

KlnaStra – KI für den nachhaltigen Straßenbau

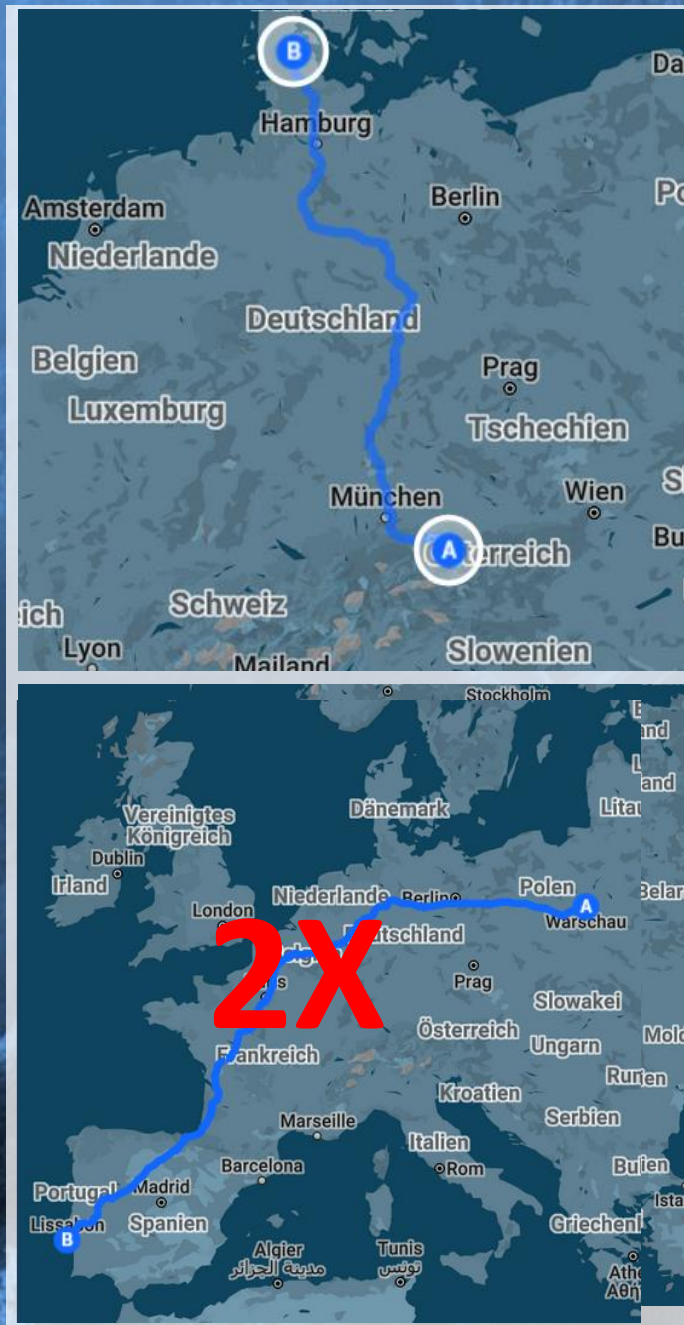
Dr. Marcus Müller
Smart Site Solutions GmbH

STAND H35

H33		H37	
ASM Dimatec		Westwood	
H35	H36	H39	H40
Smart-Site	Denso	Völkel	Cargill

H06	H07	H09
MOBA	Pave+	Eckardt

Pro Tonne Asphalt werden in Produktion, Transport und Einbau **50kg CO2e** emittiert.



In Deutschland

Rd. 38 Mio. Tonnen Asphalt

→ **1,9 Mio. Tonnen CO2**

In Europa (EU-27)

Rd. 220 Mio. Tonnen Asphalt

→ **10,5 Mio. Tonnen CO2**

In Asphalt umgerechnet:

Berchtesgaden nach
Flensburg, 6m Breite &
10 cm Dicke.

Warschau nach
Lissabon, 6m Breite &
10 cm Dicke.

2X



Hypothese:
Digitalisierung trägt dazu bei,
die CO2-Emissionen im
Asphaltstraßenbau zu senken.

KI reduziert CO2-Emissionen im Straßenbau.

Projektziel

- **KI-Verfahren** für die **Echtzeitsteuerung** und Analyse von Asphaltbaustellen nach Kriterien der Nachhaltigkeit,
- **CO2-Emissionen** im Bauprozess nachweislich **senken**,
- ohne negative Auswirkungen auf die Qualität und Wirtschaftlichkeit.

Konsortium



KI-Lösungen
für Echtzeit-
Bauprozess-
steuerung



Bauen 4.0
wirtschaftlich
umsetzen



Nachhaltigkeit
in allen Phasen
im Asphaltbau



UNIVERSITÄT
HOHENHEIM

KI-Forschung
für Praxis-
anwendungen

Assoziierte Partner



Förderung



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS



www.kinastra.de

Digitalisierung ermöglicht neue Ansätze für das nachhaltige Bauen.

