

# Gedanken zur Risikobewertung der TA-Bauweise

Dipl.-Ing. (FH) Thomas Behle

Hohenloher Asphalt-Mischwerke GmbH & Co. KG

Zentrallabor für Asphalttechnik · Heilbronn · [thomas.behle@ham-asphalt.de](mailto:thomas.behle@ham-asphalt.de)



## Gedanken zur Risikobewertung

1. Aufgabenstellung
2. Thermodynamisches Modell
3. Eingangswerte für die Berechnung
4. Berechnungsergebnisse
5. Zusatzrisiken und Kompensatoren
6. Zusammenfassung

## Aufgabenstellung

### These

**Risiko zur Erzielung anforderungsgerechter Schichteigenschaften wird mit dem Einsatz der TA-Bauweise größer. Gründe hierfür sind:**

- geringere Anlieferungstemperatur und damit geringere innere Energie des thermodynamischen Systems, dadurch
- schnelleres Erreichen der **Verdichtungsende-Temperatur** (Viskositätskompensation aber keine Zeitkompensation), dadurch
- Verkürzung des Verdichtungszeitfensters oder anders ausgedrückt: geringere zur Verfügung stehende Walzzeiten

### Aufgabenstellung

- Betrachtung verschiedener Einbauszenarien (Asphaltschichten, Randbedingungen)
- Ab welchen Randbedingungen wird es kritisch (Machbarkeitsgrenze)?
- Womit können Risiken womöglich kompensiert werden?

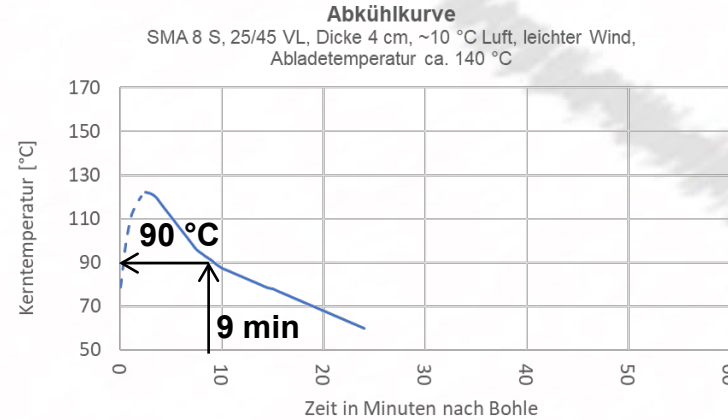
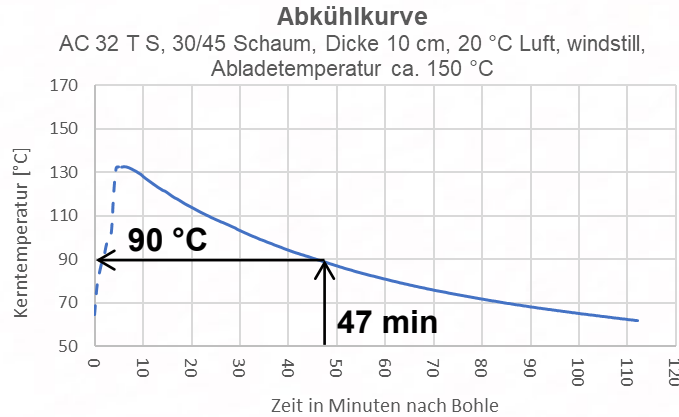
## Herangehensweise

### Vergleich des Einbaurisikos der TA-Bauweise mit der konventionellen Heißasphaltbauweise

- Betrachtung von Abkühlkurven: Vergleich reeller Messungen mit einem thermodynamischem Rechenmodell
- Festlegung der Randbedingungen und Eingangswerte für das Rechenmodell
- Berechnung der **verfügbaren Walzzeiten** für worst-case-Szenarien (thermodynamisches Rechenmodell)
- Vergleich mit den **benötigten Walzzeiten** aus den Einbauparametern der Walzverdichtung (Beispielbaustelle)

