

Abschlussbericht

Zuwendung aus dem Bundeshaushalt, Einzelplan 30, Kapitel 3004, Titel 68326,
für das Haushaltsjahr 2018

Förderprogramm: Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen - HighTechMatBau

Untersuchung multifunktionaler Straßenbaumaterialien und Verbundwerkstoffe zur Nutzung solarer Energie und Verbesserung der
Dauerhaftigkeit (SEDA)

Teilvorhaben: Untersuchung des thermischen Verhaltens von Solar-
kollektoren auf Basis von asphalt-Verbundwerkstoffen mit metalli-
schen Wärmeleitstrukturen
- Verbundvorhaben -

Projektzeitraum: 01.05.2015 bis 31.10.2017

kostenneutral verlängert 01.11.2017 bis 30.04.2018

kostenneutral verlängert 01.05. 2018 bis 31.10.2018

Berichtszeitraum: 01.05.2015 bis 31.10.2018

Zuwendungsempfänger

WätaS Wärmetauscher Sachsen GmbH

FKZ: 13N13608 Teilvorhaben: Untersuchung thermisches Verhalten metallischer
Wärmeleitstrukturen

F. Winkler KG (GmbH & Co.)

Teilvorhaben: (Schlussbericht wird vom Projektpartner separat eingereicht)

DeVeTec GmbH (vorzeitig ausgeschieden)

Teilvorhaben: (Schlussbericht wird vom Projektpartner separat eingereicht)

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Triple S-GmbH

Teilvorhaben: (Schlussbericht wird vom Projektpartner separat eingereicht)

Technische Universität Dresden Institute Stadtbauwesen und Straßenbau und Energietechnik

Teilvorhaben: (Schlussbericht wird vom Projektpartner separat eingereicht)

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Teilvorhaben: (Schlussbericht wird vom Projektpartner separat eingereicht)

Projektträger

VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf,

Ansprechpartner: Dr. Ralf Fellenberg

Inhaltsverzeichnis

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung
2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde
3. Planung und Ablauf des Vorhabens
4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung
2. wichtigste Positionen des zahlenmässigen Nachweises
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit
4. voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse
5. bei Durchführung bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen
6. erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Zielstellung war die Untersuchung eines multifunktionalen thermischen Asphaltkollektors auf der Basis von neuen Asphalt-Verbundwerkstoffen mit metallischen Wärmeleitstrukturen, der neben dem Wärmeentzug auch eine Bewehrungswirkung im Asphalt – und somit eine höhere Lebensdauer des Gesamtsystems – ermöglicht. Dafür wird ein Versuchsstand konzipiert und aufgebaut, mit dem das thermische Verhalten der Asphalt-Verbundwerkstoffe mit metallischen Lamellen oder Rippen untersucht wird. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau der TU Dresden erfolgt eine Untersuchung und Bewertung der mechanischen Eigenschaften. Anschließend wird eine Teststrecke zur großmaßstäblichen Analyse einer solchen Kollektorvariante auf dem duraBAST realisiert.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Die Projektpartner waren mit unterschiedlichen Bezügen mit der Thematik – energieeffiziente Lösungen im Bauwesen und angrenzende Anwendungen - vertraut. Die Ausschreibung im Förderprogramm: Neue Werkstoffe für urbane Infrastrukturen – HighTechMatBau – ergab günstige Rahmenbedingungen zur Vertiefung und Erweiterung vorhandener Kenntnisse und know how, um zukünftigen Markterfordernissen vorausschauend begegnen zu können.

Straßenbefestigungen unterliegen im Laufe ihrer Nutzungszeit intensiven Temperatureinwirkungen infolge der vorherrschenden Wetterbedingungen. Die einzelnen Befestigungsschichten müssen dabei je nach ihrer Lage innerhalb des Oberbaus Temperaturen im Bereich von ca. -20 °C bis über 50 °C ertragen. Gleichzeitig sind diese hohen Temperaturen bei Asphaltbefestigungen als strukturell besonders kritisch zu betrachten. So beeinflusst die in der Straßenkonstruktion befindliche Wärme die Stabilität und Dauerhaftigkeit der Asphaltbefestigungen maßgebend. Es erhöht sich die Spurrinnenempfindlichkeit der Konstruktion merklich. Dies führt zu einer Reduzierung der Dauerhaftigkeit der Straßenbefestigung. Voruntersuchungen zeigten, dass durch mögliche klimatische Veränderungen diese Tendenzen verstärkt werden wird. So wurde festgestellt, dass beispielsweise eine durchschnittliche Erhöhung der Temperaturen im unteren Bereich der Asphalttragschichten um ca. $1,0\text{ K}$ eine Verkürzung der rechnerischen Nutzungsdauer der gesamten Straßenkonstruktion um ca. 20% bewirkt. Die Belastung zeigt aber auch die thermische Seite und lenkt den Blick auf eine mögliche Nutzung der Wärme, verbunden mit der der Erhöhung der Dauerhaftigkeit des Straßenaufbaus. Alternative Kollektorsysteme wurden zum damaligen Stand nicht untersucht. Gerade für die erweiterte Straßennutzung zur