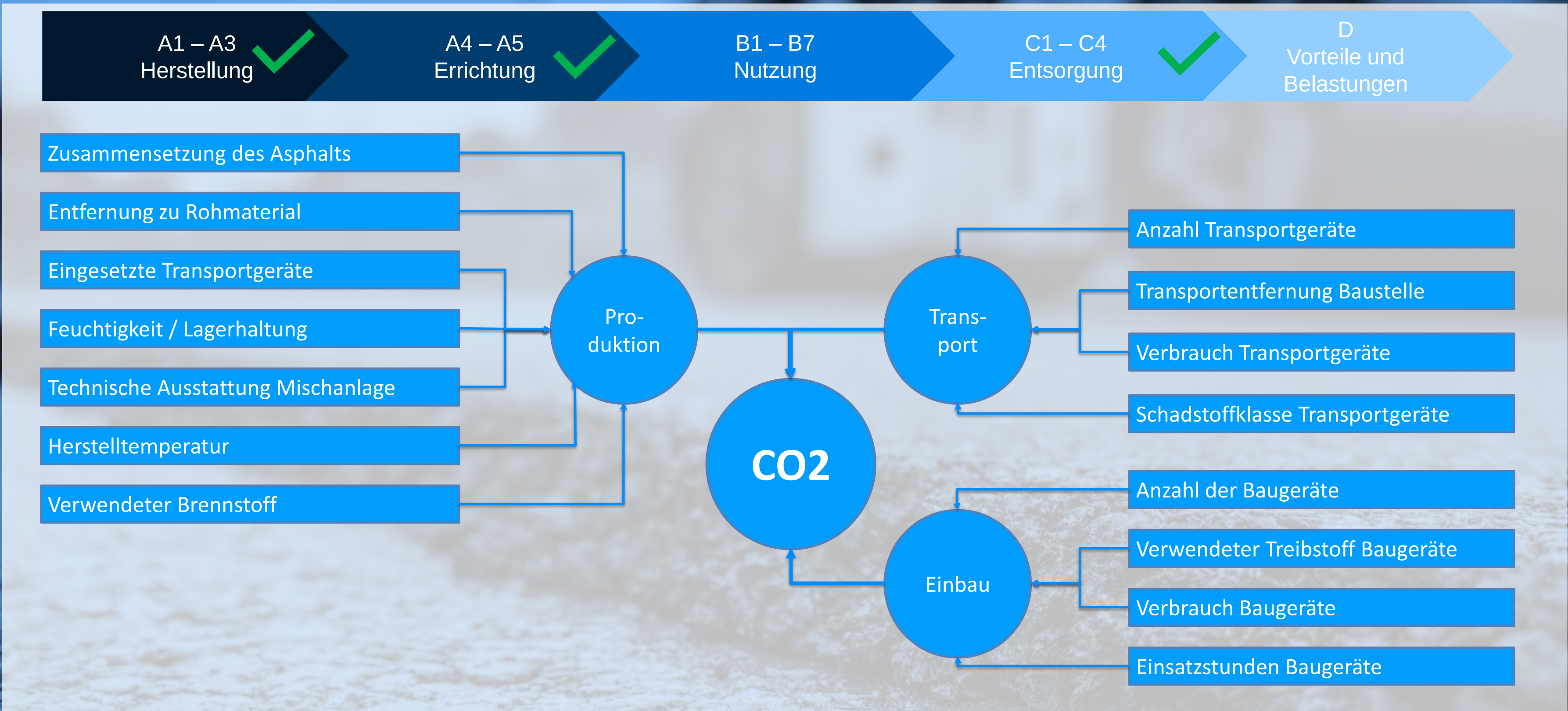
Minimal mögliche
**Produktionstemperatur
vorhersagen.**

**CO2-Bilanzierung
automatisieren.**

Messung und bi-direktionale Optimierung der Nachhaltigkeit entlang der gesamten Prozesskette

IoT-Sensorik für Realtime-Temperaturdaten entlang der Prozesskette

Das KlnaStra-CO2-Modell: Cradle-to-Cradle.



Nachhaltigkeit automatisch dokumentiert mit der CO2-Echtzeit-Bilanzierung.

Komplett automatisiert „im Hintergrund“.

Dynamische CO2-Bilanzierung aus Live-Daten und kontinuierlicher Plan-Ist-Abgleich in Echtzeit **während des Einbaus.**

Baustelle	Gesamt	Produktion	Transport	Einbau
Bundesstraße 2.362 t 2.397 t 2	64,96 kg CO2e / t 65,00 kg CO2 / t (-0,06%) 100,00%	61,99 kg CO2e / t 61,96 kg CO2 / t (+0,05%)  95,43 %	1,03 kg CO2e / t 1,03 kg CO2 / t (0,00%)  10,00  20,00 1,59 %	1,94 kg CO2e / t 2,01 kg CO2 / t (-3,48%)  6,00  9,50 2,99 %
Kreisstraße 1.785 t 1.641 t 2	42,93 kg CO2e / t 44,77 kg CO2 / t (-4,11%) 100,00%	39,63 kg CO2e / t 40,68 kg CO2 / t (-2,58%)  92,31 %	0,51 kg CO2e / t 0,51 kg CO2 / t (0,00%)  8,00  10,00 1,19 %	2,79 kg CO2e / t 3,58 kg CO2 / t (-22,07%)  6,00  9,50 6,50 %
Landstraße 1.962 t 1.736 t 2	40,59 kg CO2e / t 41,06 kg CO2 / t (-1,14%) 100,00 %	36,36 kg CO2e / t 36,48 kg CO2 / t (-0,33%)  89,58 %	1,54 kg CO2e / t 1,54 kg CO2 / t (0,00%)  10  30 3,79 %	2,69 kg CO2e / t 3,04 kg CO2 / t (-11,51%)  7,00  9 6,63 %
Autobahn 8.430 t 8.113 t 12	45,28 kg CO2e / t 45,25 kg CO2 / t (-0,07%) 100,00%	41,36 kg CO2e / t 41,37 kg CO2 / t (-0,02%)  91,40 %	2,06 kg CO2e / t 2,06 kg CO2 / t (0,00%)  7,90  79,79 4,55 %	1,83 kg CO2e / t 1,85 kg CO2 / t (-1,08%)  4,67  7,25 4,04%
Bundesstraße 17.819,65 t 17.856,00 t 28	44,34 kg CO2e / t 44,46 kg CO2 / t (-0,27%) 100,00%	40,66 kg CO2e / t 40,91 kg CO2 / t (-0,61%)  91,70%	0,90 kg CO2e / t 0,90 kg CO2 / t (0,00%)  6,86  34,80 2,03%	2,78 kg CO2e / t 2,65 kg CO2 / t (+4,91%)  5,79  7,06 6,27%
Autobahn 1.542 t 1.580 t 8	61,62 kg CO2e / t 59,95 kg CO2 / t (+2,79%) 100,00%	 85,72%	 7,88  24,48 1,33%	 4,50  5,63 12,95%
Arithm. Mittel	100,00%	91,02%	2,41%	6,56%