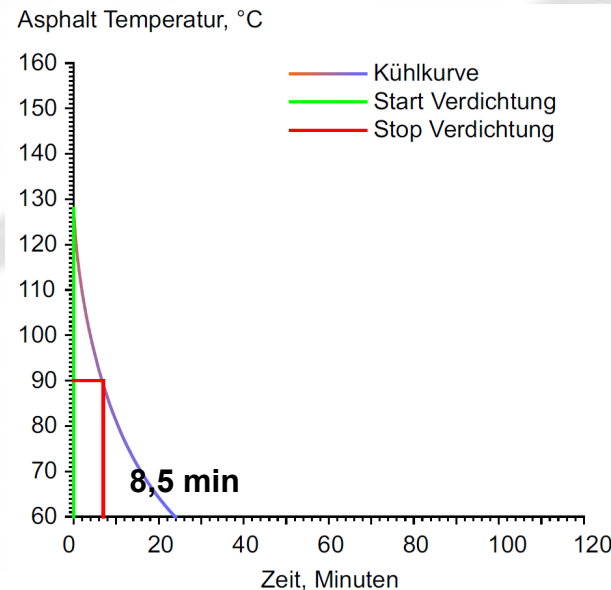
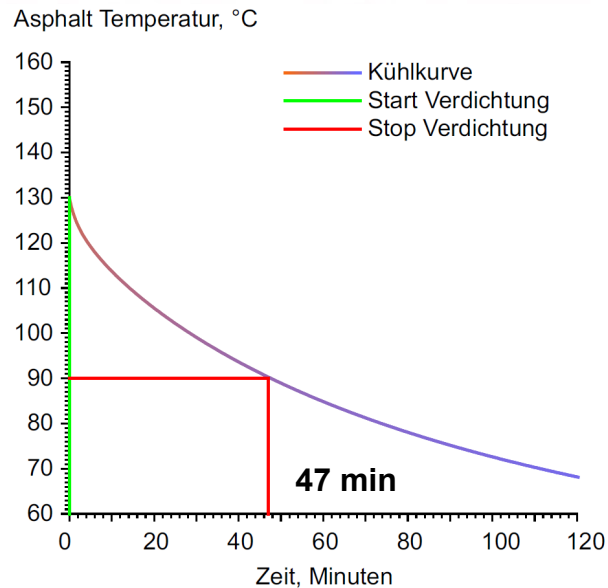
**Ziel: Sicheres Erreichen der Schichteigenschaften (Bausoll) innerhalb eines realistischen Zeitraums für die Walzzeit [min]!**

## Thermodynamisches Modell



**günstige Einbaubedingungen**

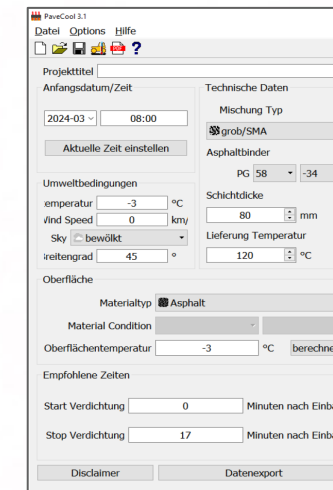
**ungünstige Einbaubedingungen**



**Tatsächliche  
Abkühlkurve  
(Kerntemperatur)**

Quelle:  
Dipl.-Ing. Sven Gohl

**Gute Übereinstimmung!**

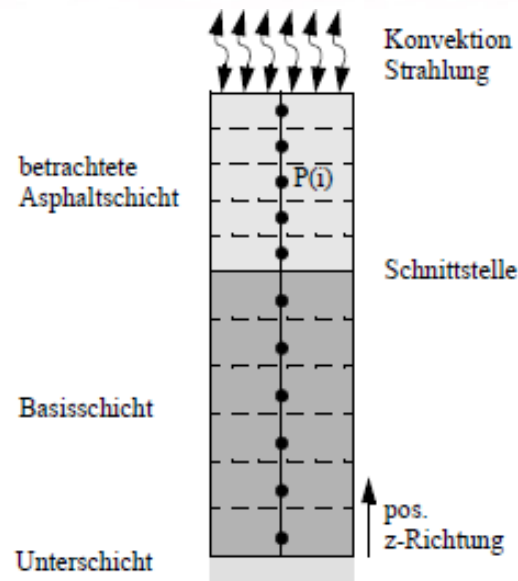


**Simulation der  
Abkühlkurve  
(Rechenmodell)**

Quelle:  
Open Source Software  
PaveCool Version 3.1,  
Universität Minnesota USA,  
2020

## Thermodynamisches Modell

$$Q_{\text{gesamt}} = Q_{\text{Konduktion}} + Q_{\text{Konvektion}} + Q_{\text{Strahlung}}$$



Quelle: Nutzung der Kerntemperaturvorhersage zur Verdichtung von Asphalt im Straßenbau; TH Karlsruhe 2003, Dissertation Dr. Ing. J. Wendebaum

## Eingangswerte für Berechnung - Einflussanalyse

| Eingangswerte               | Wert                          | maßgeblicher Formelanteil | Bedeutung |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------|-----------|
| Zeit/Ort                    | Tageszeit, Datum, Breitengrad | Strahlungsbilanz          | gering    |
| Lufttemperatur              | °C                            | Konvektion                | mittel    |
| Windgeschwindigkeit         | km/h                          | Konvektion                | groß      |
| Bedeckung                   | bedeckt, sonnig, ect.         | Strahlung                 | gering    |
| Materialart                 | grob/fein                     | Konduktion                | gering    |
| Materialviskosität          | PG-Klassifizierung            | Konduktion                | gering    |
| Schichtdicke                | mm                            | Konduktion                | groß      |
| Anlieferungstemperatur      | °C                            | Konduktion                | groß      |
| Art der Unterlage           | Asphalt                       | Konduktion                | gering    |
| Temperatur der Unterlage    | °C                            | Konduktion                | mittel    |
| Temperatur Verdichtungsende | °C                            | alle                      | mittel    |