Energiegewinnung wurde ein großes Potential in der Erforschung neuer multifunktionaler Materialien und Verbundwerkstoffe gesehen, um eine optimale Ausnutzung des solaren Wärmeangebotes mit den bestehenden Anforderungen hinsichtlich mechanischer Materialeigenschaften des Asphalttes in der Konstruktion zu verknüpfen. Es lagen keine Erkenntnisse zum Einbau solcher Systeme unter wirtschaftlich vertretbaren Bedingungen vor. Der maschinelle Einbau vor allem der Asphaltsschichten ist für eine praxistaugliche Umsetzung wurde als zwingend beurteilt. Die bisher fehlende gesamttechnologische Betrachtung wurde erforderlich.

Übergeordnetes war des Forschungsprojektes war es, dass solarthermische Energiepotential durch gezielte Energieumwandlung (Verstromung) sowie unter Einbeziehung alternativer Kollektorsysteme effektiver und nachhaltiger zu nutzen. Der Fokus lag dabei vor allem auf einer späteren Anwendung im urbanen Gebiet, da sich hier vielfältige Möglichkeiten zur Nutzung der gewonnenen Energie ergeben können.

Zur Erfüllung der Projektziele war eine intensive Zusammenarbeit aller Projektpartner zwingend erforderlich. Im Rahmen von insgesamt acht Projekttreffen (in der Regel zur Vorbereitung der periodischen Zwischenberichte) an wechselnden Orten der Unternehmenssitz wurden die Projektergebnisse ausgewertet und der Projektverlauf durch gemeinsame Festlegung von weiteren Detailschritten und Einzelterminen koordiniert. Zusätzlich fanden individuelle bilaterale Kontakte und Absprachen zwischen den einzelnen Partnern statt.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Für die Verbundpartner ergaben sich die nachfolgenden Arbeitsziele der einzelnen Arbeitspakete entsprechend dem Projektantrag, wobei die übergreifenden Projektziele nur durch eine enge Zusammenarbeit aller Partner erreicht werden konnten. Die in

Tabelle 1 aufgeführten Arbeitspakete wurden strikt abgearbeitet und im Rahmen regelmäßiger Projektmeetings kontrolliert. Dabei wurden auch aufgetretene Schwierigkeiten mit allen Partnern konstruktiv diskutiert und entsprechende Lösungen gefunden. Hier insbesondere die Verzögerungen zur Bearbeitung des Arbeitspaketes 2, welche Einfluss auf die Schnittstellen zu den Projektpartnern hatten und zur Laufzeitverlängerung führten.

Tabelle 1: Planung des Projektvorhabens nach Arbeitspaketen unter Beteiligung Firma WätäS

AP 1: Grundkonzeption der Kollektoren / Kollektorsysteme

Verantwortlicher Verbundpartner: Professur für Technische Thermodynamik
Mitwirkender Verbundpartner: WÄTAS

AP 6: Untersuchung der Multifunktionalität (Wärmeübertrager/Bewehrung)

Verantwortlicher Verbundpartner: Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau
Mitwirkender Verbundpartner: WÄTAS

AP 10: Analyse technologischer Aspekte

Verantwortlicher Verbundpartner: F. WINKLER KG
Mitwirkender Verbundpartner: WÄTAS

AP 11: Optimierungsprozess

Verantwortlicher Verbundpartner: Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau
Mitwirkender Verbundpartner: WÄTAS

AP 12: Großmaßstäbliche Realisierung und Analyse auf duraBAST Gelände

Verantwortlicher Verbundpartner: BAST
Mitwirkender Verbundpartner: WÄTAS

AP 15: Wirtschaftlichkeitsbewertung

Verantwortlicher Verbundpartner: F. WINKLER KG
Mitwirkende Verbundpartner: WÄTAS

Die Organisation und Ablaufplanung nach Arbeitspaketen und Meilensteinen hat sich als sehr hilfreich erwiesen.

