

Einbau bei abgesenkten Temperaturen

Erläuterungen zur Ermittlung der

- Verringerung der Exposition
- Einsparung von Energie
- Verringerung der Kohlendioxid-Emission

Verringerung der Expositionen beim Einbau von Asphalt bei abgesenkten Temperaturen

Die folgenden Tabellen sind den Expositionsbeschreibungen

- ‚Maschinelles Verarbeiten von Gussasphalt‘,
- ‚Verarbeiten von Gussasphalt von Hand im Wohn- und Industriebau‘ und
- ‚Einbau von konventionellem Walzasphalt im Straßenbau‘

entnommen (verfügbar unter www.gisbau.de/bitumen.html, Expositionsbeschreibungen).

Auf die 95%-Werte dieser Tabellen wird bei der Berechnung der Minderung der Exposition durch den Einbau bei abgesenkten Temperaturen Bezug genommen.

Tabelle 1: Konzentrationen von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim händischen Einbau von konventionellem Gussasphalt bei Einbautemperaturen über 230°C.

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien					
Abfüllen	50	0,5	3,0	14,6	16,0
Eimertransport	17	0,1	0,6	9,0	9,0
Karrentransport	8	0,7	-	-	16,8
Glätten	13	0,9	4,2	7,6	8,1
in Räumen					
Abfüllen	59	1,3	5,3	24,1	77,0
Eimertransport	77	0,5	3,1	7,6	26,3
Karrentransport	86	0,6	5,4	32,8	66,0
Glätten	234	0,8	8,1	34,0	71,7
Abstreuen	36	0,6	5,7	27,9	36,8

Tabelle 2: Konzentration von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim händischen Einbau von viskositätsverändertem Gussasphalt mit Einbautemperaturen bis 230°C.

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien					
Abfüllen	1	-	-	-	0,3
Eimertransport					
Karrentransport	1	-	-	-	1,0
Glätten	3	0,5	-	-	1,0
Abstreuen					
in Räumen					
Abfüllen	3	0,5	-	-	8,6
Eimertransport	2	2,3	-	-	7,3
Karrentransport	1	-	-	-	3,6
Glätten	7	1,9	-	-	9,5
Abstreuen					

Tabelle 3: Konzentrationen von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim maschinellen Einbau von konventionellem Gussasphalt bei Einbautemperaturen über 230°C.

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien					
Zapfer	64	0,4	6,3	57,8	75,4
Bohlenführer	91	0,3	3,7	38,1	45,9
Nacharbeiten	52	0,1	1,3	9,7	14,0
in Räumen					
Zapfer	0	-	-	-	-
Bohlenführer	25	1,1	6,1	12,8	34,2
Nacharbeiten	16	4,0	6,4	14,7	16,1

Tabelle 4: Konzentration von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim maschinellen Einbau von viskositätsverändertem Gussasphalt bei Einbautemperaturen bis 230°C.

	Anzahl	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
im Freien					
Zapfer	43	0,3	2,4	7,7	12,0
Bohlenführer	57	0,3	2,9	9,0	11,9
Nacharbeiten	43	0,3	0,3	2,9	5,8

Tabelle 5: Konzentration von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim Einbau von konventionellem Walzasphalt

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	225	0,12	2,70	12,4	20,80
Fertigerfahrer	161	0,12	2,40	8,9	17,60
Walzenfahrer	56	0,17	0,90	2,5	3,10

Tabelle 6: Konzentration von Dämpfen und Aerosolen aus Bitumen (mg/m³) beim Einbau von Walzasphalt mit temperaturabsenkenden Zusätzen

	Messwerte	Minimalwert	50-Perzentil	95-Perzentil	Maximalwert
Kolonnenführer, Bohlenführer	77	0,18	1,00	4,1	9,40
Fertigerfahrer	45	0,25	1,00	3,1	5,00
Walzenfahrer	29	0,21	0,25	2,3	4,40

Abbildung 1 zeigt den Vergleich der 95%-Werte beim Einbau von konventionellem Walzasphalt bzw. beim Einbau von Walzasphalt bei abgesenkten Temperaturen.