## Eingangsdaten für Berechnung - Windgeschwindigkeit

| Beau-<br>fort-<br>Grad | Bezeichnung                            | mittlere<br>Windgeschwin-<br>digkeit in 10 m<br>Höhe über freiem<br>Gelände [m/s] | mittlere<br>Windgeschwin-<br>digkeit in 10 m<br>Höhe über freiem<br>Gelände [km/h] | Beispiele für Auswirkungen                                                                    |
|------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0                      | Windstille                             | 0 - 0,2                                                                           | < 1                                                                                | Rauch steigt senkrecht auf                                                                    |
| 1                      | leiser Zug                             | 0,3 - 1,5                                                                         | 1 - 5                                                                              | Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches                                              |
| 2                      | leichte Brise                          | 1,6 - 3,3                                                                         | 6 - 11                                                                             | Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich                                  |
| 3                      | schwache<br>Brise<br>schwacher<br>Wind | 3,4 - 5,4                                                                         | 12 - 19                                                                            | Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel                                                   |
| 4                      | mäßige Brise,<br>mäßiger Wind          | 5,5 - 7,9                                                                         | 20 - 28                                                                            | Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier                              |
| 5                      | frische Brise,<br>frischer Wind        | 8,0 - 10,7                                                                        | 29 - 38                                                                            | kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf Seen                     |
| 6                      | starker Wind                           | 10,8 - 13,8                                                                       | 39 - 49                                                                            | starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Stromleitungen pfeifen im Wind |
| 7                      | steifer Wind                           | 13,9 - 17,1                                                                       | 50 - 61                                                                            | fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich                        |
| 8                      | stürmischer<br>Wind                    | 17,2 - 20,7                                                                       | 62 - 74                                                                            | Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien                            |
| 9                      | Sturm                                  | 20,8 - 24,4                                                                       | 75 - 88                                                                            | Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)  |
| 10                     | schwerer<br>Sturm                      | 24,5 - 28,4                                                                       | 89 - 102                                                                           | Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern                                                 |
| 11                     | orkanartiger<br>Sturm                  | 28,5 - 32,6                                                                       | 103 - 117                                                                          | Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden                                                |
| 12                     | Orkan                                  | ab 32,7                                                                           | ab 118                                                                             | schwere Verwüstungen                                                                          |

Quelle: Internet [www.dwd.de](http://www.dwd.de)  
1 km/h = 0,277 m/s

Festlegung Standard-  
Randbedingungen:  
**Beaufort-Skala**

$v_0 = 0$  km/h

$v_{15} = 15$  km/h  
ca.  $v_0$  für 74076 Heilbronn

$v_{30} = 30$  km/h

$v_{45} = 45$  km/h



Windgeschwindigkeiten Oktober

Quelle: [www.meteostat.net](http://www.meteostat.net)