Im Juni 2017 wurden in Abstimmung mit den Projektpartnern eine 6-monatige kostenneutrale Verlängerung bis zum 30.04.2018 sowie eine weitere Verlängerung um 6 Monate vom 01.05. 2018 bis 31.10.2018 beantragt und vom Projektträger bewilligt. Ursachen waren die Verschiebungen der Bauabläufe auf dem duraBAST-Gelände, welche von den Projektpartnern nicht zu vertreten waren. Es wurden die Projektziele als jeweils erfüllbar eingeschätzt.

Der Partner DeVeTec fiel im Projektzeitraum durch Insolvenz aus. Das hatte insbesondere Auswirkungen auf die Arbeitspakete 7 und 8. Hierzu bestanden bei WätäS keine unmittelbaren Schnittstellen. Durch die TU Dresden wurden Berechnungen zum Kreisprozess auf der Grundlage von geschaffenen Teilergebnissen durchgeführt. Damit wurden Parameterstudien abgeschlossen, welche in deren Abschlussbericht eingeflossen sind

4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Es wurde zuerst ein gesellschaftlicher Ansatz ausgewählt:

Im Zuge der angestrebten Energiewende werden neue Quellen für regenerative Energien gesucht, die nach Möglichkeit aus bereits bestehenden Strukturen erschlossen werden können. Dazu kann möglicherweise die Gewinnung von Energie aus Verkehrsflächen einen wichtigen Beitrag leisten, da diese als Infrastruktursystem in Siedlungsräumen ohnehin vorhanden sind und damit eine Energienutzung ohne zusätzliche ökologische Schädigung (z.B. Versiegelung, Zerschneidung) und ohne größeren Transport zwischen Gewinnung und Nutzung denkbar ist. Gleichzeitig bietet der Straßenkörper in der Regel den unterirdischen Bauraum für die stadtechnischen Systeme der Energieversorgung, so dass eine Kopplung bautechnisch voraussichtlich gut realisierbar ist. Durch die Verlängerung der Nutzungsdauer von Straßenflächen kann die Effizienz der Straßenbauinvestitionen erhöht werden. Ebenfalls nicht zu vernachlässigen sind die ökologischen und gesellschaftlichen Nutzen durch vermiedene Instandsetzungen und Ersatzinvestitionen, welche allerdings schwer zu quantifizieren sind. Außerdem könnte die öffentliche Hand als allgemeiner Baulastträger der Straßenflächen möglicherweise Einnahmen durch die energetische Nutzung generieren.

Es wurde auf folgenden wissenschaftlich-technischen Stand aufgesetzt. Eine vielfältig untersuchte Anwendung war die Temperierung von Straßenflächen zur Schnee- und Eisfreihaltung im Winter. Dafür werden ausschließlich Rohrsysteme aus Stahl oder speziellen Kunststoffverbundmaterialien ähnlich dem Prinzip einer Fußbodenheizung in den Straßenkörper eingebracht, in denen ein Wasser-Glykol-Gemisch als Wärmeträger zirkuliert. Die Wärmeversorgung im Winter erfolgt aus geothermischen Quellen wie z.B. Erdsonden oder dem Grundwasser, wobei zur Erfüllung der Aufgabenstellung gegebenenfalls eine Nachheizung des Wärmeträgers mittels Wärmepumpe erforderlich ist. Um die notwendige Gesamtlänge der Erdsonden – und damit den investiven Aufwand – zu verringern, wird üblicherweise auf eine aktive Regeneration der Sonden gesetzt. Dazu wird im Sommer mit dem ohnehin vorhandenen Rohrsystem Wärme aus dem Straßenkörper in die Erdwärmebohrungen geleitet. Eine detailliertere Beschreibung solcher Systeme wurde in der GeoVerSi-Studie 0 gefunden. Beispiele für die Anwendung sind das Gaia Snow Melting System in Japan und die SERSO-Pilotanlage zur Eisfreihaltung einer Brücke in der Schweiz. In Deutschland wurde für die Stadt Marktredwitz im Fichtelgebirge eine Machbarkeitsstudie 0 für die Schneefreihaltung einer steilen Straße innerhalb der Ortschaft erstellt. Das Projekt „Temperierte Straßen“ 0 untersuchte ebenfalls den Einsatz von Geothermie in Straßen zum Beheizen von Verkehrsflächen. Ziel war die Unterstützung des konventionellen Winterdienstes und somit eine Erhöhung der Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit von Straßen unter winterlichen Fahrbahnverhältnissen. Zur Erprobung der gewonnenen Erkenntnisse des oben genannten Projektes sowie des Forschungsprojektes „Vermeidung von Glatteisbildung auf Brücken“ 0 wurde in Schleswig-Holstein ein entsprechendes Pilotprojekt realisiert. Bei der Erneuerung der Straßenbrücke B208 / Elbe-Lübeck-Kanal in