Die 95%-Werte der Datenkollektive belegen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen eine Verringerung der Exposition um

- 67% für den Bohlenführer,
- 65% für den Fertigerfahrer und um
- 7% für den Walzenfahrer.

Auf den auf dieser Webseite dokumentierten Baustellen sind die entsprechenden Verringerungen abhängig von den klimatischen Verhältnissen, vor allem aber von den Erfahrungen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen. Da diese Erfahrungen zur besseren Nutzung des Einbaus bei abgesenkten Temperaturen führen werden, sind die Verringerungen der Expositionen bei den zukünftigen Baustellen vermutlich höher wie in Abbildung 1.

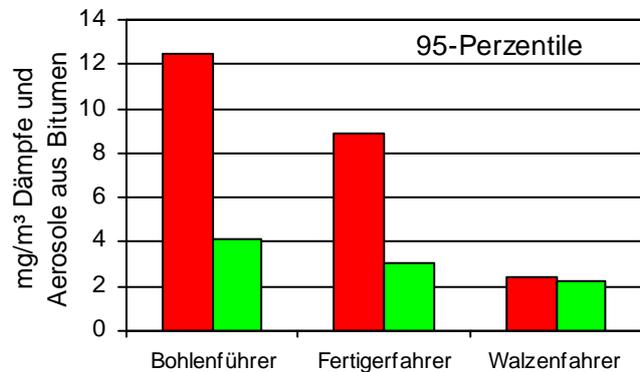


Abbildung 2 zeigt den Vergleich der 95%-Werte beim konventionellen Einbau von maschinellm Gussasphalt bzw. beim maschinellen Einbau von Gussasphalt bei abgesenkten Temperaturen im Freien.

Die 95%-Werte der Datenkollektive belegen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen eine Verringerung der Exposition um

- 87% für den Zapfer,
- 76% für den Bohlenführer und um
- 70% bei den Nacharbeiten.

Auf den auf dieser Webseite dokumentierten Baustellen sind die entsprechenden Verringerungen abhängig von den klimatischen Verhältnissen, vor allem aber von den Erfahrungen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen. Da diese Erfahrungen zur besseren Nutzung des Einbaus bei abgesenkten Temperaturen führen werden, sind die Verringerungen der Expositionen bei den zukünftigen Baustellen vermutlich höher wie in Abbildung 2.

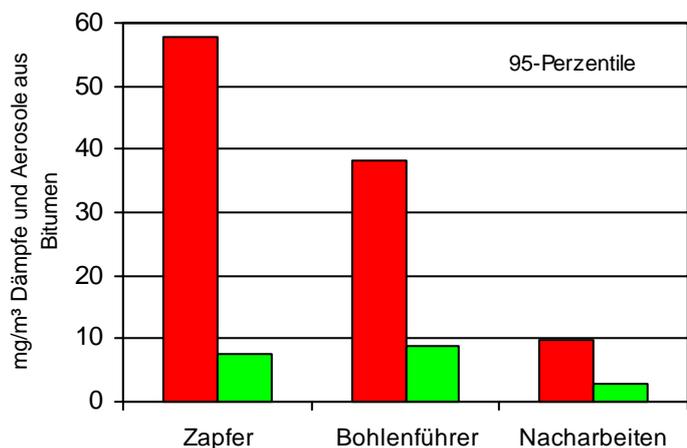
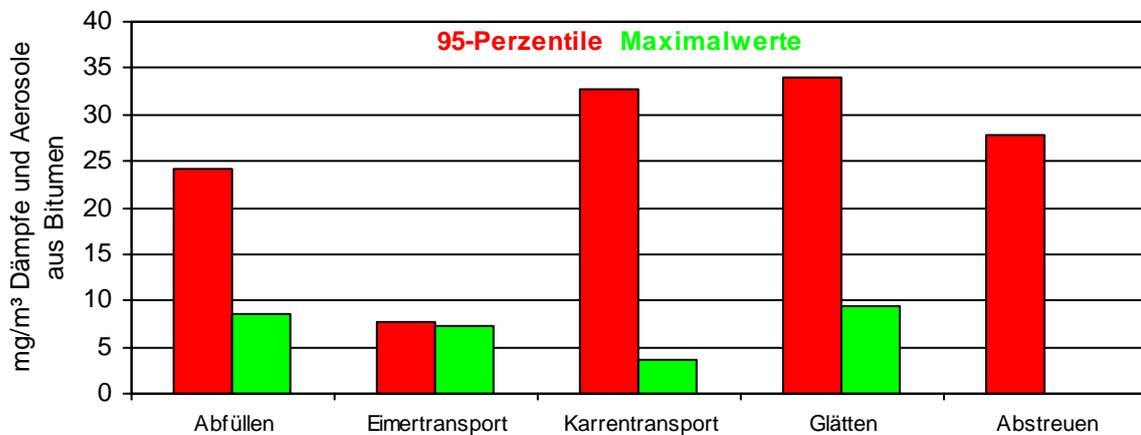