## Eingangsdaten für Berechnung - Anlieferungstemperatur

### Welche Temperaturen sind relevant?



#### Fall 1: Direktes Befüllen des Fertigerkübels

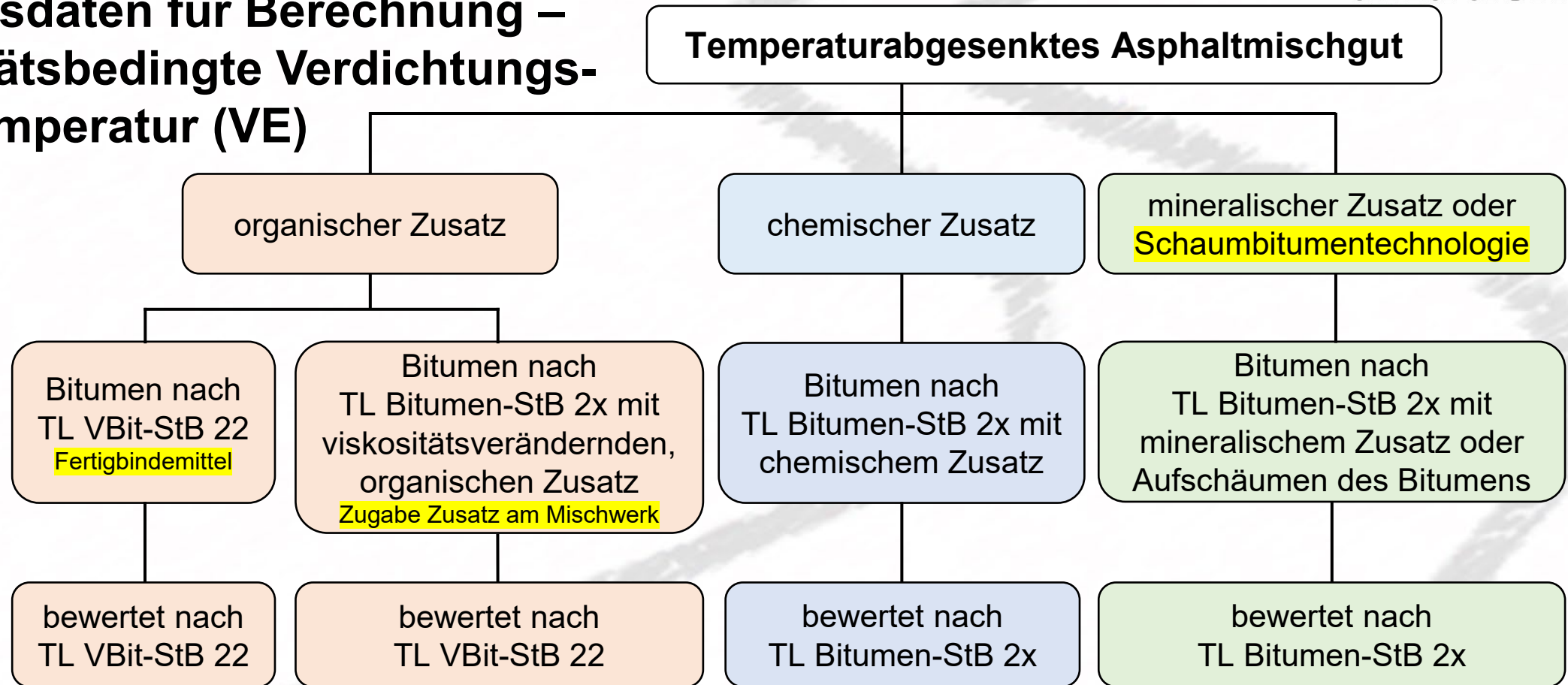
Temperatur Fertigerkübel  $\approx$  Temperatur an der Einbaubohle  
 $\rightarrow > 130^\circ \text{C}$  Temperatur an der Einbaubohle



#### Fall 2: Befüllen des Beschickerkübels

Temperatur Beschickerkübel  $\approx$  Temperatur an der Einbaubohle  
**minus ca.  $10^\circ \text{C}$**   
 $\rightarrow > 120^\circ \text{C}$  Temperatur an der Einbaubohle  
Sonderfall Kompaktasphalt!

## Eingangsdaten für Berechnung – Viskositätsbedingte Verdichtungs- ende-Temperatur (VE)



Äqui-Schermodultemperatur innerhalb der  
Sortenspanne des geforderten, resultierenden  
Bindemittels nach **TL VBit-StB 22**

Herstellung MPK bei 125 bzw. 135 °C konv.

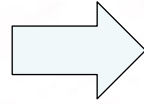
Äqui-Schermodultemperatur innerhalb der  
Sortenspanne des geforderten, resultierenden  
Bindemittels nach **TL Bitumen-StB 2x**

Herstellung MPK bei 125 bzw. 135 °C konv.

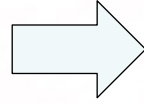
**Hier: Einheitliche Festlegung für  
alle Verfahren:  
Verdichtungsende VE bei 90 °C**

## Eingangsdaten für Berechnung - Schichtdicken

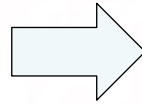
| Art/Sorte                        | Schichtdicken [cm] |             | Mindest-Lufttemperatur |
|----------------------------------|--------------------|-------------|------------------------|
|                                  | min                | max         |                        |
| AC 22/32 T S                     | 8,0                | 22,0        | -3,0                   |
| AC 22 B S                        | 8,0                | 10,5        | 0,0                    |
| SMA 22 B S                       | 8,0                | 10,5        | 0,0                    |
| AC 16 T                          | 7,0                | 10,0        | -3,0                   |
| AC 16 B S                        | 6,0                | 9,5         | 0,0                    |
| AC 16 B N                        | 6,0                | 7,0         | 0,0                    |
| AC 11 B N                        | Profilausgleich    |             | 0,0                    |
| SMA 16 B S                       | 6,0                | 9,5         | 0,0                    |
| AC 16 TD (windarme Verhältnisse) | 5,0                | 10,0        | 0,0                    |
| AC 16 D S                        | 5,0                | 6,0         | 5,0                    |
| AC 11 D S                        | 4,0                | 4,5         | 5,0                    |
| AC 11 D SP                       | 4,0                | 5,0         | 5,0                    |
| AC 8 D S                         | 3,5                | 4,0         | 5,0                    |
| AC 11 D N/L                      | 3,5                | 4,5         | 5,0                    |
| AC 8 D N/L                       | 3,0                | 4,0         | 5,0                    |
| SMA 11 D S                       | 4,0                | 4,5         | 5,0                    |
| SMA 8 D S                        | 3,5                | 4,0         | 5,0                    |
| AC 5 D L                         | 2,0                | 3,0         | 10,0 (Unterlage 5      |
| SMA 5 D S                        | 2,5                | 3,0         | 10,0 (Unterlage 5      |
| SMA 8 D LA                       | 3,0                | 4,0         | 10,0 (Unterlage 5      |
| PA 8/11/16 D                     | 4,5                | 5,5         | 10,0 (Unterlage 5      |
| PA 5/8/16/22 T WDA               | 2,0                | 15,0        | 10,0 (Unterlage 5      |
| MA 11 N/S                        | 3,5                | 4,0         | 0,0                    |
| MA 8 N/S                         | 2,5                | 3,5         | 5,0                    |
| MA 5 N/S                         | 2,0                | 3,0         | 5,0                    |
| AC 5 D DSH-V                     | 35 kg (1,5)        | 45 kg (1,9) | 10,0 (Unterlage 5      |
| AC 8/11 D S                      | 2,0                | 2,5         | 0,0                    |
| AC 22 TuB                        | 8,0                | 10,0        |                        |
| AC 16 AuB                        | 4,5                | 10,0        |                        |
| AC 22 ZuB                        | 4,0                |             |                        |



