

Bouwfysica tabellen en formules

Klimaatgegevens	2
Warmte en vocht	2
Tabellen geluid	9
Formules geluid	13
Verlichting	15

Zie ook de tabellaria op www.klimapedia.nl

Klimaatgegevens

Buitenklimaat

(bewerkt naar gegevens van het KNMI te De Bilt)

In tabel 1 worden voor De Bilt de maand-gemiddelden gegeven van

- temperatuur ($\bar{T}_e$)
- waterdampspanning ($\bar{P}_e$).

Tabel 1

Maandgemiddelden te De Bilt van temperatuur (KNMI 1981-2010) en indicatie gemiddelde waterdampspanning

maand	$\bar{T}_e$ (°C)	$\bar{P}_e$ (Pa)
januari	3,1	650
februari	2,3	650
maart	6,2	720
april	9,7	855
mei	13,1	1095
juni	15,6	1316
juli	17,9	1525
augustus	17,5	1575
september	14,5	1375
oktober	10,7	1095
november	6,7	860
december	3,7	715

Zie verder ook www.knmi.nl

Binnenklimaat

Voor de verschillende klimaatklassen kan worden aangegeven wat de gemiddelde waterdampspanning gedurende de wintermaanden ($\bar{p}_{iw}$) is. Tevens wordt aangegeven wat bij een temperatuur van ca. 20 °C de bijbehorende relatieve vochtigheid (φ_{iw}) is.

Deze indeling van de klimaatklassen is gebaseerd op hetgeen in publicatie nr. 51 van de Stichting Bouwresearch wordt gegeven.

- I $\bar{p}_{iw} = 700$ Pa; $\varphi_{iw} = 30\%$ (indien verwarmd):
gebouwen met te verwaarlozen vochtproductie, zoals schuurtjes, transformatorhuisjes, garages en opslagruimten;
- II $\bar{p}_{iw} = 935$ Pa; $\varphi_{iw} = 40\%$:
gebouwen met vrij geringe vochtproductie, zoals woningen, kantoren en winkels (alle zonder luchtbevochtiging);
- III $\bar{p}_{iw} = 1170$ Pa; $\varphi_{iw} = 50\%$:
gebouwen met een hogere vochtproductie, zoals scholen, bejaardentehuizen en gebouwen met geringe luchtbevochtiging;
- IV $\bar{p}_{iw} = 1400$ Pa of hoger; $\varphi_{iw} = 60\%$ of hoger:
gebouwen met hoge vochtproductie, zoals wasserijen, zwembaden, zuivelfabrieken en gebouwen met sterke luchtbevochtiging, zoals drukkerijen en textiel fabrieken.

Warmte en vocht

Globale benadering hoeveelheid inwendige condensatie in de winterperiode

$$m = \frac{100}{\sum \mu \cdot d} \text{ [g/m}^2\text{]} \text{ voor klimaatklasse I}$$

$$m = \frac{600}{\sum \mu \cdot d} \text{ [g/m}^2\text{]} \text{ voor klimaatklasse II}$$

$$m = \frac{1000}{\sum \mu \cdot d} \text{ [g/m}^2\text{]} \text{ voor klimaatklasse III}$$

Hierin is:

- m de hoeveelheid gedurende de winter condenserend vocht in g/m²
- $\sum \mu \cdot d$ de som van de $\mu \cdot d$ -waarden van het binnenoppervlak af tot aan de plaats waar de condensatie plaatsvindt

Warmteoverdracht door straling tussen twee evenwijdige vlakken

$$q_s = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 + \varepsilon_2} \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [\text{W/m}^2]$$

Hierin is:

- q_s de netto stralingsoverdracht in W/m^2
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ de emissiecoëfficiënt van oppervlak 1 respectievelijk oppervlak 2
 T_1, T_2 de temperatuur in kelvin van oppervlak 1 en 2.

Warmteafgifte door straling met de onderstaande formule

$$q_s = \varepsilon \cdot 56,7 \cdot 10^{-9} \cdot T^4 = \varepsilon \cdot q_{sz} \quad [\text{W/m}^2]$$

Hierin is:

- q_s de warmtestroomdichtheid van de afgegeven straling in W/m^2
 ε de emissiecoëfficiënt van het materiaaloppervlak
 T de absolute temperatuur in K
 q_{sz} de warmtestraling van het 'zwarte lichaam'
 $56,7 \cdot 10^{-9}$ constante van Stefan-Boltzmann

$$Q = \rho \cdot c \cdot d \cdot \Delta T \quad [\text{J/m}^2]$$

Hierin is:

- Q de hoeveelheid warmte die per m^2 in de constructielaag is geaccumuleerd
 ρ de volumieke massa (dichtheid) van het materiaal in kg/km^3
 c de soortelijke warmte in $\text{J/kg} \cdot \text{K}$
 d de dikte van de laag in m
 ΔT de temperatuurstijging die de laag heeft ondergaan in K

Tabel 2

Hygroscopisch vochtgehalte van verschillende materialen

materiaal	$\varphi = 40\%$	$\varphi = 65\%$	$\varphi = 95\%$
grindbeton	2	3	7
hout	6	10	18
baksteen enz.	—	—	—
kalkzandsteen	2	4	10
pleisterlagen	1	2	4
houtwolcement	2	3	6

Tabel 3

Emissie/absorptiecoëfficiënt voor warmtestraling bij enkele materiaaloppervlakken

materiaaloppervlak	ε
glanzend gepolijste metalen	0,02–0,07
verzinkt staal	0,20–0,30
aluminium normaal glad	0,07–0,09
aluminium geanodiseerd	0,40–0,50
aluminium lak	0,35–0,40
normale lak, iedere kleur	0,90–0,95
baksteen, beton, dakleer, hout en praktisch alle andere bouwmaterialen	0,90–0,95