Abbildung 3 zeigt den Vergleich der 95%-Werte beim konventionellen händischen Einbau von Gussasphalt bzw. der Maximalwerte beim händischen Einbau von Gussasphalt bei abgesenkten Temperaturen in Räumen.



Für den Einbau bei abgesenkten Temperaturen liegen noch nicht ausreichend Messdaten vor, um die 95%-Werte der Datenkollektive vergleichen zu können. Daher werden die 95%-Werte des Datenkollektives beim konventionellen Einbau mit den Maximalwerten beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen verglichen.

Dieser Vergleich zeigt beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen eine Verringerung der Exposition um

- 64% beim Abfüllen,
- 4% beim Eimertransport,
- 89% beim Karrentransport und um
- 72% beim Glätten.

Für das Abstreuen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen liegen noch keine Messdaten vor.

Auf den auf dieser Webseite dokumentierten Baustellen sind die entsprechenden Verringerungen abhängig von den Umgebungsparametern und den klimatischen Verhältnissen, vor allem aber von den Erfahrungen beim Einbau bei abgesenkten Temperaturen. Da diese Erfahrungen zur besseren Nutzung des Einbaus bei abgesenkten Temperaturen führen werden, sind die Verringerungen der Expositionen bei den zukünftigen Baustellen vermutlich höher als in Abbildung 3.

Energieeinsparung durch den Asphalteinbau bei abgesenkten Temperaturen

Es gibt verschiedene Ansätze, um die Einsparung an Energie beim Einbau von Asphalt bei abgesenkten Temperaturen zu ermitteln. Der auf dieser Webseite verwendeten Berechnung wurden die folgenden Aussagen zugrunde gelegt.

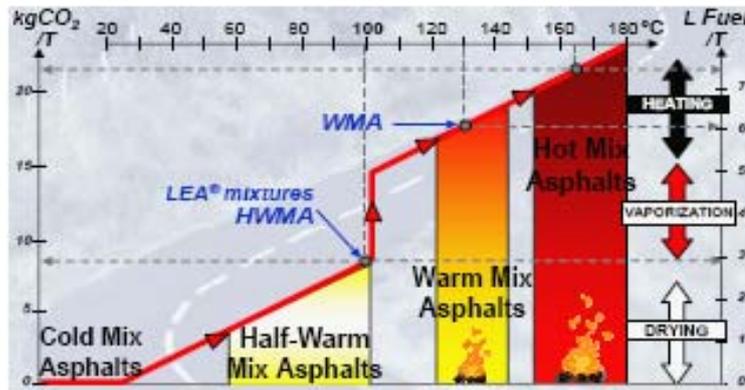
1. The typical temperature for hot asphalt mixture preparation in France is around 160°C (320°F) for a 35/50 penetration grade bitumen. Even a reduction on the process temperature to 120°C (248°F) would result into a saving of 25% of the expended energy. For a typical hot mix production plant, running at about 100 ton/h, this savings would translate into a conservation of about 130 m³ of natural gas (or about 130 kg of fuel) per hour. A reduction in temperature will also result in substantial reduction of gas emissions to the atmosphere during the production.

