - IV
4	Permanent > 20%	I - II	I - II - III
4	Permanent > 20% + grondcontact	I	I - II - III
5	Permanent > 20% (zout water)	I	I - II

Hout:

- Na de kap (evenwichts-)vochtgehalte (EMC) gerelateerd aan de relatieve luchtvochtigheid
- Grenswaarde evenwichtsvochtgehalte voor **massief** hout circa 20-22%

Risico op schimmelvorming

Belangrijkste factoren voor de ontwikkeling van schimmels in/op een materiaal:

- Temperatuur
- Relatieve vochtigheid
- Samenstelling materiaal



(Sedlbauer, 2001)

Beoordeling risico vochtschade

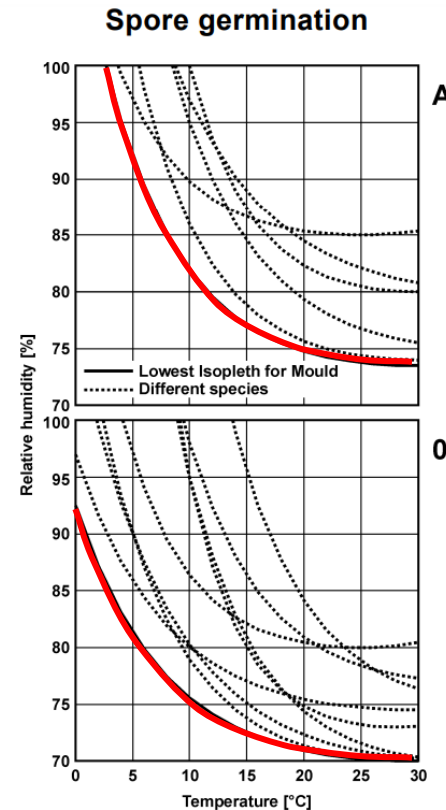
- Verschillende type modellen voor bepalen risico vochtschade:
 - Index modellen – die de omgevingscondities correleren met het risico op schimmelgroei
 - Drempelmodellen – uitgegaan van een drempelwaarde voor schimmelgroei
 - Empirische modellen – gebaseerd op regressies verkregen uit laboratorium onderzoek

Bijvoorbeeld: Biohygrothermal model

Isopleth system – grenzen schimmelgroei per schimmelsoort

- Schimmelperspectief, gevaren klasse:

- Schimmels of hun metabolische producten zijn zeer pathogeen; ze mogen niet voorkomen in gebruikte woningen/gebouwen.
- Schimmel is pathogeen bij langdurige blootstelling en kan allergische reacties veroorzaken.
- Schimmel is niet gevaarlijk voor de gezondheid, schimmelvorming kan echter wel economische schade veroorzaken.



Isopleths for spore germination of various fungus species considered in the model (see Table 4) and the Lowest Isopleth for Mould (LIM) resulting from that.

The top illustration applies to fungi of hazardous class A, the bottom illustration to class B/C.

Table 4

Specification of minimum, optimum as well as maximum growth conditions for individual fungi concerning temperature, relative humidity and pH-value, with reference to spore germination as well as mycelium growth for different danger classes.