Tabel 4

Uitzetting van diverse materialen

materiaal	lineaire uitzettingscoëfficiënt α ($\text{m/m} \cdot \text{K}$)
baksteen	$5 \cdot 10^{-6}$ (0,000 005)
beton	$10 \cdot 10^{-6}$
staal	$12 \cdot 10^{-6}$
aluminium	$23 \cdot 10^{-6}$
polystyreenschuim	$70 \cdot 10^{-6}$
polyurethaanschuim (gecacheerde plaat)	$27 \cdot 10^{-6}$
geschuimd glas	$9 \cdot 10^{-6}$

Tabel 5

Warmteweerstand (R_m) van enkele veel toegepaste constructie-, afwerk- en afdekkingen

laag	R_m ($\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$)
flexibele dakbedekking, al dan niet voorzien van een grindverzwaring	0,04
dakbedekking van pannen incl. de luchtlaag tussen de pannen dakbeschot	0,06
pleisterlaag tegen een binnenoppervlak	0,02

Tabel 6
Dampremmende lagen

Benaming	d (10^{-3} m)	μ (10^3 –)	$\mu \cdot d$ (m)
Geblazen bitumen	–	70–120	1
Asfalbitumenvilt 330–37	–	–	20
Gebitumineerd glasvlies	–	–	20–180
Bezand asfalbitumenvilt 500–56	2,6	–	50
Teervilt 280–40/45	–	–	14
Eénzijdig gebitumineerd papier	0,1	–	0,7
Flintkote (bitumenmengsel)	–	0,75	–
Polyesterfolie	0,1	13	1,3
Polystyreenfolie	0,1	42	4,2
Polyvinylchloridefolie	0,1	10–100	1–10
Polyetheenfolie	0,1	50–100	5–10
Asfalbitumen met aluminiumfolie inlage	–	–	100–∞
Eénzijdig met kunststof gecacheerd aluminiumfolie 0,06 mm	–	–	100
Tweezijdig met kunststof gecacheerd aluminiumfolie 0,08 mm	–	–	160

Bij de samenstelling van deze tabel werd ook gebruik gemaakt van enkele door 'Vedidak' ter beschikking gestelde gegevens.

Tabel 7 Richtwaarden voor de zonweringsgegevens, de lichttoetreding en de U -waarde voor verschillende raamsystemen

raamsystemen	g	CF	LTA	U ($W/m^2 \cdot K$)
enkelglas (6 mm), onafgeschermd	0,80	0,01	0,84	5,7
enkelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0,45	0,50	0,15	5,4
enkelglas, buitenjaloezieën	0,15	0,05	0,12	4,9
dubbelglas, onafgeschermd	0,70	0,04	0,74	3,2
dubbelglas, binnenjaloezieën (lichte kleur)	0,47	0,55	0,12	3,1
dubbelglas, binnenweefsel met opgedampde metaallaag				
– licht	0,50	0,30	0,30	3,0
– zwaar	0,30	0,50	0,05	2,9
dubbelglas, buitenjaloezieën	0,12	0,05	0,10	2,8
dubbelglas verticaal gespannen doek				
– licht	0,20	0,10	0,15	2,8
– zwaar	0,13	0,15	0,05	2,8
dubbelglas, uitvalschermd (niet aaneengesloten)	0,15	0,15	0,14	2,8
dubbelglas, markies	0,11	0,18	0,05	2,8
zonreflecterend dubbelglas				
– licht	0,45	0,02	0,65	*
– zwaar	0,25	0,05	0,35	*
zonabsorberend dubbelglas				
– licht	0,45	0,06	0,35	3,2
– zwaar	0,25	0,10	0,10	3,2
dubbelglas met spectraal selectieve coating				
en aangepaste spouwvulling (warmte-isolatie)	0,65	0,05	0,55	1,6
drievoudig glas	0,57	0,07	0,50	2,2

- Bij ruiten waarbij de reflectie wordt verkregen door een opgedampde metaallaag aan de binnenzijde van de buitenruit, wordt ook warmte-overdracht in de spouw beperkt en kan de U -waarde dalen tot 1,8 à 2,0 $W/m^2 \cdot K$ en zelfs tot 1,4 $W/m^2 \cdot K$ als ook nog een andere spouwvulling dan lucht wordt toegepast.

N.B. De in de tabel gegeven waarden moeten worden beschouwd als richtwaarden. Specifieke producten kunnen sterk afwijkende eigenschappen hebben. Verder is bij veel constructies (glasvlakken) de hoek van inval van de directe zonnestraling van invloed op de reflectie aan het buitenoppervlak. In deze tabel is uitgegaan van een invalshoek van 45° . Bij jaloezieën is de zonwering daarnaast nog sterk afhankelijk van de lamelstand. In deze tabel is uitgegaan van 45° , dus loodrecht op de zonnestraling.

Tabel 8

Maximale waterdampconcentratie en waterdampspanning in afhankelijkheid van de temperatuur

