Auxiliary material for: A general treatment of snow microstructure exemplified by an improved relation for the thermal conductivity

H. Löwe, F. Riche, M. Schneebeli
WSL Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos, Switzerland

1 Classification of snow samples

In the following we provide a detailed listing of used samples. The isothermal experiments are listed in Tab. 1. The time series of temperature gradient experiments (TGM-2, TGM17) were conducted in the μ-CT and listed in Tab. 2,3. The temperature gradient experiments (DH-1, DH-2) were carried out in a metamorphism box and listed in Tab. 4. The set of 37 individual samples (DIV) comprising various types of snow is described in Tab. 5. Besides the ice volume fraction ϕ_i (density) (conservative error estimate: ± 0.01) and the specific surface area (SSA) (conservative error estimate $\pm 10\%$) we provide a measure of "grain size": The mean thickness Sp and Th of the ice matrix and pore space, respectively have been computed by the method [2] based on the inscription of spheres. The respective errors denote the standard deviation of the thickness distribution. In addition, a grain classification has been carried out from tomography images according to [1]. For time-lapse metamorphism experiments also the time step is given.

Table 1: Properties of the snow samples of isothermal experiments **ISO-1** (upper part) and **ISO-5** (lower part). ISC: international snow classification, Time in (weeks), Th: ice thickness (mm), Sp: pore thickness (mm), ϕ_i: ice volume fraction, SSA: specific surface area (mm^{-1}).

ISC	Time	Th	Sp	ϕ_i	SSA
DF dc	0	0.07 ± 0.02	0.26 ± 0.12	0.167	43.51
RG sr	2	0.11 ± 0.03	0.33 ± 0.14	0.186	27.27
RG sr	5	0.14 ± 0.03	0.36 ± 0.13	0.198	22.71
RG sr	7	0.16 ± 0.03	0.37 ± 0.14	0.216	20.55
RG sr	10	0.18 ± 0.03	0.38 ± 0.14	0.221	19.51
RG sr	16	0.20 ± 0.04	0.40 ± 0.15	0.237	16.66
RG lr	31	0.25 ± 0.05	0.46 ± 0.19	0.249	14.04
RG lr	44	0.28 ± 0.06	0.46 ± 0.18	0.271	12.46
RG lr	47	0.29 ± 0.06	0.47 ± 0.18	0.277	14.19
DF dc	0	0.08 ± 0.03	0.26 ± 0.11	0.176	37.79
RG sr	2	0.11 ± 0.03	0.31 ± 0.12	0.185	28.76
RG sr	5	0.12 ± 0.04	0.34 ± 0.13	0.187	25.45
RG sr	7	0.13 ± 0.04	0.36 ± 0.14	0.191	23.74
RG sr	10	0.14 ± 0.04	0.39 ± 0.16	0.190	22.19
RG sr	16	0.16 ± 0.04	0.44 ± 0.20	0.193	19.97
RG sr	31	0.19 ± 0.04	0.43 ± 0.16	0.218	17.16
RG sr	44	0.21 ± 0.05	0.46 ± 0.19	0.224	16.79
RG sr	47	0.21 ± 0.05	0.46 ± 0.19	0.228	16.36

Table 2: Properties of the snow samples of **TGM-17** temperature gradient experiment. ISC: international snow classification, Time in (days), Th: ice thickness (mm), Sp: pore thickness (mm), ϕ_i: ice volume fraction, SSA: specific surface area (mm^{-1}).