**AC 32 T S; 8 cm, -3°C Lufttemperatur; Unterlage -3°C; 90 °C Verdichtungsende**



**AC 16 B S; 6 cm; 0°C Lufttemperatur; Unterlage 0°C; 90 °C Verdichtungsende**

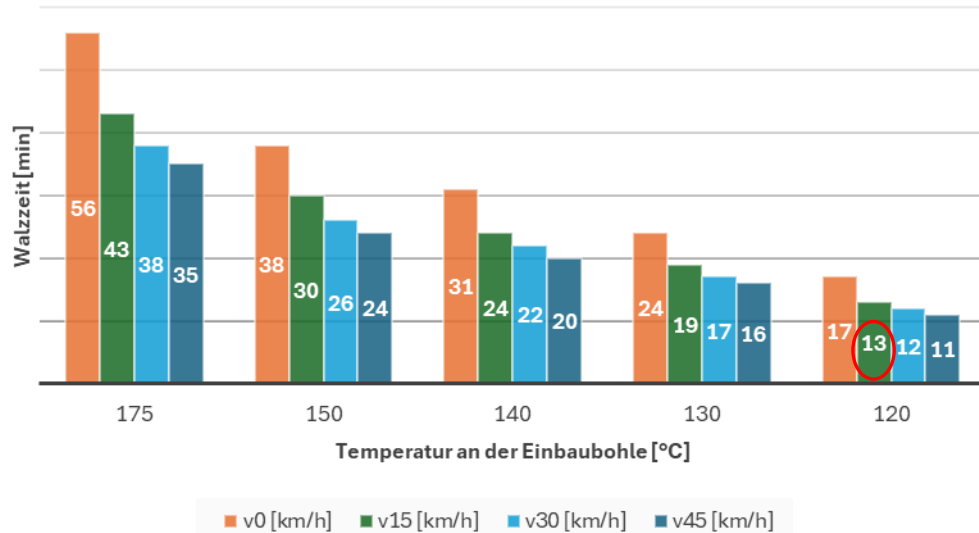


**AC 8 D N; 3 cm; 10°C Lufttemperatur; Unterlage 5°C; 90 °C Verdichtungsende**

Quelle: Entwurf ZTV Asphalt-StB 2x, Tabelle 5: Mindest-Lufttemperaturen beim Einbau;  
Tabellen Schichteigenschaften

## Berechnungsergebnisse

AC 32 T S; 8 cm; -3 °C LT; -3 °C Unterlage; 90 °C VE



| T <sub>Bohle</sub> [°C] | v <sub>0</sub> [km/h] | v <sub>15</sub> [km/h] | v <sub>30</sub> [km/h] | v <sub>45</sub> [km/h] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 175                     | 56                    | 43                     | 38                     | 35                     |
| 150                     | 38                    | 30                     | 26                     | 24                     |
| 140                     | 31                    | 24                     | 22                     | 20                     |
| 130                     | 24                    | 19                     | 17                     | 16                     |
| 120                     | 17                    | 13                     | 12                     | 11                     |

ZTV Asphalt-StB 2x: 130 – 150 °C (max. 155 °C)

### Beispiel für die erforderliche Walzzeit nach H VAE

- Einbaubreite 6,50 m ( $N' = 5$  m), 2 Walzen
- 65 m/min (4,0 km/h)
- 8 Walzübergänge
- 50 m Walzbahnlänge

$$t_{eff} = \frac{L \cdot n \cdot N'}{v_w} = \frac{50 \text{ m} \cdot 8 \cdot 5}{65 \text{ m/min}} = 30,8 \text{ min}$$

|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| $t_{eff}$ | = Walzzeit für eine Walzbahn   |
| $L$       | = Walzbahnlänge [m]            |
| $n$       | = Walzübergänge (Summe)        |
| $N'$      | = Anzahl paralleler Walzbahnen |
| $v_w$     | = Walzgeschwindigkeit [m/min]  |