Legende

2

 Anz. Einbautage



Brennmaterial
Gas/BKS



Mittlere Anz. Lkw
Entfernung



Mittlere Anz. Geräte
Einsatzzeit

Tats. eingebaut
Urspr. geplant

Dokumentiert in:

Meisch, L. (2024): Möglichkeiten der CO2-
Reduzierung im nachhaltigen Asphaltstraßenbau,
Bachelorarbeit

Schreyer, E. (2024): Reduzierung und Verfolgung von
CO2-Emissionen bei Asphaltbaustellen,
Masterarbeit

Größter Hebel zur Senkung von CO2-Emissionen liegt in der Produktion.

~90% der Emissionen fallen bei der Rohstoffproduktion an → dort liegt der größte Hebel.

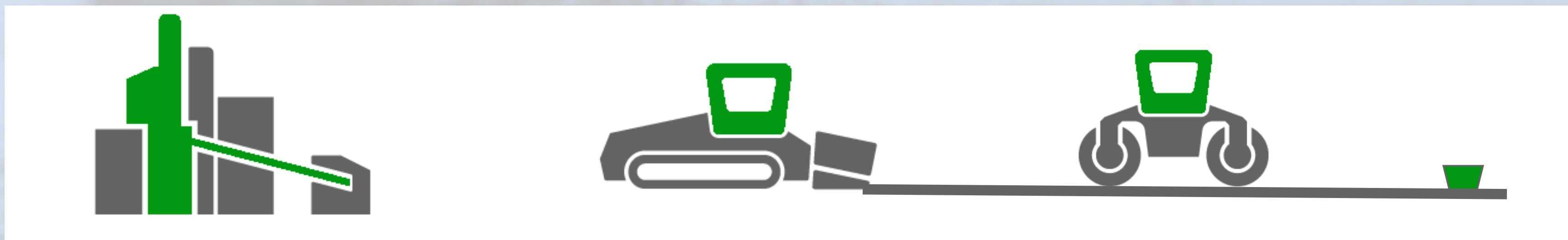
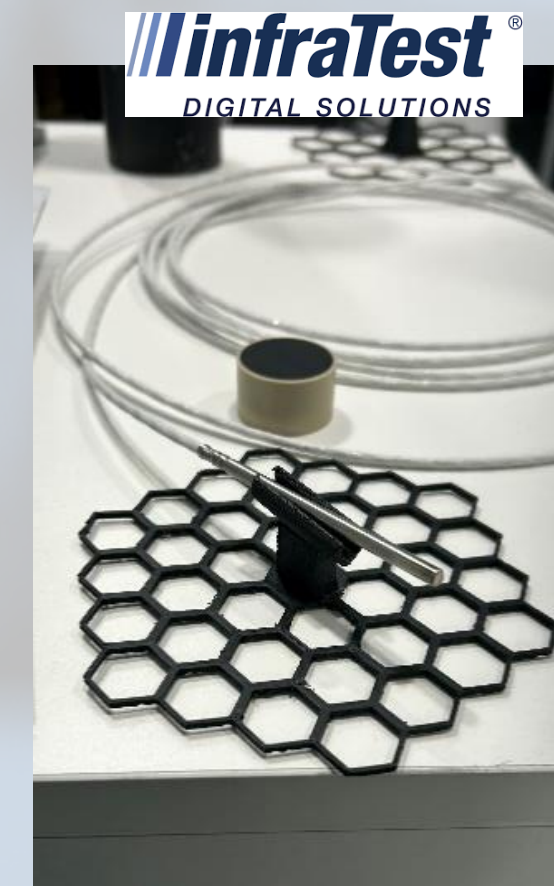
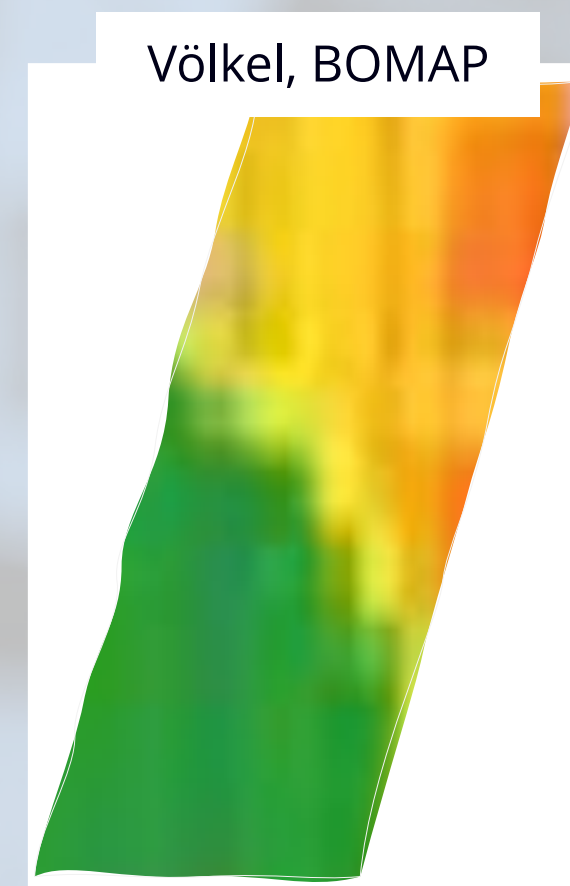
Produktionstemperatur beeinflusst Emissionen deutlich.
mit 10°C Temperaturreduktion wird ca. 1kg CO2e / Tonne Asphalt weniger emittiert (BKS).