$c_{\max}$ g/m ³	Temp. °C	De verzadigde waterdampspanning p_s in N/m ²									
		,0	,1	,2	,3	,4	,5	,6	,7	,8	,9
39,56	+ 35	5627	5657	5688	5720	5752	5784	5816	5848	5880	5912
37,54	34	5323	5352	5381	5412	5443	5472	5503	5533	5564	5595
35,62	33	5033	5061	5090	5118	5146	5176	5205	5234	5264	5293
33,77	32	4757	4785	4812	4838	4866	4893	4921	4949	4977	5005
32,02	31	4496	4521	4546	4573	4598	4625	4650	4677	4704	4730
30,34	30	4245	4270	4294	4319	4344	4369	4393	4418	4443	4469
28,73	29	4007	4031	4054	4078	4102	4125	4149	4173	4197	4221
27,21	28	3782	3803	3826	3848	3871	3893	3915	3939	3962	3984
25,75	27	3567	3588	3610	3630	3651	3674	3695	3716	3738	3760
24,36	26	3363	3383	3403	3423	3443	3463	3484	3504	3530	3546
23,05	25	3169	3188	3207	3226	3246	3264	3284	3303	3323	3343
21,78	24	2985	3003	3022	3040	3058	3076	3095	3114	3132	3151
20,55	23	2811	2828	2844	2861	2879	2896	2915	2932	2949	2967
19,43	22	2645	2661	2677	2693	2710	2727	2744	2760	2778	2793
18,35	21	2488	2504	2518	2535	2549	2565	2581	2597	2613	2629
17,28	20	2340	2353	2368	2382	2397	2412	2428	2442	2457	2473
16,30	19	2198	2212	2225	2240	2253	2268	2281	2296	2310	2325
15,37	18	2065	2077	2090	2104	2117	2130	2144	2157	2170	2184
14,47	17	1938	1950	1962	1978	1988	2001	2014	2026	2034	2052
13,65	16	1818	1830	1842	1854	1866	1878	1890	1902	1914	1926
12,85	15	1706	1717	1728	1739	1750	1761	1773	1784	1796	1808
12,07	14	1599	1609	1619	1630	1641	1651	1662	1673	1684	1696
11,35	13	1498	1507	1518	1527	1538	1547	1558	1569	1578	1589
10,65	12	1403	1413	1422	1431	1441	1450	1459	1469	1478	1489
10,01	11	1313	1321	1331	1339	1349	1358	1366	1375	1385	1394
9,40	10	1229	1237	1245	1253	1262	1270	1278	1287	1295	1305
8,82	9	1148	1156	1164	1172	1179	1187	1195	1203	1212	1220
8,27	8	1072	1080	1087	1095	1103	1110	1118	1126	1132	1140
7,76	7	1002	1008	1016	1023	1030	1036	1044	1051	1059	1066
7,28	6	935	942	948	955	962	968	975	982	988	995
6,83	5	872	879	884	891	898	903	910	916	923	928
6,40	4	814	819	826	831	836	843	848	855	860	867
5,99	3	758	763	768	775	780	786	791	796	802	808
5,59	2	706	711	716	722	727	732	736	742	747	752
5,21	1	657	661	667	671	676	681	685	691	696	701
4,84	+ 0	611	615	620	624	628	633	637	643	647	652
4,84	- 0	611	605	600	596	591	587	581	576	572	567
4,48	- 1	563	557	553	548	544	539	535	531	525	521
4,14	- 2	517	513	508	504	500	496	492	488	484	480
3,82	- 3	476	472	468	464	460	456	452	448	444	440
3,53	- 4	437	433	429	425	423	419	415	412	408	404
3,26	- 5	401	397	395	391	388	384	381	377	375	371
3,01	- 6	368	365	361	359	356	352	349	347	344	340
2,77	- 7	337	335	332	329	327	323	320	317	315	312
2,55	- 8	309	307	304	301	299	296	293	291	288	285
2,34	- 9	283	281	279	276	273	271	269	267	264	261
2,15	- 10	260	257	255	252	251	248	245	244	241	240
1,98	- 11	237	235	233	231	229	227	225	223	221	219
1,82	- 12	217	215	213	211	209	207	205	204	201	200
1,67	- 13	199	196	195	193	191	189	188	185	184	183
1,53	- 14	181	179	177	176	175	173	171	169	168	167
1,41	- 15	165	164	163	160	159	157	156	155	153	152
1,29	- 16	151	149	148	147	145	144	143	141	140	139
1,18	- 17	137	136	135	133	132	131	129	128	127	125
1,08	- 18	124	124	123	121	120	119	117	116	116	115
0,99	- 19	113	112	111	111	109	108	107	105	105	104
0,90	- 20	103	101	101	100	98,7	98,7	97,4	96,0	94,7	94,7

Tabel 9

Dichtheid ρ , warmtegeleidingscoëfficiënt λ , soortelijke warmte c en dampdiffusieweerstandsgetal μ van bouwmaterialen

Materiaalsoort	ρ (kg/m ³)	λ (W/m · K) I *) II *)		c (J/kg · K)	μ –
<i>Metalen</i>					
Lood	12250	35	35	130	∞
Koper	9000	370	370	390	∞
IJzer	7900	72	72	530	∞
Staal	7800	41–52	41–52	480–530	∞
Zink	7200	110	110	390	∞
Aluminium	2800	200	200	880	∞
<i>Natuursteen</i>					
Basalt	3000	3,5	3,5	840	–
Graniet	3000	3,5	3,5		–
Kalksteen	2750	2,3	2,9		–
Hardsteen	2750	2,3	2,9		–
Marmer	2750	2,3	2,9		–
Zandsteen	2000–2300	2–4	4–6		15
Tufsteen	1100–1500	0,35–0,50	0,5–0,7		5–10
<i>Metselstenen</i>					
Gevelklinkers	2100	0,8	1,3	840	31
Hardgrauw	1700–1900	0,65–0,70	1,0–1,2		9–14
Rood/Boerengrauw	1700	0,65	1,0		9
	1500	0,55	0,85		8
	1300	0,45	0,75		7,5
Isolatiesteent	1000	0,30			–
Kalkzandsteen	2000	1,0	1,5	25	
<i>Grindbeton</i>					
Verdicht gewapend	2500	1,9	2,3	840	37–200
Verdicht ongewapend	2400	1,7	2,2		31–200
Niet verdicht gewapend	2300	1,4	1,9		27–200
Niet verdicht ongewapend	2200	1,3	1,7		23–200
<i>Lichte betonsoorten</i>					
Algemene indicatie	1900	0,95	1,4	840	13,0
	1600	0,70	1,2		8,0
	1300	0,45	0,8		7,5
	1000	0,35	0,5		6,5
	700	0,23			5,5
	500	0,17			4,5
	300	0,12			3,5
	200	0,08			2,8
Bimsbeton	700–1000	0,23–0,35		840	6
	1000–1400	0,35–0,50			6,5–12
Beton met geëxpandeerde klei e.d. als toeslag	500–1000	0,18–0,35		840	5–6,5
	1000–1800	0,35–0,85			6,5–12
Polystyreenschuimbeton	220	0,07			4,5–5,5
	400	0,11			16–20
	650	0,20			–
Cellenbeton	1300	0,50	1,2	840	7,5–9
	1000	0,35	0,7		5,5–7,5
	700	0,23			4,5–7,5
	400	0,17			3–7,5
Cellenbeton op cementbasis					
Cellenbeton op kalkbasis	400–750	0,17–0,26			3,7–6,5
Hoogovenslakkenbeton	1900	0,70	1,0	840	14
	1600	0,45	0,7		10
	1300	0,30	0,45		8
	1000	0,23	0,35		6,5
<i>Andere anorganische materialen</i>					
Asbestcement	1600–1900	0,35–0,70	0,95–1,2	840	37–150
Gipsplaten	800–1400	0,23–0,46	(–)–0,65		6
Glas (spiegelglas en vensterglas)	2500	0,8	0,8		∞
Glaskeramik	2500	1,4	1,4		–
Schuimglas	120–150	0,05–0,06			∞
Minerale toeslag voor beton	50–800	0,04–0,23			–
Minerale wol	35–250	0,041			1,1–1,8