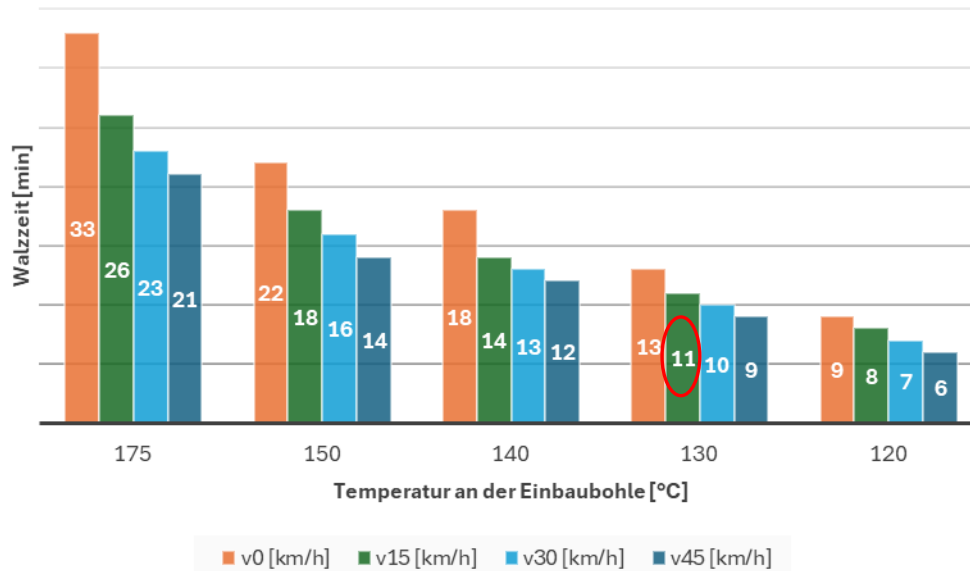
2 Walzen parallel → 15,4 min je Walze:  
Bei mind. 130 °C an der Bohle machbar.



**Beschickereinsatz?**

## Berechnungsergebnisse

AC 16 B S; 6 cm; 0 °C LT; 0 °C Unterlage; 90 °C VE



| T <sub>Bohle</sub> [°C] | v <sub>0</sub> [km/h] | v <sub>15</sub> [km/h] | v <sub>30</sub> [km/h] | v <sub>45</sub> [km/h] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 175                     | 33                    | 26                     | 23                     | 21                     |
| 150                     | 22                    | 18                     | 16                     | 14                     |
| 140                     | 18                    | 14                     | 13                     | 12                     |
| 130                     | 13                    | 11                     | 10                     | 9                      |
| 120                     | 9                     | 8                      | 7                      | 6                      |

ZTV Asphalt-StB 2x: 130 – 150 °C (max. 155 °C)

### Beispiel für die erforderliche Walzzeit nach H VAE

- Einbaubreite 6,50 m ( $N' = 5$  m), 2 Walzen
- 65 m/min (4,0 km/h)
- 6 Walzübergänge
- 50 m Walzbahnlänge

$$t_{eff} = \frac{L \cdot n \cdot N'}{v_w} = \frac{50 \text{ m} \cdot 6 \cdot 5}{65 \text{ m/min}} = 23,1 \text{ min}$$

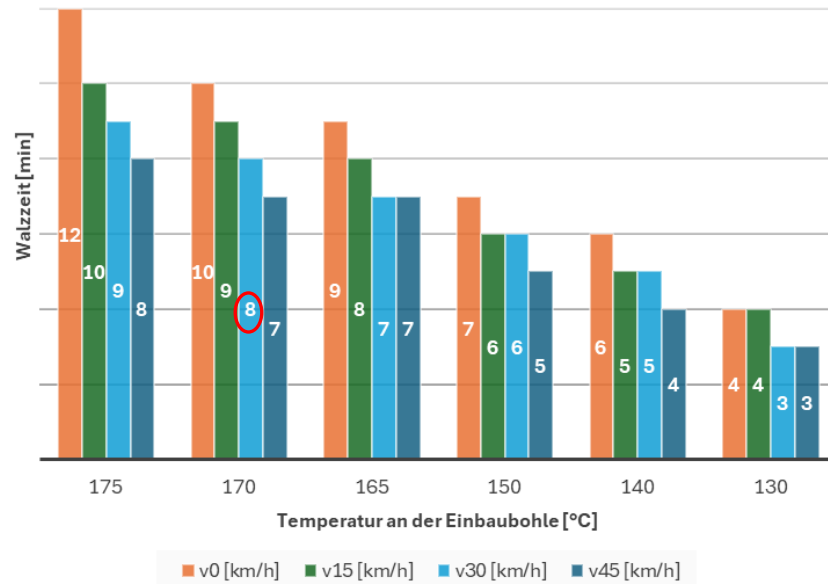
|           |                                |
|-----------|--------------------------------|
| $t_{eff}$ | = Walzzeit für eine Walzbahn   |
| $L$       | = Walzbahnlänge [m]            |
| $n$       | = Walzübergänge (Summe)        |
| $N'$      | = Anzahl paralleler Walzbahnen |
| $v_w$     | = Walzgeschwindigkeit [m/min]  |