Ziel: Vorhersage der benötigten Verladetemperatur unter Wahrung der geforderten Einbauqualität.

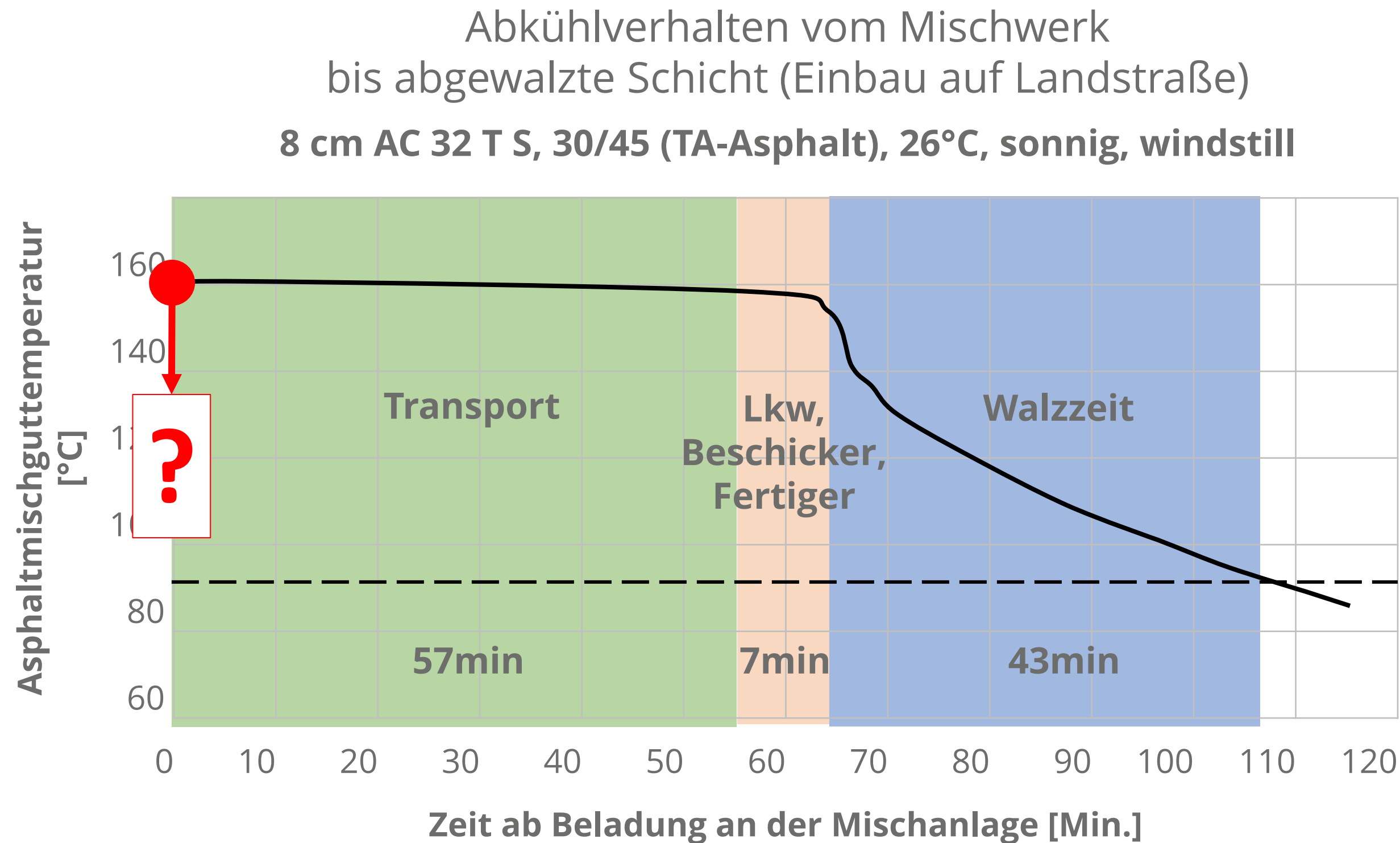
Anteil CO2-Emissionen in den einzelnen Lebenszyklen

(2003)						
Muench	USA	60,00%	15%		5,50%	
Benninghofen	Deutschland	91%	9%	-	-	-
Knastra (2024)	DE	91,02%	8,98% (Transport+Einbau)	-	-	-

Temperaturvorhersage benötigt Daten – oder: „Sh*t in, sh*t out“ gilt im Besonderen für KI-Modelle.