<i>Pleisterlagen</i>						
Cementpleister	1900	0,93	1,5	}	15–41	
Kalkpleister	1600	0,70	0,8		840	9–41
Gipspleister	1300	0,52	0,8		7–10	
<i>Tegels</i>						
Hardgebakken tegels	2000	1,2	1,3	}	28	
Plavuizen	1700	0,8	1,1		840	23
<i>Organische materialen al dan niet gebonden</i> (met uitzondering van houtproducten en kunststoffen)						
Geëxpandeerde kurk	100–200	0,041–0,046		1760	4,5–29	
Geëxpandeerde geïmpregneerde kurk	100–200	0,041–0,046		1760	9–46	
Linoleum	1200	0,17		1470	1800	
Rubber	1200–1500	0,17–0,29		1470	900	
Geëxpandeerde eboniet	100	0,035		1470	450–900	
Rietvezelplaat	250–350	0,08–0,09		2100	3	
Strovezelplaat	200–400	0,08–0,12		2100	3	
Vlasschevenplaat gebonden met kunsthars	300–700	0,08–0,17		1880	7–46	
Vlasschevencementplaat	330–700	0,08–0,12		1470	3,5–7	
<i>Houtproducten</i>						
Hardhout	800	0,71 ¹⁾	0,23 ¹⁾	}	–	
Naaldhout	550	0,14 ¹⁾	0,17 ¹⁾		1880	–
Triplex-multiplex	700	0,17	0,23		–	
Hardboard	1000	0,29		1680	46–75	
Zachtboard	250–300	0,08		2100	–	
Spaanplaat	450	0,10		}	–	
	600	0,15			1880	–
	1000	0,29			–	
Houtspaan-cementplaat	{ 350–700	0,09–0,21		}	1470	
Houtwolcementplaat		0,10–0,12			3,7–10	
Houtwolmagnesietplaat	400–500				3,7–10	
<i>Harde kunststoffen</i>						
Polyesterplaat (met glasvezels versterkt)	1200	0,2	}	1470	9000	
Polyetheen	920–950					
Polymethacrylaat	1200					
Polypropeen	900					
Polyvinylchloride	1400					
ABS polymeren	1100					
<i>Kunststofschuimen</i>						
Polystyreenschuim geëxpandeerd	15–30	0,035	}	1470	23–150	
Polystyreenschuim geëxtrudeerd	30–40	0,027			150–300	
Ureumharsschuim	8–20	0,054 ²⁾			1,5–3	
Polyurethaanschuim	30–60	0,021–0,026			23–185	
Fenolharsschuim (hard)	25–200	0,035			3,7	
Polyvinylchlorideschuim	25–50	0,035			92–260	

Opmerking: wanneer twee waarden van p en λ zijn gegeven kan λ voor tussengelegen waarden van p lineair worden geïnterpoleerd.

- 1) Loodrecht op de vezels.
- 2) Bij toepassing als spouwvulling.
- 3) λ kan bij veroudering ten gevolge van het verdwijnen van de freonvulling stijgen tot 0,035 W (m.K).

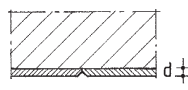
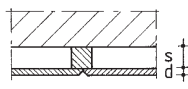
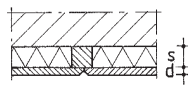
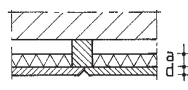
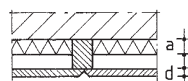
– over de μ -waarden van houtproducten is nog weinig bekend. Bovendien hangt de μ -waarde in zeer sterke mate af van het vochtgehalte.

*) Kolom I heeft betrekking op omstandigheden waarbij het vochtgehalte overwegend bepaald wordt door het binnenklimaat. Kolom II slaat op omstandigheden waarbij gemiddeld op een hoger vochtgehalte moet worden gerekend.

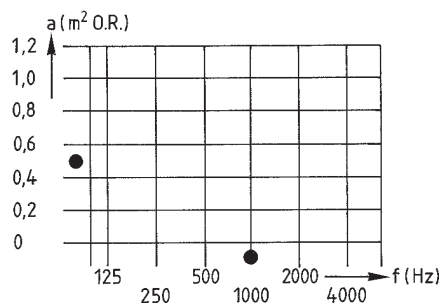
Tabellen geluid

Tabel 10

Akoestische absorptiecoëfficiënten (Uit: Bouwfysische Tabellarium, TU Delft)

	A =	materiaal direct tegen harde ondergrond
	B =	materiaal op regelwerk, luchtsponw
	C =	materiaal op regelwerk, spouw geheel gevuld met akoestisch materiaal
	D =	materiaal op regelwerk, spouw gedeeltelijk gevuld met akoestisch materiaal
	E =	materiaal op regelwerk, spouw gedeeltelijk gevuld met akoestisch materiaal