Emission measurements of hot asphalt and warm asphalt mixtures

	Hot Asphalt Mixture T _{mix} =160-175 °C	Warm Asphalt Mixture T _{mix} =110-120 °C
CO ₂ (mg/m ³)		-25%
CO (mg/m ³)		-30%
NO _x (mg/m ³ eq NO ₂)		-25%
Dust (mg/m ³)		-88%

(L. Grampre, J.A. Gonzales Leon, G. Barreto: Warm asphalt mixtures by chemical additivation: field tests and laboratory studies. 4. Congress Eurasphalt & Eurobitume, 21. – 23. Mai 2008, Kopenhagen).

2. CO₂-Emissionen bei 180°C 3,4 t/h, bei 125-130°C 2,1 t/h; bei einer Temperaturverringernng von 50-55°C somit 28% CO₂ weniger.
(Emission and occupational exposure at lower asphalt production and laying temperatures. M. Lecomte; F. Deygour; A. Menetti. 4. Congress Eurasphalt & Eurobitume, 21. – 23. Mai 2008, Kopenhagen)
3. In the case of the gas-fired dryer, with a temperature reduction of 30°C, the average energy consumption was 5.4m³/h for the control mix and 4.5m³/h for the energy saving mix, with measurement durations in excess of 2 hours and the same production rate of 180 t/hour. This clearly shows a reduction in gas consumption of 0.9m³/tonne, i.e. 16.5%.
(Environmentally friendly energy saving mixes. X. Carbonneau, J.P. Henrat, F. Létaudin. 4. Congress Eurasphalt & Eurobitume, 21. – 23. Mai 2008, Kopenhagen)
4. Eine Temperaturverringernng um 25°C bedeutet eine Energie- und CO₂-Reduktion um 15%.
(Firma Sasol, Baustelle bei Ljubljana (Slowenien), Oktober 2005)
5. Figure 1 illustrates the different types of asphalt mixes in relation with their coating temperature and corresponding consumed heating energy, as described in the literature:
 - Cold mix asphalt (CMA), usually manufactured at ambient temperature from asphalt emulsions or foams,
 - Half-warm mix asphalt (HWMA), produced at temperatures below water vaporization,
 - Warm mix asphalt (WMA), manufactured at approximately 130°C,
 - Hot mix asphalt (HMA), usually produced at 150-180°C in relation with the used binders.



Aus der Abbildung von Olard et al. ergibt sich für 160°C ein Energieverbrauch von 7,27 ltr/t, für 130°C 6,07 ltr/t. Für eine Temperaturabnahme von 30°C ergibt sich eine Energiedifferenz von 1,2 ltr/t (16,5%).

Bei einer ‚Normaltemperatur‘ für konventionellen Asphalt von 150 – 180°C erhält man für den Mittelwert von 165°C aus der Abbildung einen Energiebedarf von 7,43 ltr/t und eine CO₂-Emission von 21,4 kg/t.

(Low energy asphalts for sustainable road construction. F. Olard, C. Le Noan, E. Beduneau, A. Romier. 4. Congress Eurasphalt & Eurobitume, 21. – 23. Mai 2008, Kopenhagen)

6. Eine Temperaturverringerung um 30°C bringt 19,4% CO₂ weniger (Firma Ammann)
7. Die Auswertung der Messungen ergab, dass durch das Absenken der Mischtemperaturen um 30-35°C der Energiebedarf sich um 30% reduzierte. In dem vorliegenden Falle konnte dadurch der spezifische Energiebedarf um 14 kWh/t Asphalt abgesenkt werden. Geht man von einer Asphaltmischanlage aus, die im Normalbetrieb 8 l Heizöl/t Asphalt benötigt, so bedeutet die Einsparung 2,4 l/t. Hochgerechnet im Modell auf die jährliche Produktion von ca. 64 Mio. t Asphalt in Deutschland würde dadurch der Atmosphäre die gewaltige Menge von ca. 400.000 t Kohlendioxyd erspart.
(Barthel, W.: Energieeinsparung und Emissionsminderung beim Herstellen und Einbau von Heiasphalt. Tiefbau 12/2001, S. 831-833).