2 Walzen parallel → 11,6 min je Walze

**Einschränkungen zu erwarten!**

## Berechnungsergebnisse

AC 8 D N; 3 cm, 10 °C LT; 5 °C Unterlage; 90 °C VE



| T <sub>Bohle</sub> [°C] | v <sub>0</sub> [km/h] | v <sub>15</sub> [km/h] | v <sub>30</sub> [km/h] | v <sub>45</sub> [km/h] |
|-------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 175                     | 12                    | 10                     | 9                      | 8                      |
| 170                     | 10                    | 9                      | 8                      | 7                      |
| 165                     | 9                     | 8                      | 7                      | 7                      |
| 150                     | 7                     | 6                      | 6                      | 5                      |
| 140                     | 6                     | 5                      | 5                      | 4                      |
| 130                     | 4                     | 4                      | 3                      | 3                      |

ZTV Asphalt-StB 2x: < 3 cm 140 - 165 °C (max. 170 °C)  
 ≥ 3 cm 140 - 155 °C (max. 160 °C)

### Beispiel für die erforderliche Walzzeit nach H VAE

- Einbaubreite 6,50 m (N' = 5 m), 2 Walzen
- 65 m/min (4,0 km/h)
- 4 Walzübergänge
- 50 m Walzbahnlänge

$$t_{eff} = \frac{L \cdot n \cdot N'}{v_w} = \frac{50 \text{ m} \cdot 4 \cdot 5}{65 \text{ m/min}} = 15,4 \text{ min}$$

$t_{eff}$  = Walzzeit für eine Walzbahn  
 $L$  = Walzbahnlänge [m]  
 $n$  = Walzübergänge (Summe)  
 $N'$  = Anzahl paralleler Walzbahnen  
 $v_w$  = Walzgeschwindigkeit [m/min]

2 Walzen parallel → 7,7 min je Walze

**Einschränkungen zu erwarten!**

## Zusatzrisiken

- Mischanlage hat morgens Temperatur nicht „von oben angefahren“
- spontane Verschlechterung der Einbaubedingungen
- Stillstand wegen Mischwerks- oder Maschinenschaden
- Wasser aus nicht gebrochener Bitumenemulsion
- kaltes Abstumpfungsmaterial
- Raureif oder Wasser auf Unterlage (Ansatz:  $d=30\text{ mm}$ ,  $T=130\text{ °C} \rightarrow 12.480\text{ kJ/m}^2$ )
  - 1 mm Wasserfilm,  $1\text{ kg/m}^2$ : ca. 21 % Verlust an innerer Energie ( $2.676\text{ kJ/m}^2$ )
  - 1 mm Raureif,  $1\text{ kg/m}^2$ : ca. 24 % Verlust an innerer Energie ( $3.010\text{ kJ/m}^2$ )

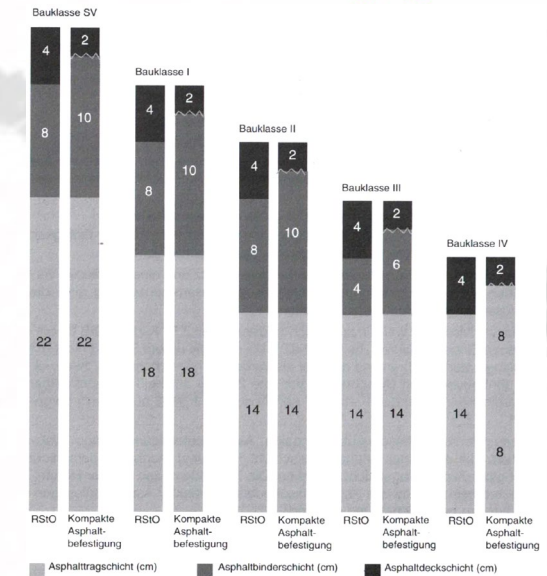
## Mögliche Folgeerscheinungen

- Anschmelzen und Verkleben für Schichtenverbund eingeschränkt
- Herstellung der Heiß-Naht erschwert
- kürzere Walzbahnen verschlechtern Ebenheit (Zunahme Reversierpunkte)

## Kompensatoren

### Planungs- und Ausschreibungsphase

- dickere Schichten (innerhalb der zulässigen Bandbereiten) ausschreiben
- Abstumpfungsmaterial bituminieren und/oder erhitzen lassen
- Baustellenablauf auf ca. 20 % geringere Mischleistungen einstellen (z. B. durch verlängerte Nachmischzeiten)
- Einsatz von Kompaktasphalt vorsehen
- *Schulung des Personals*