Referentie karakteristiek



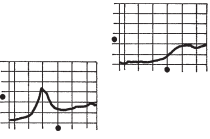
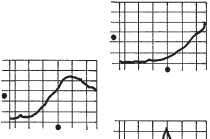
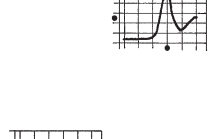
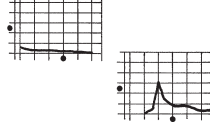
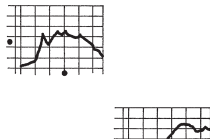
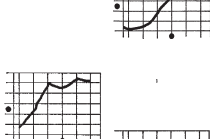
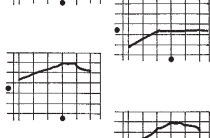
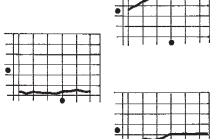
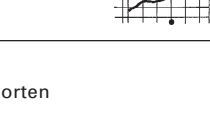
Tabel 10 (vervolg)

Nr.	Materiaal (maten in mm)	Type	Absorptiecoëfficiënten a [m² O.R.] bij de middenfrequenties						Karakteristiek
			125	250	500	1000	2000	4000	
Steenachtige materialen									
1	grindbeton, ca. 500 kg/m²		0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,04	
2	gasbeton, 70 kg/m²		0,14	0,19	0,24	0,32	0,41	–	
3	bimsbeton		0,15	0,40	0,60	0,60	0,60	0,60	
4	schoon baksteenmetselwerk		0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	
Pleisters									
5	kalkcement pleisterwerk, direct op steenachtige ondergrond	A	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	
6	akoestische pleister, in enige lagen aan te brengen	A	0,15	0,20	0,35	0,60	0,6	0,5	
7	spuitasbest	A	0,29	0,24	0,65	0,79	0,88	0,65	
Akoestische materialen									
8	zachtboard (ongeverfd), d = 19; s = 23	B	0,13	0,72	0,59	0,76	0,90	0,92	
9	halfhardboard (ongeverfd), d = 6,2; s = 50	B	0,24	0,20	0,09	0,04	0,04	0,12	
10	spaanplaat, 5,0 kg/m², d = 8; s = 30	B	0,25	0,22	0,04	0	0,03	0,08	
11	spaanplaat (lichtgewicht), 6,4 kg/m², d = 19; s = 50	B	0,16	0,58	0,75	0,53	0,54	0,42	
12	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25	A	0,15	0,23	0,23	0,51	0,73	0,75	
13	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 10	B	0,30	0,26	0,51	0,91	0,79	0,95	
14	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 30	B	0,25	0,29	0,79	0,76	0,74	0,93	
15	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 50	B	0,11	0,33	0,67	0,53	0,64	0,80	
16	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 80	B	0,23	0,55	0,64	0,57	0,81	0,80	
17	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 30	C	0,43	0,80	1,00	0,79	0,80	0,98	
18	houtwolcementplaat, akoestisch, d = 25; s = 80 a = 30	D	0,76	1,00	0,90	0,73	0,94	0,95	

Tabel 10 (vervolg)

Nr.	Materiaal (maten in mm)	Type	Absorptiecoëfficiënten <i>a</i> [m ² O.R.] bij de middenfrequenties						Karakteristiek
			125	250	500	1000	2000	4000	
19	kurkplaten, akoestisch met verlaag, <i>d</i> = 20; <i>s</i> = 25	B	0,08	0,15	0,44	0,54	0,38	0,60	
20	kunststofschuimplaat (polystyreen), <i>d</i> = 10; <i>s</i> = 4	B	0,05	0,11	0,31	0,73	0,58	0,47	
21	houtcellulose, gesaust, <i>d</i> = 22	A	0,07	0,20	0,60	1,00	1,13	1,13	
<i>Geperforeerde platen</i>									
22	gipskarton, ongeperforeerd, <i>d</i> = 9,5; <i>s</i> = 100; <i>a</i> = 30	D	0,28	0,14	0,09	0,06	0,05	0,10	
23	gipskarton, geperforeerd 6%, <i>d</i> = 9,5; <i>s</i> = 100; <i>a</i> = 30, gaatjes Ø8, Ø15, Ø20	D	0,39	0,81	0,68	0,44	0,25	0,20	
24	gipskarton, geperforeerd 19,6%, <i>d</i> = 9,5; <i>s</i> = 100; <i>a</i> = 30, gaatjes Ø15	D	0,30	0,69	1,01	0,81	0,66	0,62	
25	gipskarton met zaagsleuven, <i>d</i> = 9,5; <i>s</i> = 30; <i>a</i> = 20, sleuven 2,3	D	0,10	0,26	0,92	0,55	0,20	0,10	
26	asbestcementplaat, ongeperforeerd, <i>d</i> = 4; <i>s</i> = 50	B	0,43	0,15	0,10	0,05	0,04	0,02	
27	asbestcementplaat geperforeerd 16%, <i>d</i> = 4; <i>s</i> = 50	C	0,13	0,65	0,90	0,82	0,82	0,77	
<i>Schrootjes</i>									
28	houten latten, breed 85, tussenruimte 25 mm, <i>d</i> = 12; <i>s</i> = 200; <i>a</i> = 25	E	0,60	0,85	0,80	0,82	0,70	0,62	
29	houten latten, breed 45, tussenruimte 16 mm, minerale wol op bitumenpapier in de spouw, <i>d</i> = 25; <i>s</i> = 50; <i>a</i> = 20	E	0,19	0,36	0,73	0,50	0,25	0,31	
30	aluminium lamellen, breed 50, tussenruimte 12,5 mm, <i>d</i> = 0,3; <i>s</i> = 176; <i>a</i> = 20	D	–	0,89	1,00	0,88	0,88	0,61	
<i>Vloerbedekking</i>									
31	linoleum, gelijkmd op ondergrond	A	0,02	–	0,03	–	0,04	–	
32	parket, gelijkmd op ondergrond	A	0,04	0,04	0,06	0,12	0,10	0,15	

Tabel 10 (vervolg)