ISC	Time	Th	Sp	ϕ_i	SSA
RG sr	0.0	0.13 ± 0.03	0.24 ± 0.09	0.289	21.70
RG sr	0.3	0.14 ± 0.03	0.25 ± 0.09	0.288	21.46
RG sr	0.7	0.14 ± 0.04	0.25 ± 0.10	0.287	21.05
RG sr	1.0	0.14 ± 0.04	0.25 ± 0.10	0.287	20.60
RG sr	1.3	0.15 ± 0.04	0.26 ± 0.10	0.289	20.13
RG sr	1.7	0.15 ± 0.04	0.26 ± 0.10	0.288	19.79
RG sr	2.0	0.16 ± 0.04	0.27 ± 0.10	0.292	19.18
RG xf	2.3	0.16 ± 0.05	0.27 ± 0.11	0.290	18.87
RG xf	2.7	0.16 ± 0.05	0.28 ± 0.11	0.291	18.47
FC xr	3.0	0.16 ± 0.05	0.28 ± 0.11	0.292	18.13
FC xr	3.3	0.17 ± 0.05	0.28 ± 0.11	0.292	17.83
FC xr	3.7	0.17 ± 0.05	0.29 ± 0.11	0.292	17.49
FC xr	4.0	0.17 ± 0.06	0.30 ± 0.11	0.292	17.14
FC so	4.3	0.18 ± 0.06	0.30 ± 0.12	0.292	16.77
FC so	4.7	0.18 ± 0.06	0.31 ± 0.12	0.292	16.55
FC so	5.0	0.18 ± 0.06	0.31 ± 0.12	0.293	16.20
FC so	5.3	0.18 ± 0.06	0.32 ± 0.13	0.294	15.98
FC so	5.7	0.18 ± 0.06	0.32 ± 0.13	0.294	15.77
FC so	6.0	0.19 ± 0.07	0.33 ± 0.13	0.293	15.55
FC so	6.3	0.19 ± 0.07	0.33 ± 0.13	0.294	15.39
FC so	6.7	0.19 ± 0.07	0.34 ± 0.14	0.294	15.18
FC so	7.0	0.19 ± 0.07	0.34 ± 0.14	0.294	15.08
FC so	7.3	0.19 ± 0.07	0.35 ± 0.14	0.295	14.96
FC so	7.7	0.19 ± 0.07	0.35 ± 0.14	0.293	14.99
FC so	8.0	0.19 ± 0.07	0.36 ± 0.15	0.293	14.90
FC so	8.3	0.19 ± 0.07	0.36 ± 0.15	0.293	14.85
FC so	8.7	0.19 ± 0.07	0.36 ± 0.15	0.293	14.81
FC so	9.0	0.19 ± 0.07	0.36 ± 0.15	0.293	14.76
FC so	9.3	0.19 ± 0.07	0.37 ± 0.16	0.294	14.67
DH cp	9.7	0.19 ± 0.07	0.37 ± 0.16	0.295	14.58
DH cp	10.0	0.18 ± 0.07	0.36 ± 0.16	0.295	14.86
DH cp	10.3	0.18 ± 0.07	0.37 ± 0.16	0.294	14.60
DH cp	10.7	0.19 ± 0.07	0.38 ± 0.16	0.294	14.51
DH cp	11.0	0.19 ± 0.07	0.38 ± 0.16	0.295	14.38
DH cp	11.3	0.18 ± 0.07	0.38 ± 0.16	0.293	14.53
DH cp	11.7	0.19 ± 0.07	0.38 ± 0.17	0.295	14.34
DH cp	12.0	0.19 ± 0.07	0.38 ± 0.17	0.296	14.31
DH cp	12.3	0.19 ± 0.07	0.38 ± 0.17	0.296	14.26
DH cp	12.7	0.19 ± 0.07	0.39 ± 0.17	0.295	14.19
DH cp	13.0	0.19 ± 0.07	0.39 ± 0.17	0.295	14.09
DH cp	13.3	0.19 ± 0.07	0.40 ± 0.17	0.296	13.99
DH cp	13.7	0.19 ± 0.07	0.40 ± 0.17	0.295	13.96
DH cp	14.0	0.19 ± 0.07	0.41 ± 0.18	0.296	13.78
DH cp	14.3	0.19 ± 0.07	0.41 ± 0.18	0.295	13.78
DH cp	14.7	0.19 ± 0.07	0.41 ± 0.18	0.294	13.77
DH cp	15.0	0.19 ± 0.07	0.41 ± 0.18	0.294	13.71