Species of fungi	Danger classes	Growth conditions											
		Temperature [°C]						Relative humidity [%]					
		Spore germination		Mycelium growth		Spore ger.		Mycelium g.		pH-value [-]			
		min.	opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	opt.	min.	opt.	max.	
<i>Asp. flavus</i>	A	10	30	45	6	40	45	80	100	78	98	2,5	7,5
<i>Asp. fumigatus</i>	A	10	40	50	10	43	57	80	97	82	97	3	6,5
<i>Asp. nidulans</i>	A	10	37	60	6	40	48	75	95	78	97		
<i>Asp. niger</i>	A	10	35	50	6	37	47	77	98	76	98	1,5	9,8
<i>Asp. penicillioideus</i>	A				5	25	37						
<i>Asp. versicolor</i>	A	8	30	42	4	30	40	74	91	75	95		
<i>Stachybotrys atra</i>	A	5	25	40	2	23	37	85	97	89	98		
Gefährdungsklasse A	A	5	33	50	2	40	57	74	96	75	97	2	7
<i>Absidia corymbifera</i>	B					35	45					3	8
<i>Absidia glauca</i>	B				-8	30	43		70				
<i>Alternaria alternata</i>	B	3	35	37	-2	30	32	84		85	98	<2,7	5,4
<i>Asp. amstelodami</i>	B	5	35	43	7	33	42	70	90	71	100		
<i>Asp. candidus</i>	B	10	35	45	3	32	57	70	95	74	90	2,1	7,7
<i>Asp. ochraceus</i>	B					32				77	95	3	6,5
<i>Asp. parasiticus</i>	B				10	37				82		2	6,5
<i>Asp. restrictus</i>	B	10	28		10	28		73	95	71	90		
<i>Asp. ruber</i>	B	5	30	42	4	27	38	70	90	71	93		
<i>Asp. terreus</i>	B	14	40	50	11	40	47	75	99	77	97		
<i>Aureobasidium pullulans</i>	B				2	25	35			88			
<i>Botrytis cinera</i>	B				-3	21	36			93			
<i>Cla. cladosporioides</i>	B				-5	28	32	85		84	96	3,1	7,7
<i>Eurotium herbariorum</i>	B					30	40	73		75	96		
<i>Fusarium culmorum</i>	B	3	25	37	0	25	31	87		90			
<i>Fusarium oxysporum</i>	B				5	30	37			90		2	9
<i>Fusarium solani</i>	B									90			
<i>Mucor plumbeus</i>	B				4	25	35	93		93	98		7
<i>Pen. brevicompactum</i>	B	5	25	32	-2	25	30	78		75	96		
<i>Pen. chrysogenum</i>	B				-4	28	38	78		79	98		
<i>Pen. cyclopium</i>	B	5	25	33	2	25	37	80	97	80	98	2	10
<i>Pen. expansum</i>	B	<0			-3	26	35	82		82	95		
<i>Scopulariopsis brevicaulis</i>	B				5	30	37			85	94		9,5
<i>Trichoderma viride</i>	B				0	28	37				99		
Gefährdungsklasse B	B	3	31	50	-8	29	57	70	94	70	96	2	7
<i>Chaetomium globosum</i>	C					35							
<i>Chrysosporium fastidium</i>	C							69	93	72	92		
<i>Cla. sphaerospermum</i>	C					25				81,5			
<i>Paecilomyces lilacinus</i>	C					35	60	84		84			
<i>Pen. citrinum</i>	C							84		80		2	5,5
<i>Rhizopus stolonifer</i>	C	1,5	28	33	10	26	37	84		92	98		<6,8
<i>Trichothecium roseum</i>	C	5			15	25	35	90		86	96		
<i>Ulocladium sp.</i>	C									89			
<i>Wallemia sebi</i>	C		30		5	30	40	69		70			
Gefährdungsklasse C	C	2	29	33	5	29	60	69		70	95	2	10

Substraat klassen – grenzen schimmelgroei

- Substraatcategorie 0: Optimaal kweekmedium
- Substraatcategorie I: Biologische herbruikbare bouwmaterialen zoals behangpapier, gipskarton, bouwmetaal van biologisch afbreekbare grondstoffen, materialen met blijvend elastische voegen;
- Substraatcategorie II: Bouwmaterialen met poreuze structuur zoals pleisterwerk, minerale bouwstoffen, bepaald hout evenals isolatiemateriaal dat niet onder I valt;
- Substraatcategorie III: Bouwmaterialen die niet afbreekbaar zijn en geen nutriënten bevatten.