der Ortslage Berkenthin bot sich die Möglichkeit, die Fahrbahn mithilfe geothermischer Energie zu temperieren. Die Ergebnisse der beiden vorangegangenen Forschungsprojekte und des Pilotprojektes zeigen, dass vor allem noch Forschungsbedarf bezüglich der Nutzung der überschüssigen Wärmeenergie besteht.

Durch eine Einsteigerrecherche beim Deutschen Patentamt wurden zwei relevanten Hinweise erkannt zu einem Solarkollektor zur Aufnahme von Erdwärme und einem Solarenergie-Kollektor erkannt [5,6]. Diese wurden ausgewertet, jedoch nicht verwendet. Dabei handelt es sich um ein erloschenes Gebrauchsmuster und ein erloschenes Patent.

Durch die Projektpartner wurden fortlaufend projektbezogene Auswertungen zu Veröffentlichungen und mit Einschränkungen zu Patenten vorgenommen. Durch die TUD wurde eine Dokumentensammlung angelegt, welche durch alle Projektteilnehmer nutzbar ist.

Durch die fortlaufende Auswertung von Veröffentlichungen, wurden

- Forschungsergebnisse der University Nebraska-Lincoln unter <http://uni.edu> bekannt. Es wurde ein Straßenbeton entwickelt, der Eis mit Hilfe von Elektrizität zum Schmelzen bringt. Das Forscherteam hat Edelstahlspäne sowie Kohlenstoffpartikel in die Betonmischung eingebracht. Dadurch wird genügend Strom geleitet, um Eis unter winterlichen Bedingungen aufzutauen. Trotzdem gewährleistet der Beton die erforderliche Berührungssicherheit und
- eine Veröffentlichung der RWTH Aachen/ Institut für Straßenwesen unter „Application on of a porous interlayer for road temperature control“ bekannt. (Dipl.Ing. Andreas Schacht, XIVth International Winter Road Congress , Andorra , Andorra , 2014-02-04 - 2014-02-07, ISBN978-99920-0-773-0)

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

In die Bearbeitung des Projektes waren keine Stellen, außer die benannten Projektpartner, einbezogen.

Im Rahmen der BMBF Aktivitäten zur HighTechMatBau-Konferenz 30. Januar 2018 in Berlin wurde ein projektbezogener Beitrag im Tagungsband veröffentlicht [7].

Die Öffentlichkeitsarbeit des duraBASt-Projektes wurde über die Pressestelle durch Textbeiträge, Bildmaterial und Ausgestaltung von Veranstaltungen unterstützt

II. Eingehende Darstellung

1. Verwendung der Zuwendung

Im Projektplan wurden die im Folgenden genannten Meilensteine geplant, auf welche Arbeitspaket bezogen eingegangen wird.

Meilenstein 1 (September 2015): Auswahl des Kollektortyps nach Bewertung der thermischen und mechanischen Simulation (nach AP 4 / AP 5)