DH cp	15.3	0.20 ± 0.08	0.42 ± 0.18	0.294	13.62
DH cp	15.7	0.20 ± 0.08	0.42 ± 0.19	0.294	13.57
DH cp	16.0	0.20 ± 0.08	0.42 ± 0.19	0.296	13.40

Table 3: Properties of the snow samples of **TGM-2** temperature gradient experiment. ISC: international snow classification, Time in (days), Th: ice thickness (mm), Sp: pore thickness (mm), ϕ_i: ice volume fraction, SSA: specific surface area (mm^{-1}).

ISC	Time	Th	Sp	ϕ_i	SSA
DF dc	0.0	0.10 ± 0.04	0.26 ± 0.11	0.218	28.95
DF dc	0.1	0.10 ± 0.04	0.27 ± 0.12	0.219	28.66
DF dc	0.4	0.11 ± 0.04	0.27 ± 0.12	0.217	28.05
DF dc	0.6	0.11 ± 0.04	0.29 ± 0.13	0.218	27.25
RG sr	0.9	0.11 ± 0.04	0.29 ± 0.13	0.219	26.51
RG sr	1.1	0.12 ± 0.05	0.30 ± 0.13	0.220	25.70
RG sr	1.4	0.12 ± 0.05	0.31 ± 0.14	0.221	24.87
RG sr	1.4	0.12 ± 0.05	0.32 ± 0.14	0.223	24.16
RG xf	1.9	0.13 ± 0.05	0.32 ± 0.14	0.226	23.57
RG xf	2.1	0.13 ± 0.05	0.34 ± 0.15	0.225	23.00
RG xf	2.4	0.13 ± 0.06	0.34 ± 0.15	0.228	22.42
RG xf	2.6	0.14 ± 0.06	0.35 ± 0.16	0.231	21.93
FC so	2.9	0.14 ± 0.06	0.36 ± 0.16	0.230	21.62
FC so	3.1	0.14 ± 0.06	0.37 ± 0.17	0.229	21.35
FC so	3.4	0.14 ± 0.06	0.37 ± 0.17	0.231	20.92
FC so	3.6	0.15 ± 0.06	0.38 ± 0.17	0.232	20.34
FC so	3.9	0.15 ± 0.07	0.39 ± 0.17	0.233	19.89
FC so	4.7	0.15 ± 0.07	0.41 ± 0.19	0.231	19.06
DH cp	4.9	0.15 ± 0.07	0.41 ± 0.19	0.234	18.90
DH cp	5.1	0.16 ± 0.07	0.42 ± 0.19	0.235	18.60
DH cp	5.4	0.16 ± 0.07	0.43 ± 0.20	0.236	18.32
DH cp	5.6	0.16 ± 0.07	0.43 ± 0.20	0.237	18.05
DH cp	5.9	0.16 ± 0.07	0.43 ± 0.20	0.238	17.83
DH cp	6.1	0.17 ± 0.07	0.44 ± 0.20	0.241	17.47
DH cp	6.4	0.17 ± 0.07	0.45 ± 0.21	0.241	17.12
DH cp	6.6	0.17 ± 0.08	0.44 ± 0.20	0.244	16.94
DH cp	6.9	0.17 ± 0.08	0.44 ± 0.20	0.246	16.81
DH cp	7.1	0.17 ± 0.07	0.44 ± 0.20	0.248	16.61
DH cp	7.4	0.17 ± 0.08	0.45 ± 0.20	0.251	16.43
DH cp	7.6	0.18 ± 0.08	0.47 ± 0.22	0.244	16.24
DH cp	7.9	0.18 ± 0.08	0.47 ± 0.21	0.245	16.09
DH cp	8.1	0.18 ± 0.08	0.47 ± 0.22	0.246	15.97
DH cp	8.4	0.18 ± 0.09	0.48 ± 0.22	0.246	15.75
DH cp	8.6	0.18 ± 0.09	0.48 ± 0.22	0.248	15.70
DH cp	8.9	0.18 ± 0.09	0.48 ± 0.23	0.252	15.47
DH cp	9.1	0.19 ± 0.09	0.50 ± 0.24	0.254	15.24
DH cp	9.4	0.19 ± 0.09	0.50 ± 0.24	0.258	15.16
DH cp	9.6	0.19 ± 0.09	0.50 ± 0.24	0.258	15.05
DH cp	9.9	0.19 ± 0.09	0.51 ± 0.25	0.259	15.01
DH cp	10.1	0.19 ± 0.09	0.51 ± 0.25	0.255	14.75