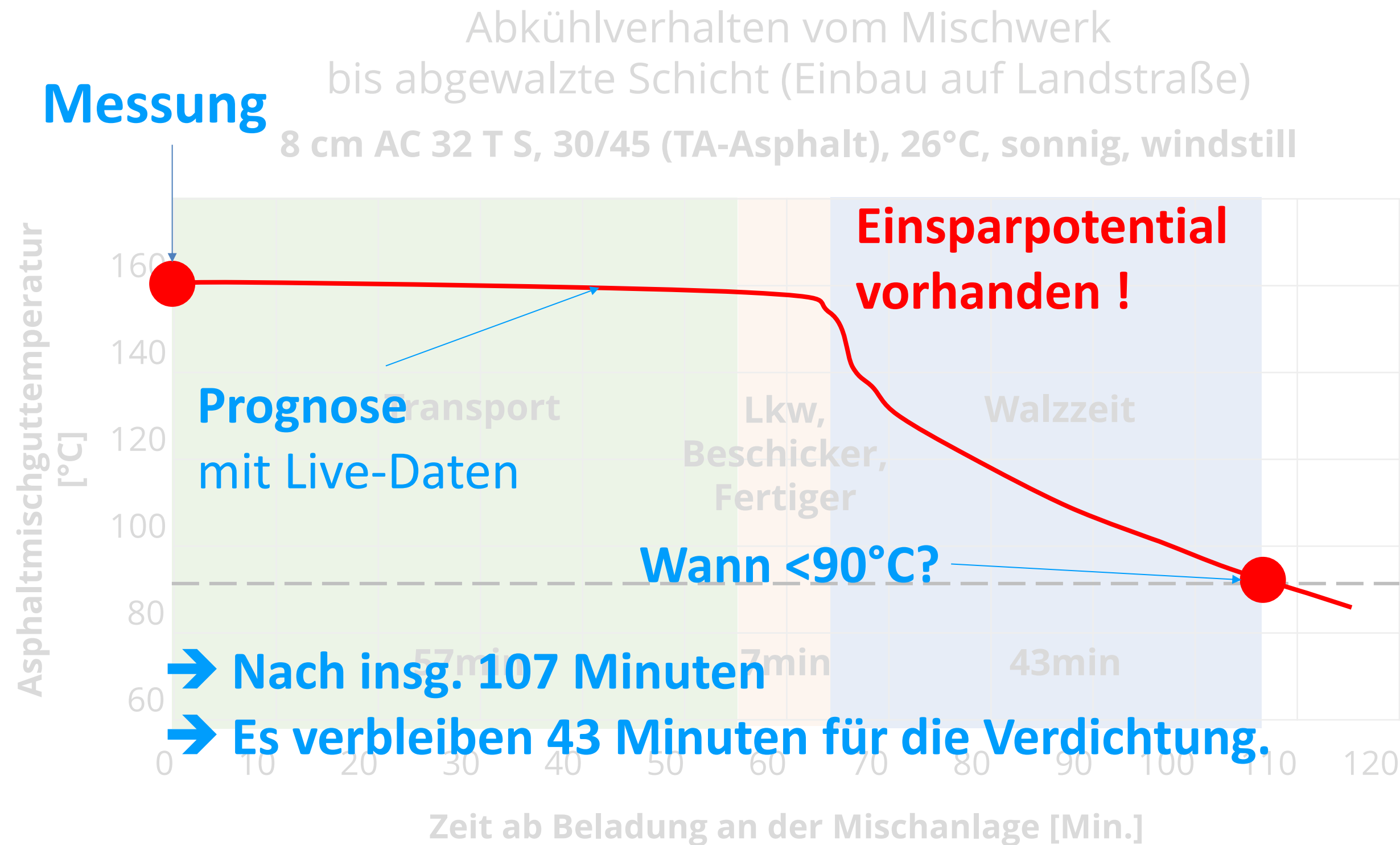


Es lässt sich noch viel optimieren, ... wenn man die nötigen Daten und die richtige KI hat.



Ziel:
Bestimmung der **min. möglichen Beladetemperatur** abgeleitet aus prognostiziertem **Temperaturverlauf.**