Nr.	Materiaal (maten in mm)	Type	Absorptiecoëfficiënten <i>a</i> [m ² O.R.] bij de middenfrequenties						Karakteristiek
			125	250	500	1000	2000	4000	
33	tapijt, 1,87 kg/m ² , <i>d</i> = 4,5	A	0	0,02	0,04	0,15	0,36	0,32	
34	tapijt, 1,87 kg/m ² , met onderlaag (8 mm vilt), <i>d</i> = 4,5	A	0,05	0,13	0,60	0,24	0,28	0,32	
35	tapijt, 1,98 kg/m ² , <i>d</i> = 5,3	A	0	0,03	0,05	0,11	0,31	0,58	
36	tapijt, 1,98 kg/m ² , met onderlaag (8 mm vilt), <i>d</i> = 5,3	A	0,04	0,10	0,31	0,70	0,93	0,74	
37	kokosvloerbedekking, los op ondergrond, 2 kg/m ² , <i>d</i> = 10	A	0,03	0,03	0,07	1,13	0,28	0,55	
<i>Diversen</i>									
38	glas		0,1	0,04	0,03	0,02	0,02	0,02	
39	kunststoffolie, strak gespannen, PVC 0,2 kg/m ² , <i>d</i> = 0,2; <i>s</i> = 20	B	0	0	0,64	0,19	0,12	0,04	
40	kunststoffolie, geplooid 3:1, PVC 0,2 kg/m ² , <i>d</i> = 0,2; <i>s</i> = 20	B	0	0,13	0,51	0,66	0,59	0,30	
41	gordijn, katoen, strak gespannen, <i>s</i> = 50, ca. 0,4 kg/m ²	B	0,04	0,09	0,37	0,68	0,89	0,72	
42	gordijn, katoen, geplooid 3:1 <i>s</i> = 50, ca. 0,4 kg/m ²	B	0,15	0,45	0,96	0,91	1,06	1,02	
43	één zittend persoon		0,15	0,30	0,45	0,45	0,45	0,45	
44	één persoon in ruimte met veel nagalm (bijv. kerk)		0,65	0,75	0,85	0,95	0,95	0,80	
45	publiek (incl. orkest) per m ²		0,52	0,68	0,85	0,97	0,93	0,85	
46	houten stoel (onbezet)		0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	
47	beklede stoel (onbezet)		0,15	0,30	0,30	0,40	0,40	0,40	

Opmerking: Bovenstaande tabel geeft globale waarden ontleend aan de literatuur.

Gegevens over concrete materialen en constructies kunnen worden ontleend aan meetrapporten waarover de betreffende leveranciers beschikken.

Tabel 13

Grensfrequentie voor coïncidentie bij verschillende materialen

materiaal	$f_g \cdot d$	voorbeeld		voorbeeld	
		d (mm)	f_g (Hz)	d (mm)	f_g (Hz)
aluminium	12 500	2	6 250	5	2 500
staal	12 800	1	12 800	3	4 267
glas	12 800	4	3 200	8	1 600
beton	17 300	120	144	200	87
glasbeton	38 000	80	475	200	190
kalkzandsteen	21 400	105	204	210	102
poriso	26 000	50	520	90	289
lichtbeton	32 000	80	400	200	160
gips	35 500	50	710	70	507
gipskarton	35 500	9	3 944	15	2 367
hout	25 000	12	2083	22	1 136
spaanplaat	25 000	8	3 125	18	1 389
lood	51 200	0,5	102 400	2	25 600

Tabel 14

Normwaarden luchtgeluidisolatie

octaafband met mid- denfrequentie, in Hz	125	250	500	1000	2000
normwaarde voor de genormeerde lucht- geluidisolatie (D_{nT}), in dB	34	43	50	53	54

Tabel 15

Normwaarden contactgeluidniveau

octaafband met mid- denfrequentie, in Hz	125	250	500	1000	2000
normwaarde voor het genormeerde contact- geluidniveau (L_{nT}), in dB	70	66	66	66	70

Tabel 16

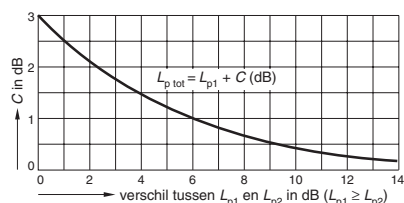
Verzwakking of versterking volgens de A-weging

frequentie in Hz	A-weging in dB
63	- 26,1
125	- 16,1
250	- 8,6
500	- 2,6
1000	0,0
2000	1,2
4000	1,0
8000	- 1,0

Tabel 17

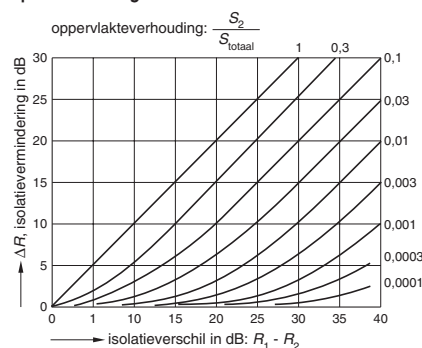
Richtwaarden voor nagalmtijd in verschillende ruimten

goed gemeubileerde kamer	$T = \text{ca. } 0,5 \text{ s}$
kantoorvertrek	$T = 0,5-0,7 \text{ s}$
kantoortuin	$T = 0,7-0,9 \text{ s}$
schoollokaal	$T = 0,6-0,8 \text{ s}$
muzieklokaal	$T = 0,8-1,2 \text{ s}$
schouwburg	$T = 0,9-1,3 \text{ s}$
kamermuziekzaal	$T = 1,2-1,5 \text{ s}$
opera	$T = 1,2-1,6 \text{ s}$
concertzaal	$T = 1,7-2,3 \text{ s}$
kerk (orgelmuziek)	$T = 1,5-2,5 \text{ s}$



Figuur 1

Optellen van geluidsdrukkniveaus



Figuur 2

Isolatievermindering van een wand ten gevolge van een gedeelte met kleinere isolatie