Isopleth system – grenzen oppervlakte schimmelgroei per materiaaltipe

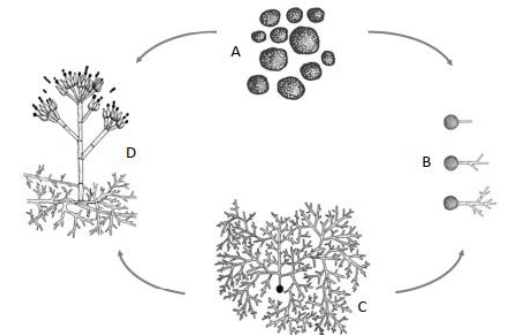
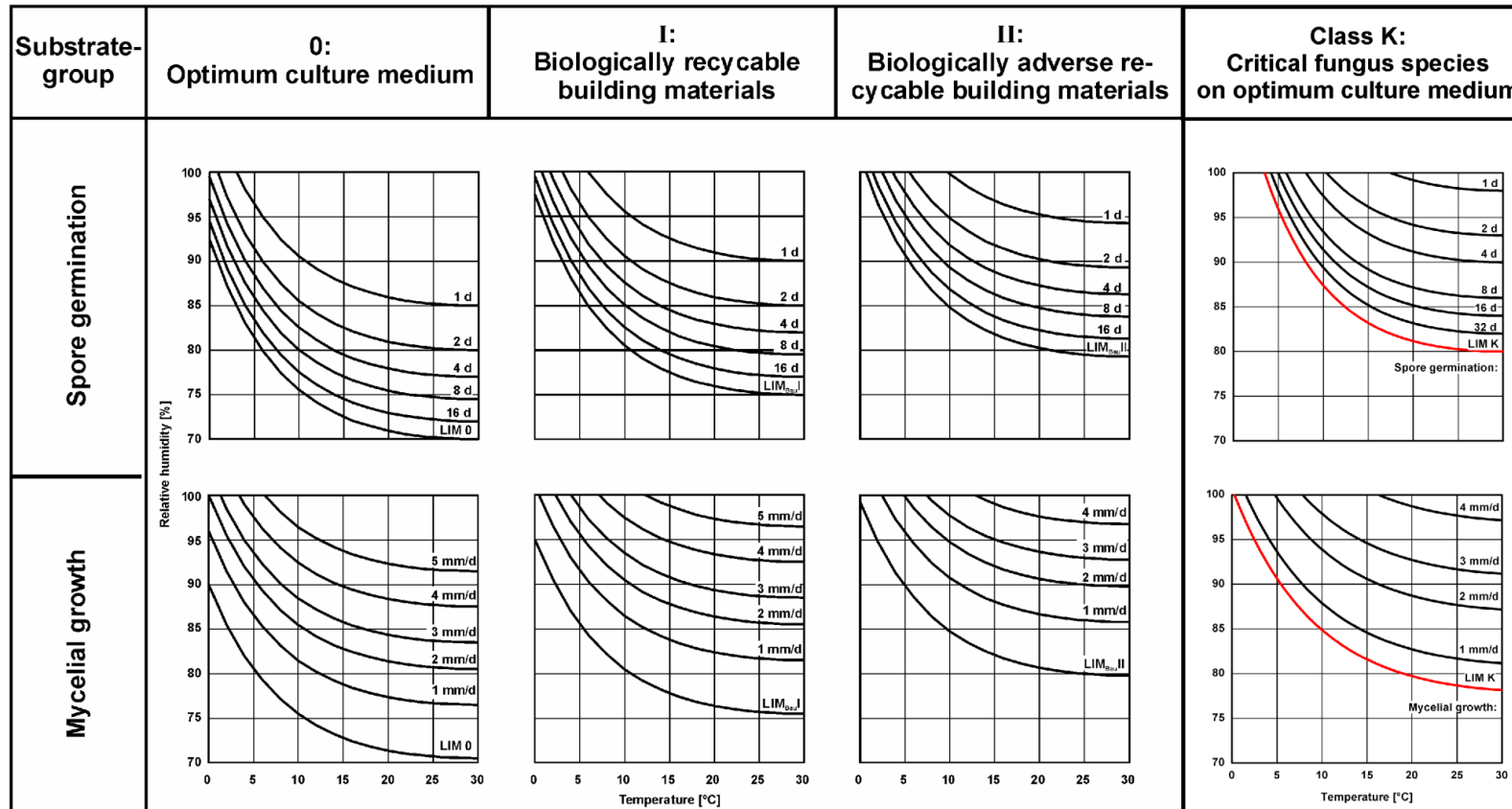