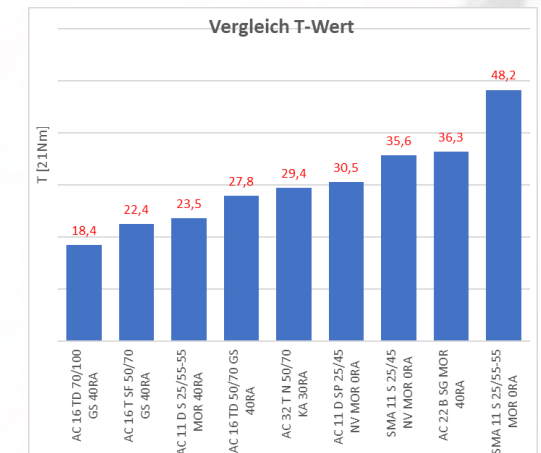
Kompaktasphalt vs. konventionelle Bauweise  
Quelle: FGSV-Verlag, Köln



## Kompensatoren

### Mischanlage

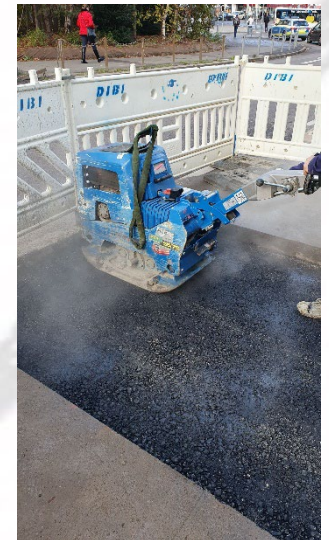
- enge Abstimmung zwischen Mischanlage und Baustelle, Temperaturmessungen mit Rückkoppelung zur Mischanlage
- Zieltemperaturen morgens von „oben anfahren“
- Untermodifizierung vermeiden
- Ausnutzen der max. zulässigen Produktionstemperaturen von 150, 155 oder 165 °C sowie des Vorhaltemaßes von +5 °C auf diese Werte
- über Änderung der Zusammensetzung nachdenken (Steuerung über T-Wert; besser aber aufwendiger: Gyrator), da wo es die Gebrauchseigenschaften zulassen
- *Schulung des Personals*



## Kompensatoren

### Baustelle

- Einsatz FDVK-A in Kombination mit Dichtesonde
- Wärmeinhalt der Unterlage nutzen (rechnerisch: bis zu 6 Minuten Zugewinn bei Walzzeit)
- Kleinabholer nur thermoisolierte Transportmulden oder Aufsatzkipper einsetzen
- Arbeitsvorbereitung vor allem beim Handeinbau: sofortige Verteilung/Verdichtung nach Entnahme aus Thermobehälter
- kommunaler Straßenbau: Prozesse überdenken
- Nutzung von Programmen wie PaveCool zur Prozesssimulation
- *Schulung des Personals*



## Zusammenfassung

- Wirkmechanismen der TA-Verfahren kompensieren abgesenkte Temperaturen (gleiche Verdichtungsarbeit bei abgesenkten Temperaturen)
- geringere innere „Asphaltschicht-Energie“ führt aber unweigerlich zu kürzeren verfügbaren Walzzeiten
- Gegenüberstellung von verfügbarer und benötigter Walzzeit erforderlich

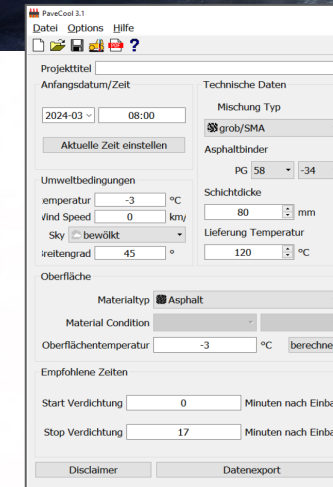
**Die theoretischen Berechnungen zeigen Grenzen auf, die der Auftragnehmer für sich objektbezogen bewerten muss.**

Wünschenswert hierzu ist:

Einbindung des Abkühlmodells in BPO-/Walzprogramme, um auf der Baustelle spontan auf Veränderungen reagieren zu können, bezüglich:

- Walzbahnlängen, Walzgeschwindigkeit (Anzahl Walzen/Linienlast vorab festzulegen)
- Fertigergeschwindigkeit oder
- der Frage, wann eine Bauunterbrechung (Ausheben der Bohle) sinnvoll ist.

## Vielen Dank für Ihr Interesse!



**Simulation der  
Abkühlkurve  
(Rechenmodell)**

Quelle:  
Open Source Software  
PaveCool Version 3.1,  
Universität Minnesota USA,  
2020

**Dipl.-Ing. (FH) Thomas Behle**

Hohenloher Asphalt-Mischwerke GmbH & Co. KG

Zentrallabor für Asphalttechnik · Heilbronn · [thomas.behle@ham-asphalt.de](mailto:thomas.behle@ham-asphalt.de)