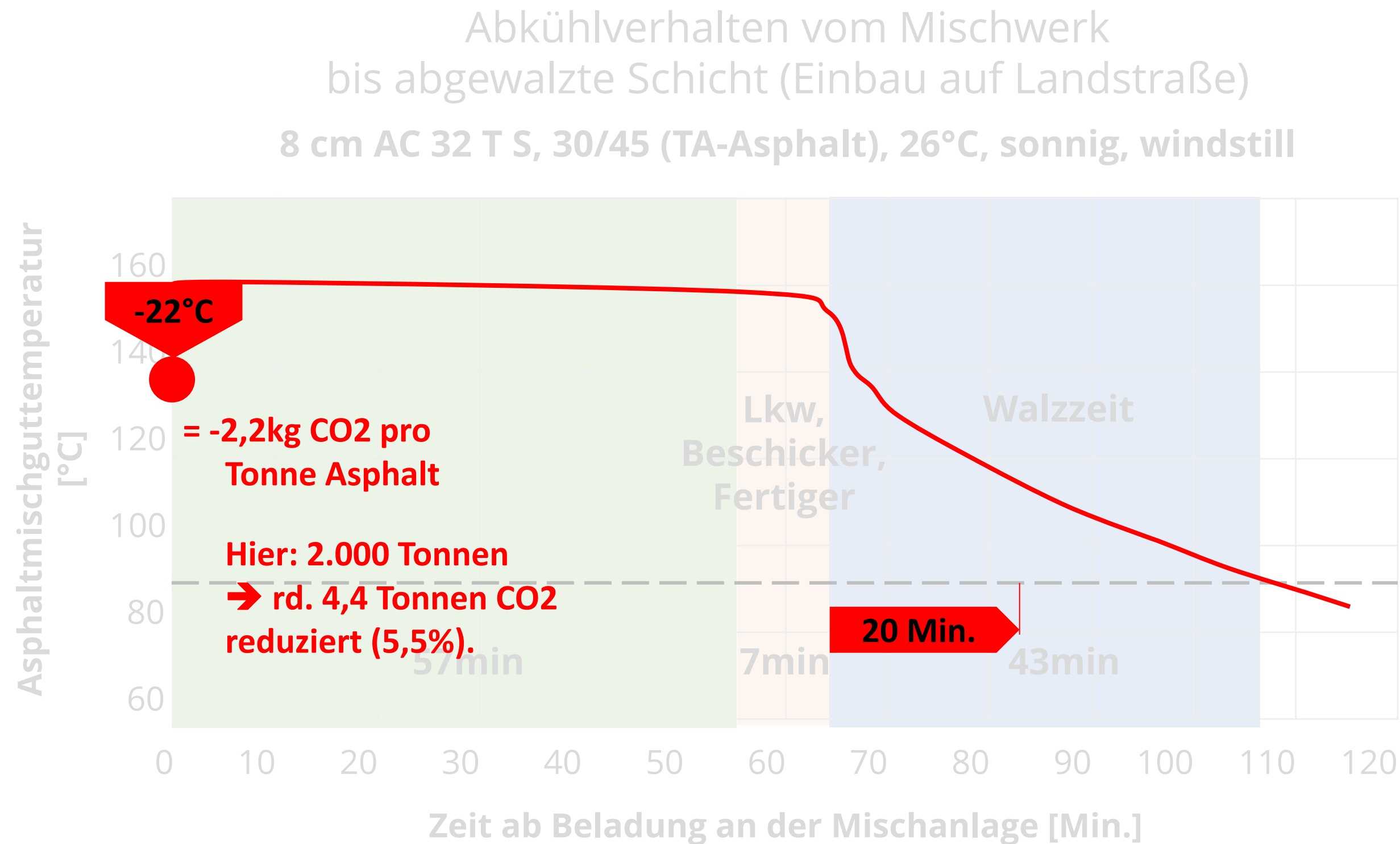
Es lässt sich noch viel optimieren, ... wenn man die nötigen Daten und die richtige KI hat.



Prognose

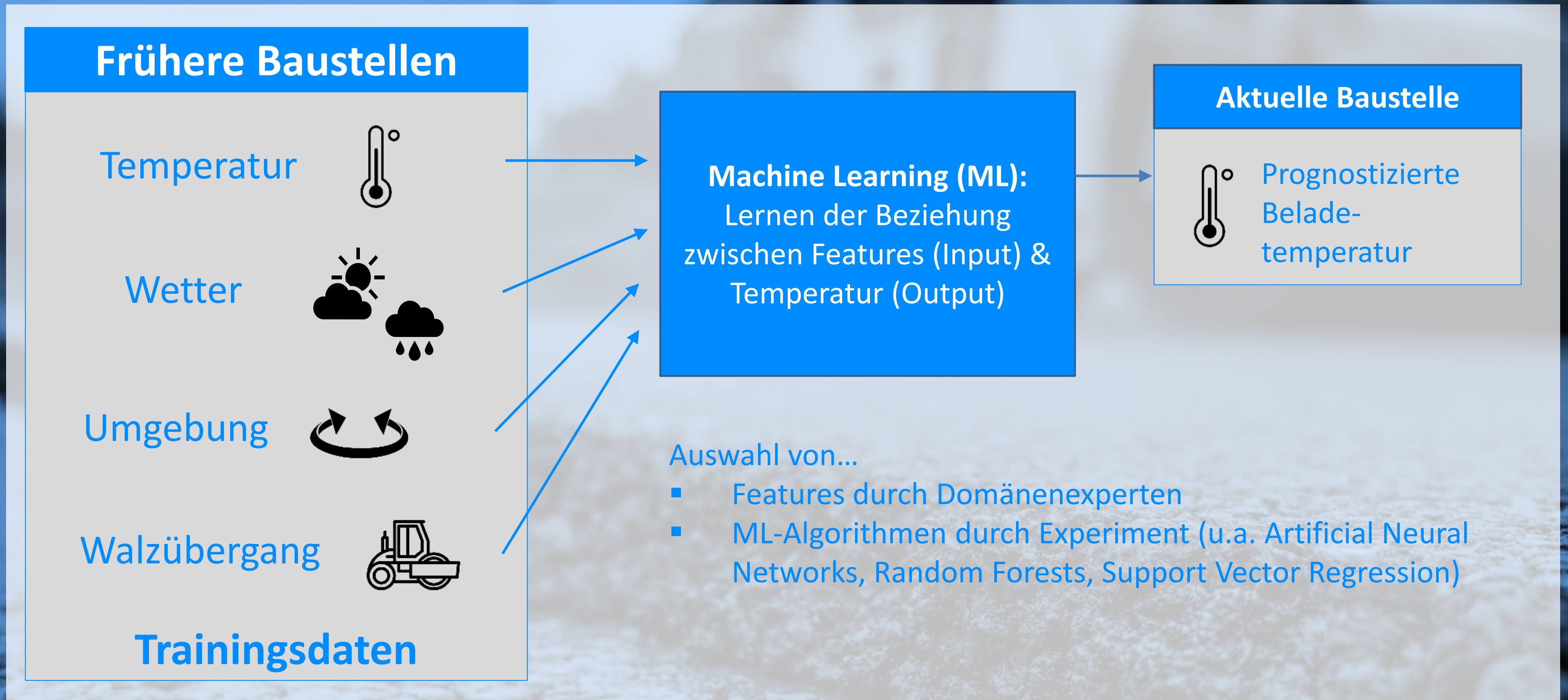
- zur **Planungszeit**, um Ziel-Beladetemperatur zu bestimmen und
- zur **Ausführung**, um während dem Einbau eine Rückmeldung an das Mischwerk zu geben.
- Hier: Rückmeldung „Einsparpotential vorhanden“ inkl. Angabe einer neuen Ziel-Beladetemperatur.