Figure 1. Isopleth systems for 3 categories of substrates, showing the influence of the substrate on the formation of mould fungus [9].
On the right, the isopleth system for the so called critical fungus species (Class K, on optimum culture medium).

Isopleth system – grenzen schimmelgroei specifieke materialen

- Isopleth stoplicht – isopleth per materiaal

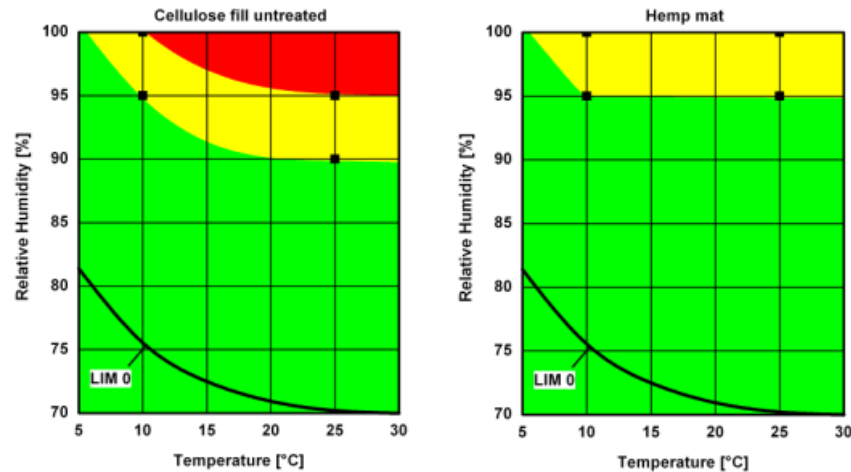


Figure 6. Two different materials, cellulose fill and hemp mat, that are very resistant against mould colonization. The second material, hemp mat, is almost reaching substrate class III. LIM 0, lowest isopleth for mould, is marked.

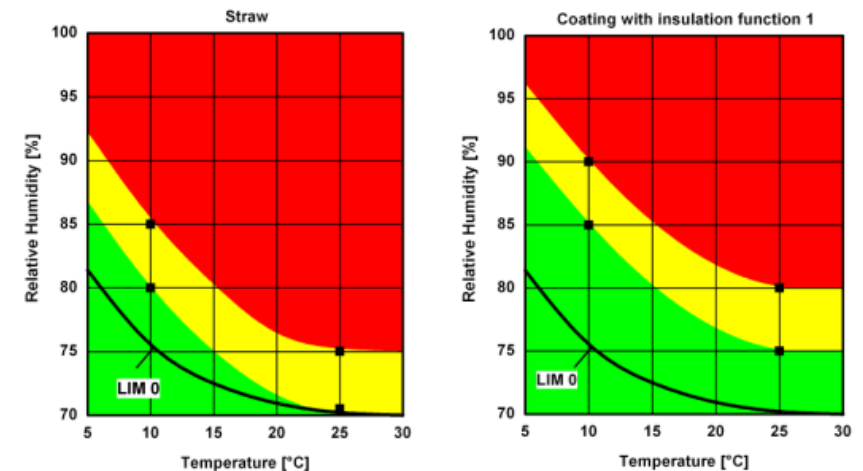
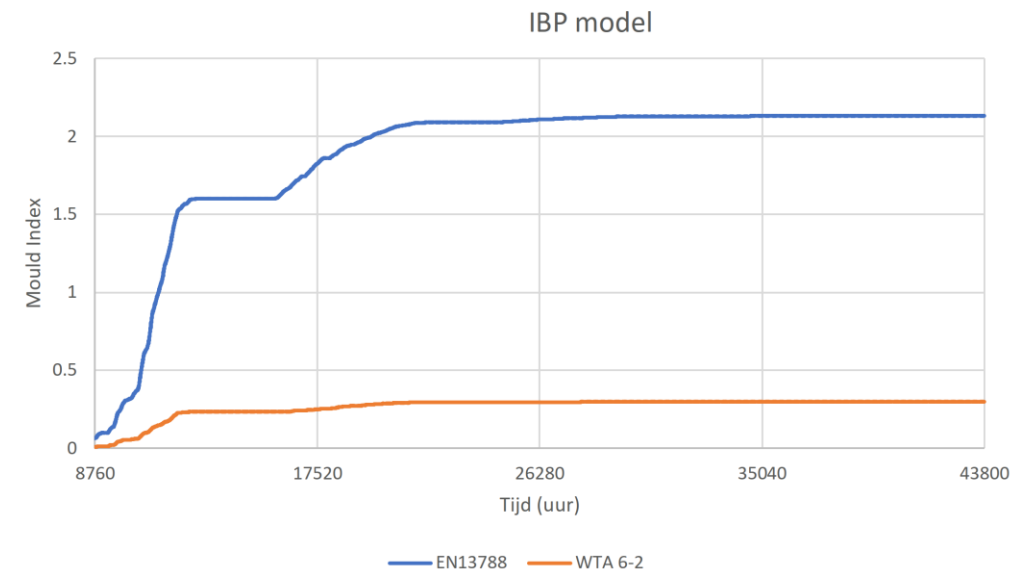