DH cp	10.4	0.20 ± 0.09	0.53 ± 0.26	0.256	14.32
DH cp	10.6	0.20 ± 0.09	0.53 ± 0.26	0.256	14.23
DH cp	10.9	0.20 ± 0.10	0.55 ± 0.27	0.255	14.12
DH cp	11.1	0.20 ± 0.10	0.55 ± 0.28	0.256	14.07
DH cp	11.4	0.20 ± 0.10	0.56 ± 0.28	0.257	13.97
DH cp	11.6	0.20 ± 0.10	0.55 ± 0.27	0.258	13.97
DH cp	11.9	0.21 ± 0.10	0.56 ± 0.28	0.257	13.94

Table 4: Properties of the snow samples **DH-1** (Upper part) and **DH-2** (lower part). ISC: international snow classification, Time in (weeks), Th: ice thickness (mm), Sp: pore thickness (mm), ϕ_i: ice volume fraction, SSA: specific surface area (mm^{-1}).

ISC	Time	Th	Sp	ϕ_i	SSA
DF dc	0	0.14 ± 0.04	0.37 ± 0.13	0.196	22.13
RG xf	1	0.15 ± 0.05	0.34 ± 0.12	0.224	20.61
RG xf	2	0.16 ± 0.06	0.44 ± 0.17	0.190	19.57
DH cp	4	0.19 ± 0.09	0.48 ± 0.20	0.225	16.26
DH cp	6	0.25 ± 0.11	0.58 ± 0.24	0.277	11.50
DH cp	12.5	0.29 ± 0.14	0.69 ± 0.33	0.324	9.29
DF bk	0	0.15 ± 0.05	0.31 ± 0.15	0.281	19.96
RG wp	1	0.16 ± 0.05	0.27 ± 0.11	0.332	18.17
RG xf	4	0.20 ± 0.08	0.34 ± 0.15	0.360	14.08
FC so	6	0.2 ± 0.10	0.46 ± 0.22	0.332	12.23
DH cp	11.5	0.28 ± 0.15	0.51 ± 0.27	0.406	9.35

Table 5: Properties of diverse snow samples (**DIV**). ISC: international snow classification, Th: ice thickness (mm), Sp: pore thickness (mm), ϕ_i: ice volume fraction, SSA: specific surface area (mm^{-1}).