Es lässt sich noch viel optimieren, ... wenn man die nötigen Daten und die richtige KI hat.

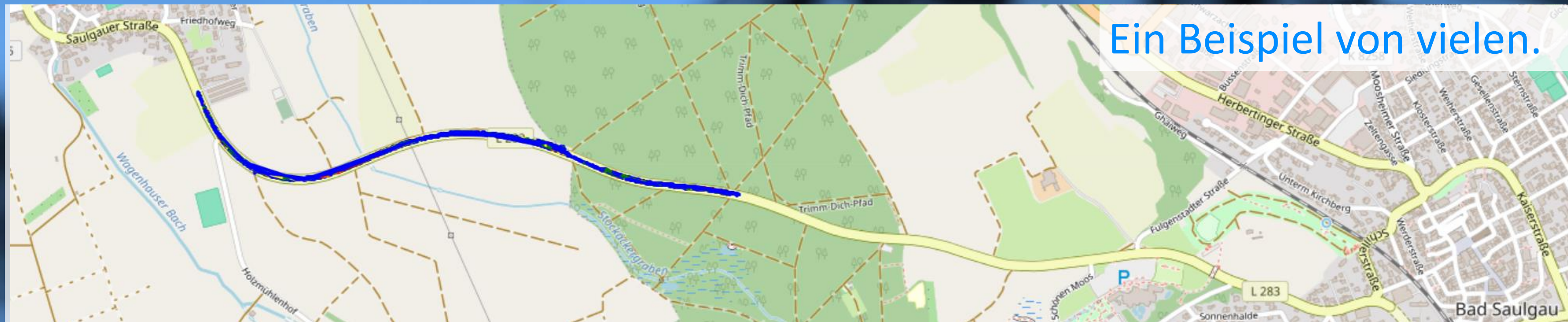


Rückmeldung
„Einsparpotenzial
vorhanden“ inkl.
Angabe einer neuen
Ziel-
Beladetemperatur.

Entscheidend für hohe Prognosegüte sind Anzahl, Genauigkeit & Repräsentativität der Trainingsdaten.



Das Machine-Learning-Modell von KlnaStra wurde in der Praxis erprobt.



Ein Beispiel von vielen.

Landstraße

Zeitraum:

30.04.-03.05.2024

Länge:

~1,55 km

Ø Einbaubreite:

4,5 m

Mischgut:

2.261 t (AC 11 DN 50/70 TA)

Maschinen:

1 Fertiger, 2 Walzen

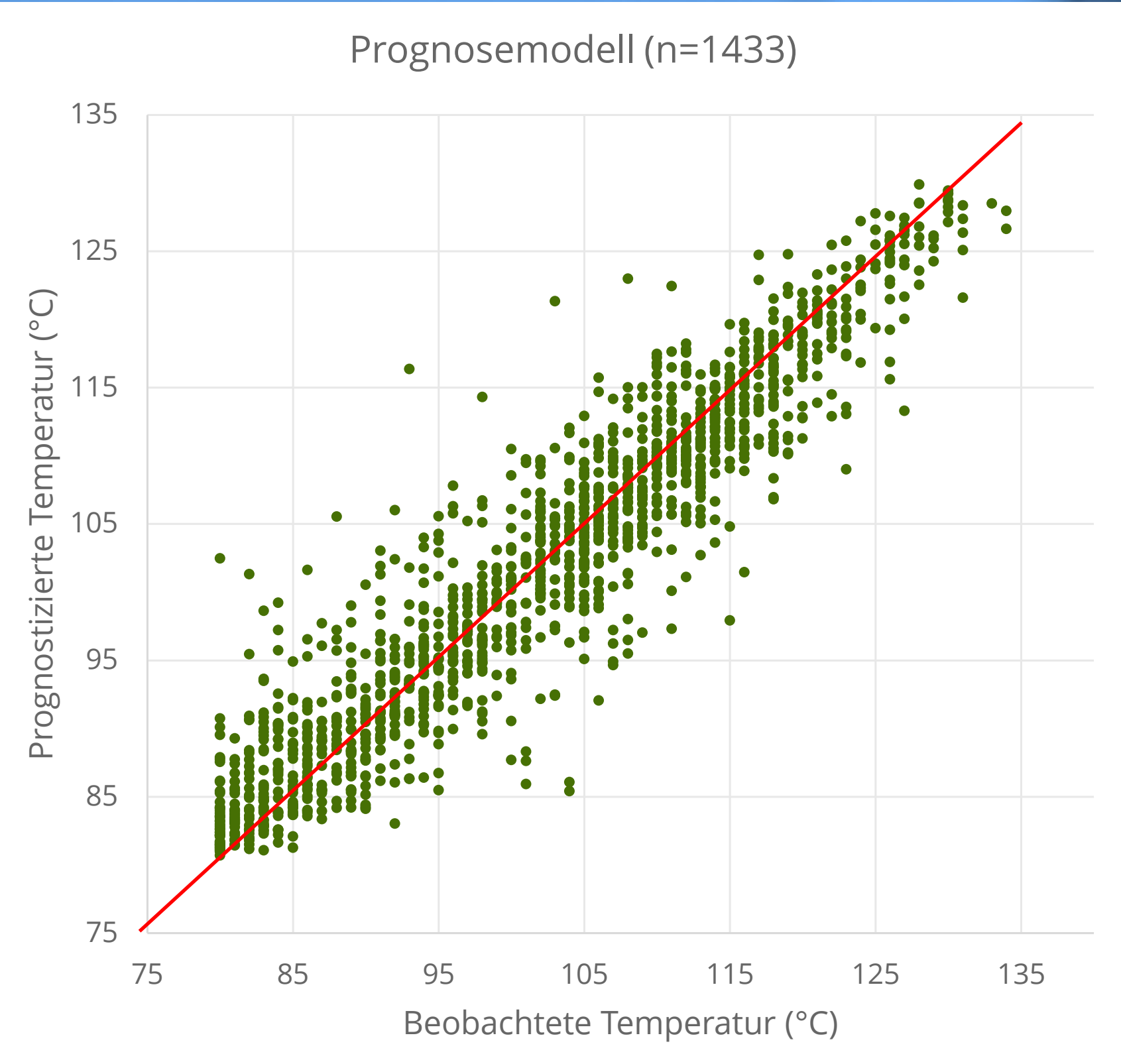
Messungen:

4.777 (davon 70% für Training)

Ø Überwalzungstemperatur:

101,8 °C

Hohe Prognosegüte erreicht: Für 80% der Prognosen war der absolute Fehler < 5 °C.



Metrik		Vorteil	Ergebnis
MAE	Durchschnittliche absolute Fehler	Einfach zu interpretieren	3,4 °C
RMSE	Wurzel des durchschnittlichen Quadratfehlers	Größere Fehler werden stärker gewichtet	4,7 °C
MAPE	Durchschnittliche absolute prozentuale Fehler	Unabhängig von Einheit & Wertebereich	3,5 %
R ²	Bestimmtheitsmaß	Wertebereich von 0 bis 1 (=perfekte Prognose)	0,88

Nachhaltigkeit in Echtzeit steigern. Prognosen optimieren die Beladetemperaturen.

Nutzung des KInaStra-Modells zur **Vorhersage** des Abkühlverhaltens bis zum letzten Walzübergang **live während** des **Einbautages**.

Optimum: Wie „kalt“ darf beladen werden, sodass eine qualitativ hochwertige Verdichtung gesichert ist, bei der die letzte notwendige Überfahrt bei $>90^{\circ}\text{C}$ Oberflächen-temperatur erfolgt

... unter Berücksichtigung aller erwarteten Liefer- und Einbaudaten (vsl. Ankunftszeit & -temp., vsl. Einbau- & Verdichtungsleistung) sowie einer Vorhersage der Umgebungsbedingungen (i. B. Wetter).

Nachhaltigkeit und Digitalisierung zusammendenken!

Zusammenfassung der erzielten Ergebnisse

- Cradle-to-Cradle-CO2-Modell erstellt; evaluiert durch Nachbilanzierung.
- ML-Modell mit hoher Genauigkeit liegt vor.
- Live-CO2-Bilanz umgesetzt.
- Echtzeit-Entscheidungsunterstützung implementiert.

Nächste Schritte

- Evaluation des Vorhersagemodells auf Baustellen.
- Vollständige Integration der Ergebnisse im Software-Modul „SSO Green“.
- Lernen, lernen, lernen!

Faster. Innovation. Together.

Smart Site Solutions GmbH

Postanschrift: Zugäckerstrasse 42, 72622 Nürtingen

Besucheranschrift: Kelterstraße 59, 72669 Unterensingen

Tel.: +49 (0) 7022 2081847

Mobil: +49 (0) 172 743 8622

E-Mail: marcus.mueller@smartsitesolutions.de

Web: www.smartsitesolutions.de



<https://www.linkedin.com/company/smartsitesolutions>



<https://www.smartsitesolutions.de>



<https://www.kinastra.de/>



Projektpartner



Assoziierte Partner



Gefördert durch



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND TOURISMUS