Tabel 14

Aanbevolen waarden voor het achtergrondgeluidniveau in werkruimten¹

Soort achtergrondgeluid	Besloten ruimten categorie			Open ruimten categorie	
	1	2	3	4	5
geluidrukniveau t.g.v. buitengeluid (industrie-, spoor- en weg-, luchtvaart- lawaai) (L_{Aeq} in dB)	< 35	< 40	< 40	< 40	< 45
installatiegeluidrukniveau ($L_{i,A}$ in dB)	< 35	< 35	< 35	< 40	< 40

Tabel 15

Aanbevolen waarden voor de geluidsisolatie tussen ruimten¹

	Besloten ruimten			Open ruimten	
	Categorie 1	Categorie 2	Categorie 3	Categorie 4	Categorie 5
Minimaal vereist luchtgeluiddruk-niveaoverschil $D_{nT,A}$ in dB					
a naar verblijfsruimten	45	52	39	nvt	nvt
b naar verkeersruimten	33	33	27	nvt	nvt
c naar verblijfsruimten via wand met deur		33	33	nvt	nvt
d naar sanitair	48	48	48	48	48
e naar overige ruimten	45	42	33	33	33
Maximum contactgeluidrukniveau $L_{nT,A}$ in dB inclusief vloerafwerking					
f naar verblijfsruimten	57	57	57	57	57
g naar verkeersruimten	67	67	67	67	67
h naar huurders- of gebruikersscheiding	48	48	48	48	48
Besloten ruimten voorbeeldsituaties					
categorie 1	hoge spraakdiscretie bijv. vergadercentrum				
categorie 2	verhoogde spraakdiscretie in kantooromgeving bijv. spreekkamers				
categorie 3	besloten werkplek/concentratieplek (1-4 personen)				
Open ruimten voorbeeldsituaties					
categorie 4	open geclusterde werkplek (4-6 personen)				
categorie 5	open overlegplek, callcenter				

Formules geluid

Geluidrukniveau

$$L_p = 10 \log \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} \quad [\text{dB}]$$

Hierin is:

- L_p het geluidrukniveau in decibel
 p_{eff} de effectieve geluidsdruk
 p_0 de referentie geluidsdruk $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Geluidintensiteit

$$I = \frac{p^2}{4 \cdot \rho \cdot c} \quad \text{voor een diffuus geluidveld}$$

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} \quad \text{voor een vlakke lopende golf}$$

Hierin is:

- I de geluidintensiteit in W/m^2 (energie)
 p de geluidsdruk in Pa
 ρ de soortelijke massa van de lucht in kg/m^3
 c de geluidssnelheid in m/s
 $\rho \cdot c$ voor gemiddelde omstandigheden, getalwaarde ongeveer 400

¹ Bron: Handboek Bouwfysische Kwaliteit Gebouwen, NVBV

Geluidvermoggenniveau

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}]$$

Hierin is:

L_w het geluidvermoggenniveau in dB

W het geluidvermogen in watt

W_0 het referentievermogen 10^{-12} W

Optellen van geluiddruk niveaus

$$L_{\text{ptotaal}} = 10 \log (10^{L_{p1}/10} + 10^{L_{p2}/10} + 10^{L_{p3}/10} \dots) [\text{dB}]$$

Hierin is:

L_{p1} het geluiddruk niveau van geluid 1

L_{p2} het geluiddruk niveau van geluid 2

L_{ptotaal} het resulterende geluiddruk niveau in decibel

Golflengte en frequentie

$$c = f \cdot \lambda \quad [\text{m/s}]$$

Hierin is:

c de voortplantingssnelheid van het geluid in m/s

f de frequentie in Hz

λ de golflengte in m.

Massa-veerresonantie in spouwconstructies

$$f_0 = 60 \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \cdot \frac{1}{b}} \quad [\text{Hz}]$$

Hierin is:

f_0 de resonantiefrequentie bij loodrecht invallend geluid

m_1 massa van het ene spouwblad in kg/m²

m_2 idem tweede spouwblad

b breedte van de spouw in m

Geluidisolatie van een constructie

$$R = L_z - L_o + 10 \log \frac{S}{A} \quad [\text{dB}]$$

Hierin is:

L_z het geluiddruk niveau in het zendvertrek in dB

L_o het geluiddruk niveau in het ontvangvertrek in dB

S het oppervlak van de wand

A de absorptie in het ontvangvertrek

Genormeerde luchtgeluidniveauverschil

$$D_{nT} = L_z - L_o + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad [\text{dB}]$$

Hierin is:

D_{nT} het genormeerde luchtgeluidniveauverschil

L_z het geluiddruk niveau in het zendvertrek in dB

L_o idem in het ontvangvertrek

T de in het ontvangvertrek gemeten nagalmtijd

T_0 de genormeerde nagalmtijd (= 0,5 s)

Karakteristiek luchtgeluidniveauverschil $D_{nT,A,k}$

$$D_{nT,A,k} = D_{nT,A,k} - 10 \log \left(\frac{0,16 V}{T_0 S_r} \right)$$

Hierin is:

$D_{nT,A,k}$ karakteristiek luchtgeluidniveauverschil in dB

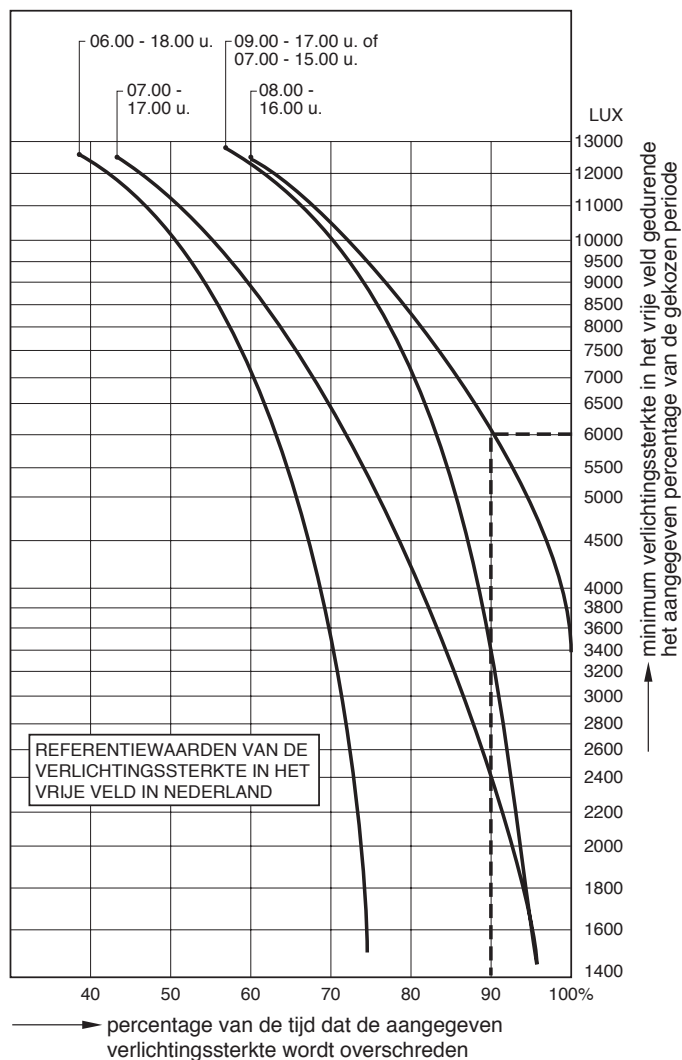
$D_{nT,A}$ gewogen lucht-geluidniveauverschil per octaafband in dB

V volume van ontvangruimte in m³

T_0 de referentienagalmtijd in s

S_r oppervlakte van de gemeenschappelijke scheidingsconstructie tussen zend- en ontvangtruimte in m²

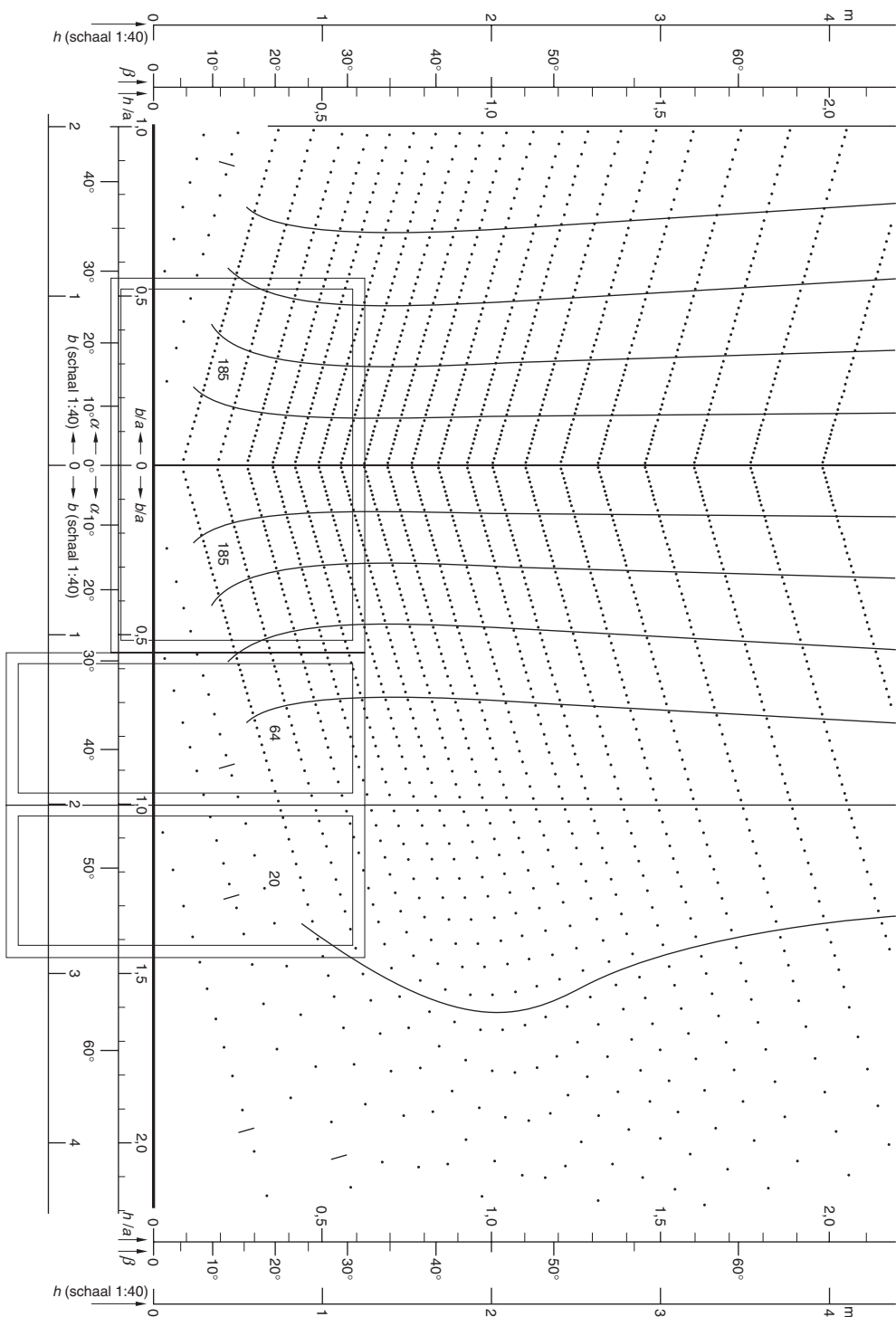
Verlichting



Figuur 3
Verlichtingssterkte in het vrije veld

Tabel 16
Interne reflectiecomponent in % bij diverse reflectiefactoren van de wandafwerking in het vertrek. Reflectiefactor plafond ca. 70%, vloeren ca. 20%.

glasoppervlak t.o.v. vloeroppervlak in %	reflectiefactor wanden			
	20%	40%	60%	80%
10	0,2	0,3	0,6	0,9
20	0,3	0,6	1,1	1,7
30	0,5	0,9	1,5	2,4
40	0,6	1,2	2,0	3,1



Figuur 4
Stipendiagram voor bepaling van hemefactor