ISC	Time	Th	Sp	ϕ_i	SSA
DH cp	-	0.17 ± 0.07	0.49 ± 0.23	0.260	15.99
DH cp	-	0.16 ± 0.07	0.47 ± 0.22	0.260	16.37
DH cp	-	0.20 ± 0.10	0.62 ± 0.33	0.290	12.97
DH cp	-	0.17 ± 0.07	0.54 ± 0.32	0.310	14.05
DH cp	-	0.19 ± 0.10	0.51 ± 0.28	0.330	13.51
DH cp	-	0.23 ± 0.14	0.93 ± 0.53	0.230	12.28
DH cp	-	0.25 ± 0.13	0.78 ± 0.37	0.250	11.31
DH cp	-	0.29 ± 0.20	0.82 ± 0.44	0.280	10.51
DH cp	-	0.20 ± 1.76	0.07 ± 1.27	0.122	12.90
FC so	-	0.41 ± 0.18	0.71 ± 0.29	0.340	7.11
FC so	-	0.26 ± 0.09	0.54 ± 0.21	0.270	11.65
FC so	-	0.25 ± 0.42	0.07 ± 0.15	0.302	12.71
FC xr	-	0.18 ± 0.40	0.05 ± 0.14	0.242	17.05
MF cl	-	0.31 ± 0.12	0.63 ± 0.29	0.300	9.40
MF cl	-	0.31 ± 0.11	0.40 ± 0.17	0.410	9.62
MF cl	-	0.35 ± 0.13	0.80 ± 0.35	0.290	8.21
MF cl	-	0.21 ± 0.06	0.34 ± 0.13	0.320	14.72
MF cl	-	0.21 ± 0.06	0.31 ± 0.12	0.330	15.14

RG lr	-	0.26 ± 0.09	0.49 ± 0.20	0.290	11.89
RG sr	-	0.12 ± 0.03	0.31 ± 0.11	0.170	29.03
RG sr	-	0.13 ± 0.03	0.28 ± 0.10	0.210	26.39
RG sr	-	0.12 ± 0.03	0.33 ± 0.12	0.170	27.15
RG sr	-	0.13 ± 0.03	0.30 ± 0.11	0.200	25.50
RG sr	-	0.13 ± 0.04	0.56 ± 0.34	0.130	25.09
RG sr	-	0.12 ± 0.03	0.34 ± 0.13	0.180	26.78
RG sr	-	0.14 ± 0.04	0.36 ± 0.14	0.190	23.41
RG sr	-	0.13 ± 0.03	0.32 ± 0.12	0.210	24.90
RG sr	-	0.10 ± 0.03	0.24 ± 0.09	0.210	31.34
RG sr	-	0.13 ± 0.04	0.29 ± 0.11	0.220	24.85
RG sr	-	0.19 ± 0.41	0.07 ± 0.16	0.256	16.16
RG sr	-	0.22 ± 0.30	0.05 ± 0.13	0.363	14.47
RG sr	-	0.16 ± 0.27	0.03 ± 0.09	0.294	19.89
RG sr	-	0.34 ± 0.81	0.13 ± 0.36	0.261	8.84
RG xf	-	0.18 ± 0.38	0.04 ± 0.14	0.246	17.63
PP pp	-	0.04 ± 0.03	0.30 ± 0.14	0.113	62.35
PP pp	-	0.03 ± 0.01	0.27 ± 0.15	0.067	103.19
PP pp	-	0.03 ± 0.01	0.26 ± 0.13	0.078	90.82
RG sr	-	0.13 ± 0.04	0.30 ± 0.11	0.194	25.91
DF dc	-	0.05 ± 0.02	0.16 ± 0.04	0.085	65.12
DF dc	-	0.06 ± 0.02	0.16 ± 0.04	0.144	56.54
FC so	-	0.19 ± 0.08	0.35 ± 0.17	0.316	15.69
FC so	-	0.21 ± 0.07	0.24 ± 0.11	0.459	13.14

References

[1] Fierz, C., R. L. Armstrong, Y. Durand, P. Etchevers, E. Greene, D. M. McClung, K. Nishimura, P. K. Satyawali, and S. Sokratov, The international classification for seasonal snow on the ground, *IHP-VII Technical Documents in Hydrology, 83, IACS Contribution (1), UNESCO-IHP, Paris*, 2009.

[2] Hildebrand, T., and P. Ruegsegger, A new method for the model-independent assessment of thickness in three-dimensional images, *J. Microscopy*, *185*(1), 67–75, 1997.