Zusammenfassung der dargestellten Energieeinsparung

Temperatur-reduzierung	Verringerung der Energie bzw. CO ₂	Verringerung von Energie bzw. CO ₂ pro 10°	Quelle
40,0 °C	25 %	6,2 %	Gramprecht et al.
52,5 °C	28 %	5,3 %	Lecomte et al.
30 °C	16,5%	5,5 %	Olard et al.
25 °C	15 %	6 %	Sasol
30 °C	16,5%	5,5 %	Carbonneau et al.
30 °C	19,4 %	6,5 %	Ammann
32,5 °C	30 %	9,2 %	Barthel
		Mittel 5,9 %*	

*Mittelwert ohne Berücksichtigung der beiden Extremwerte

Auf Grundlage der oben zitierten Aussagen kann eine Energieeinsparung von 5,9 % bei einer Verringerung der Mischtemperatur um 10°C hergeleitet werden.

Für die weitere Betrachtung wird angenommen:

- Es besteht eine lineare Abnahme der benötigten Energie bei einer Verringerung der Mischtemperatur und
- eine Verringerung der Einbautemperatur bedeutet auch eine entsprechende Verringerung der Mischtemperatur.

Ermittlung der „normalen“ konventionellen Einbautemperaturen

Bei der Festlegung einer normalen Einbautemperatur muss sich an Praxiswerten orientiert werden, nicht an Normtemperaturen. Die folgenden Hinweise auf praxisbezogene Einbautemperaturen von konventionellem Asphalt werden für eine Festlegung verwendet, sobald eine ausreichende Anzahl unabhängiger Beispiele vorliegt.

- Bei einer Baustelle in Slowenien (Oktober 2005) wurde konventioneller Walzasphalt bei 168°C eingebaut, temperaturabgesenkter bei 143°C.
- Die Fa. MHI baute 1997 auf der B7 bei Lenröden-Ifta konventionellen (164 – 168°C) und temperaturabgesenkten (114 – 145°C) Walzasphalt ein.
- Aus einer Abbildung von Olard et al. (2008) kann eine ‚Normaltemperatur‘ für konventionellen Asphalt von 165°C ermittelt werden.
- Shell berichtete 1999 über den Einbau von konventionellem (260°C) und temperaturabgesenkten (230°C) händischen Einbau von Gussasphalt. Hier wird auch von einer ‚nennenswerten Energieeinsparung‘ und einem ‚geringeren Materialverschleiß, speziell der Trockentrommel,‘ berichtet.

Bis zur Vorlage einer repräsentativen Anzahl von Hinweisen zur ‚normalen‘ Einbautemperatur wird sich auf die 75%-Werte der Einbautemperaturen auf den Baustellen bezogen, auf denen die Expositionen beim Einbau von konventionellem Asphalt gemessen wurden.

Walzasphalt 168°C (75%-Wert bei 413 Messungen)

	min	25%	mittel	50%	75%	95%	max
	135°C	157°C	162°C	161°C	168°C	180°C	180°C

Asphalttemperaturen bei den Expositionsmessungen beim Einbau von konventionellem Walzasphalt

Gussasphalt, händisch 260°C (75%-Wert bei 587 Messungen)

	min	25%	mittel	50%	75%	95%	max
	208°C	244°C	252°C	250°C	260°C	275°C	280°C

Einbautemperaturen bei den Expositionsmessungen bei konventionellem händischen Gussasphalt

Gussasphalt, maschinell 250°C (75%-Wert bei 290 Messungen)

	min	25%	mittel	50%	75%	95%	max
	215°C	235°C	242°C	245°C	250°C	256°C	270°C

Einbautemperaturen bei den Expositionsmessungen bei konventionellem maschinellen Gussasphalt

Ermittlung des Verbrauchs an Heizöl pro Tonne Asphalt

In den Asphaltmischanlagen werden unterschiedliche Energieträger genutzt. Um die Verständlichkeit der Angaben zu nutzen, wird auf dieser Webseite die Energieeinsparung immer in Liter Heizöl angegeben. Laut DIN 51603 entspricht 1 Liter Heizöl 0.860 kg Heizöl.