Figure 4. Isopleth systems of wheat straw and a special insulation coating. These isopleth systems represent substrate class I. LIM 0, lowest isopleth for mould, is marked.

Schimmel groei – Mould Index

Mould Index	Description of the growth rate
0	No growth
1	Small amounts of mould on surface (microscope), initial stages of local growth
2	Several local mould growth colonies on surface (microscope)
3	Visual findings of mould on surface, < 10% coverage, or, < 50% coverage of mould (microscope)
4	Visual findings of mould on surface, 10 – 50% coverage, or, > 50% coverage of mould (microscope)
5	Plenty of growth on surface, > 50% coverage (visual)
6	Heavy and tight growth, coverage about 100 %



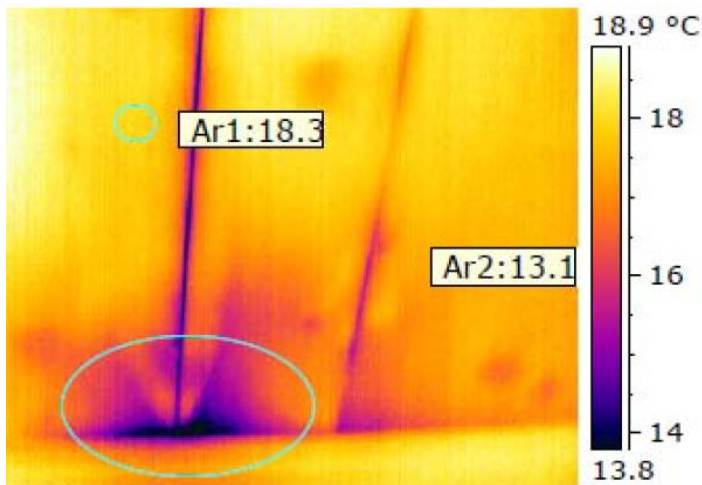
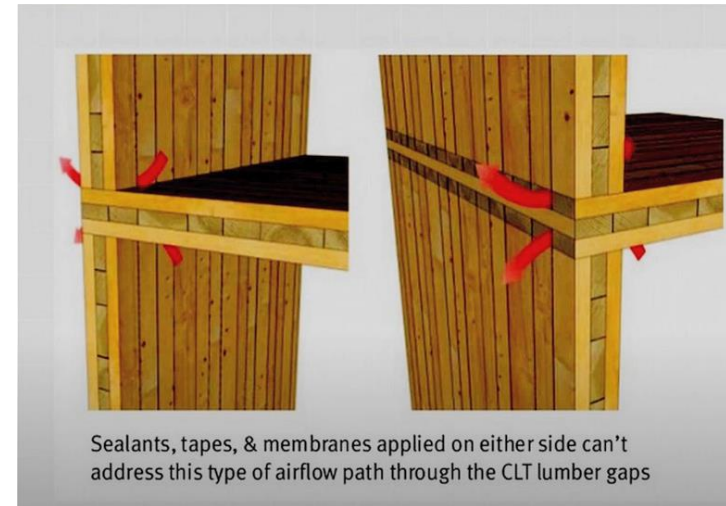
Ontwerpen van bio-based constructies

Bouwfysisch constructies “veilig” ontwerpen

- (Nog) Geen uniforme consensus of rekenmethoden en beoordelingscriteria.
- Rekenmodellen bepalen het risico op schimmelgroei, maar geeft geen werkelijk beeld van het proces.
- Berekeningen zijn meestal 1D-gericht, terwijl constructies 3D zijn opgebouwd.
- Houd rekening met vochttransport door convectie.

Ontwerpen van bio-based constructies

Luchtdichtheid van gebouwen met bio-based materialen is een belangrijk aandachtspunt



Waterbelasting tijdens de bouwperiode

- Voorkom/beperk de vochtbelasting van constructies bestaande uit bio-based materialen tijdens de bouwperiode.
- Inwerking van vocht tijdens de bouwperiode of lekkage is nooit volledig uit te sluiten:
 - wat als een dergelijke calamiteit optreedt?
 - welke maatregelen kunnen worden genomen?
 - en hoe dient droging van de constructie tot stand te komen?



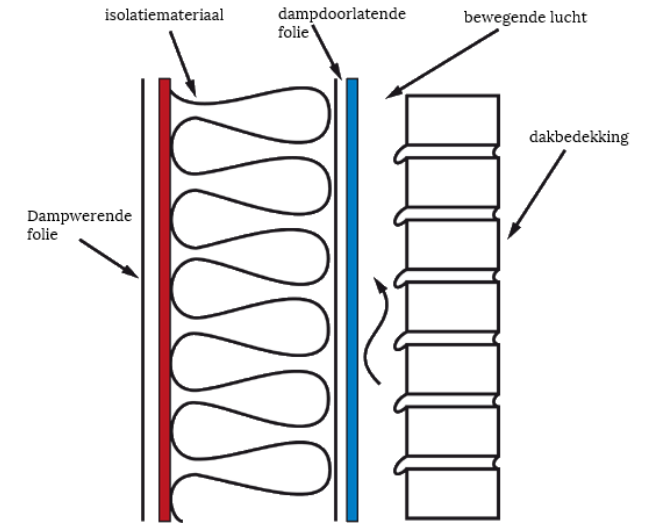
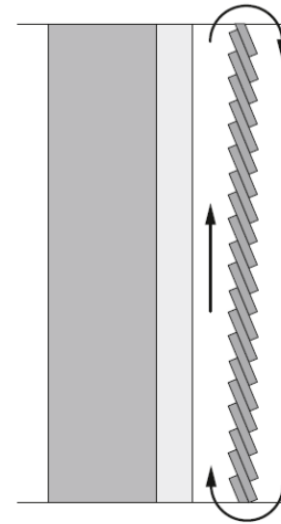
Natte ruimte en bio-based materialen

- Natte ruimtes blijven kritische plekken in een gebouw met bio-based materialen. Er is grotere kans op schimmel en rot omdat het vochtiger is.
- Ook in traditionele bouwsystemen is er nog vaak vochtschade rondom natte ruimtes.