Von Barthel (8 ltr Heizöl/t Asphalt), Grampre et al. (5,2 kg Heizöl/t Asphalt = 6,0 ltr Heizöl/t Asphalt) und Olard et al. (7,4 ltr Heizöl/t Asphalt) wurden die Energiemengen abgeschätzt, die typischerweise zum Mischen von konventionellem Walzasphalt eingesetzt werden. Selbstverständlich hängt diese Energiemenge von vielen Faktoren ab (u.a. Feuchtigkeit, Ausgangstemperatur des Mischgutes). Eine Energie von 7,1 ltr Heizöl/t Asphalt als Mittelwert aus den erwähnten Arbeiten dürfte aber einen repräsentativen Wert darstellen.

Nach Auskunft der Fa. Shell gibt es Erfahrungswerte von 10 ltr/t Asphalt für die Herstellung von Gussasphalt.

Ermittlung der Verringerung der CO₂-Emission

Unter www.izu.bayern.de/download/xls/Berechnung_CO2_Emissionen_Stand_070423.xls wird erläutert, dass 1 ltr Heizöl zu 2,62 kg CO₂ führt. Unter Berücksichtigung der neben CO₂ entstehenden weiteren Klimagase (Methan, Lachgas, ...) ergeben 1 ltr Heizöl 3,12 kg CO₂-Äquivalente.

Berechnung der eingesparten Menge Heizöl und der Verringerung des CO₂-Ausstoßes

Bei einer Temperaturabsenkung von 10°C und einer damit verbundenen Energieeinsparung von 5,9 % wird

- pro Tonne Walzasphalt 0,42 ltr. Heizöl gespart und 1,31 kg CO₂ weniger emittiert und
- pro Tonne Gussasphalt 0,59 ltr. Heizöl gespart und 1,84 kg CO₂ weniger emittiert.

Damit ergibt sich für die Ermittlung der bei den Baumaßnahmen eingesparte Energie:

Händischer Gussasphalt: $((260^{\circ}\text{C} - \text{Einbautemperatur}) / 10) \times 0,59 \text{ ltr/t} = X \text{ ltr/t}$
 $X \text{ ltr/t} \times \text{eingebaute Menge in t} = \text{ltr pro Baumaßnahme}$

Maschineller Gussasphalt: $((250^{\circ}\text{C} - \text{Einbautemperatur}) / 10) \times 0,59 \text{ ltr/t} = X \text{ ltr/t}$
 $X \text{ ltr/t} \times \text{eingebaute Menge in t} = \text{ltr pro Baumaßnahme}$

Walzasphalt: $((168^{\circ}\text{C} - \text{Einbautemperatur}) / 10) \times 0,42 \text{ ltr/t} = X \text{ ltr/t}$
 $X \text{ ltr/t} \times \text{eingebaute Menge in t} = \text{ltr pro Baumaßnahme}$

Heizölverbrauch einer vierköpfigen Familie

Basis Heizkostenspiegel 2007: Ein vom Energieverbrauch durchschnittliches Gebäude mit einer beheizten Wohnfläche von 100 bis 250 m² verbraucht durchschnittlich 120 kWh Heizenergie pro m² und Jahr. Für Gebäude mit vielen Wohneinheiten ist dieser Durchschnittswert noch geringer.

1 Liter Heizöl entspricht 10 kWh.

100m² Wohnfläche x 120 kWh pro Jahr = 12000 kWh pro Jahr

12.000 kWh entsprechen 1200 Liter Heizöl pro Jahr