Detaillering

- Water toetreding voorkomen
- Gevels achter buitenbeplating ventileren
- Materiaal niet inklemmen tussen 2 dampdichte folies



Aanbevelingen bouwen met bio-based materialen

1. Bio-based materialen zijn kwetsbaar en gevoelig is voor vochtinwerking en dient daarmee anders benaderd te worden dan bouwconstructies in beton of metselwerk.
2. Voorkom/beperk de vochtbelasting van constructies bestaande uit bio-based materialen tijdens de bouwperiode.
3. Inwerking van vocht tijdens de bouwperiode of lekkage is nooit volledig uit te sluiten:
 - wat als een dergelijke calamiteit optreedt?
 - welke maatregelen kunnen worden genomen?
 - en hoe dient droging van de constructie tot stand te komen?
4. Bouwfysisch constructies “veilig” ontwerpen
 - (Nog) Geen uniforme consensus of rekenmethoden en beoordelingscriteria
 - Berekeningen zijn meestal 1D-gericht, terwijl constructies 3D zijn opgebouwd.
 - Houd rekening met vochttransport door convectie.
5. Luchtdichtheid van gebouwen met bio-based materialen is een belangrijk aandachtspunt.
6. Gevels achter buitenbeplating ventileren.
7. Constructies bestaande uit bio-based materialen mogen niet ingeklemd worden tussen 2 (dampdichte) folies, 1 damprem goed dimensioneren (droging).
8. Natte ruimten zijn kritische plekken in gebouwen met bio-based materialen.
9. Het komt uiteindelijk altijd aan op de details en de detaillering.



The Natural Pavilion, Floriade Expo 2022
Project ABT/Oosterhoff met DP6
95% bio-based materialen

Literatuur

- Biobasedbouwen.nl (2022), Bio-based of circulair, retrieved on 7 June 2022, from <https://www.biobasedbouwen.nl/definitie-biobased/#:~:text=Bio%2Dbased%20materialen%20zijn%20materialen,een%20gebouw%20opnieuw%20kunnen%20groeien>.
- Cortese, A. (2020, 26 February). The embodied carbon conundrum: solving for all emission sources from the built environment. NBI new buildings institute. Retrieved on 24 May 2022, from <https://newbuildings.org/embodied-carbon-conundrum-solving-for-all-emission-sources-from-the-built-environment/>
- Jones, D. (2017). Performance of bio-based building materials. Elsevier BV.
- Lepage, R. et al, Biodeterioration Models for Building Materials: Critical review, J. Archit. Eng., 2019, 25(4)
- Mesa, A., & Arengi, A. (2019). Hygrothermal behaviour of straw bale walls: experimental tests and numerical analyses. Sustainable Buildings, 4, 3.
- NEN-EN 16575:2014
- Sandak, A., Sandak, J., Brzezicki, M., & Kutnar, A. (2019). Bio-based building skin (p. 183). Springer Nature.
- Sedlbauer, K. (2001). Prediction of mould fungus formation on the surface of and inside building components. Fraunhofer Institute for Building Physics, 75-141.
- Sedlbauer, K., Hofbauer, W., Krueger, N., Mayer, F., Breuer, K. (2011). Material specific isopleth-systems as valuable tools for the assessment of the durability of building materials against mould infestation – the “ Isopleth-traffic Light”, in: XIIth International Conference on Durability of Building Materials and Components. Oporto.
- Stanaszek-Tomal, E. (2020). Environmental factors causing the development of microorganisms on the surfaces of national cultural monuments made of mineral building materials. Coatings, 10(12), 1203.
- Van der Velde, O., & Van Leeuwen, M. (2019). Potentie biobased materialen in de bouw. NIBE Research, Circulaire Bouweconomie.
- Volf, M., Diviš, J., & Havlík, F. (2015). Thermal, moisture and biological behaviour of natural insulating materials. Energy Procedia, 78, 1599-1604.

Contactgegevens:

Paressa Loussos (ABT)

015-270 3678

P.Loussos@abt.eu

Met dank aan:

Ad van der Aa (ABT)

Ninah Hubregtse (TU Delft)

Willem van der Spoel (ABT)