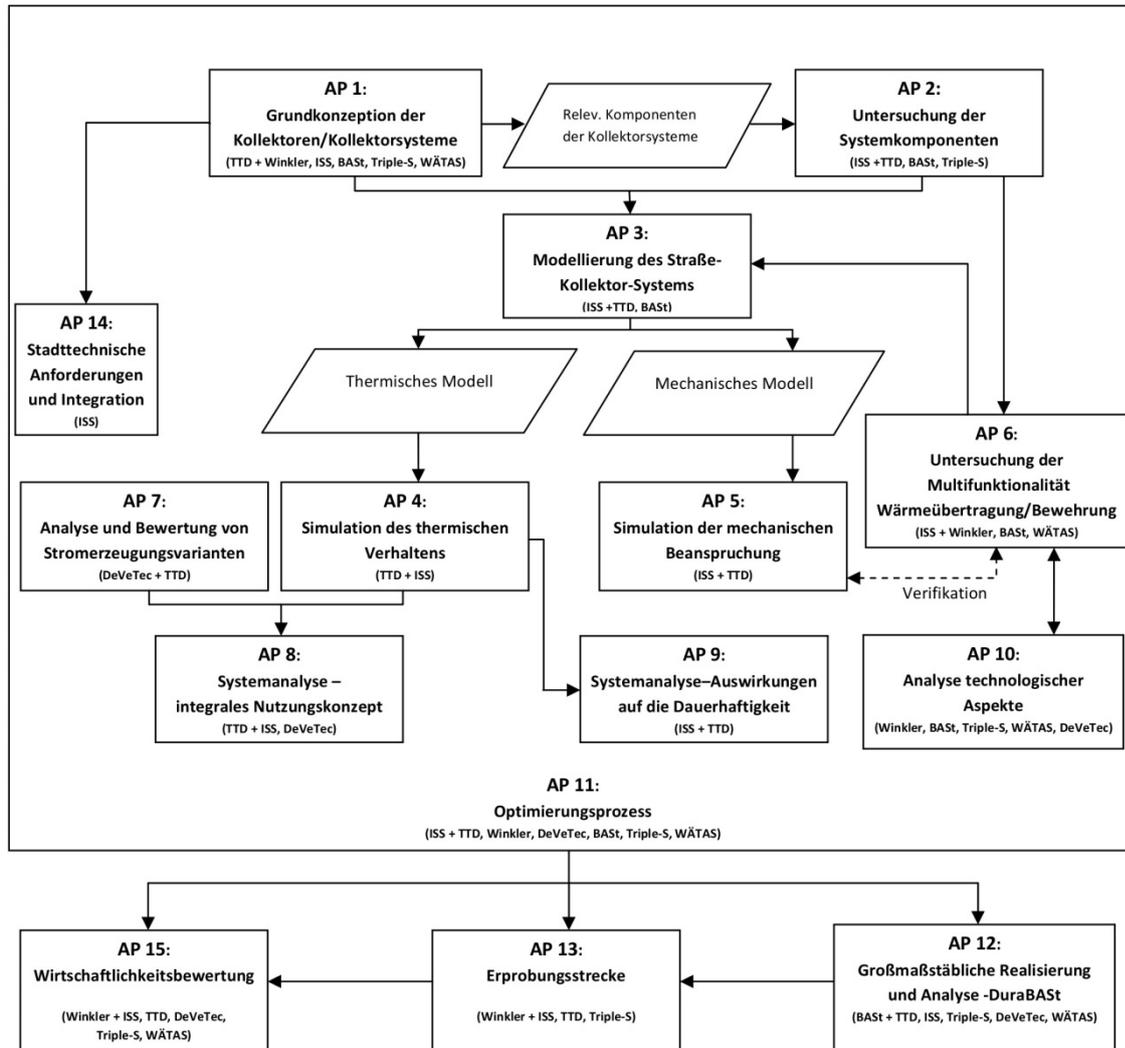
Meilenstein 2 (April 2017): Tragfähigkeit und Befahrbarkeit des Kollektors mit dem Fertiger nachgewiesen (in AP 10; vor Beginn AP 12 duraBAST) (*Hauptmeilenstein: Überprüfung der Projektergebnisse mit Abbruch-Möglichkeit*) Die Fortführung des Projektes wurde durch Präsentation und Protokollierung durch den Projektträger frei gegeben.

Meilenstein 3 (Oktober 2018): Realisierung des Demonstrators abgeschlossen (nach AP 13)

Die im Projektplan benannten Meilensteine wurden inhaltlich und nach Terminen, die mit den Verlängerungsanträgen angepasst wurden, erfüllt.

Die Zusammenarbeit der Projektpartner wurde durch Arbeiten an Teilprojekten geprägt, welche in einem iterativen Prozess verknüpft wurden. Dadurch wurde der Einsatz eines Projektkoordinators zwingend erforderlich. Das Projektmitglied F. Winkler KG (GmbH & Co.) erfüllte diese Aufgaben konstruktiv und zuverlässig. Es wurden insgesamt sechs Verbundtreffen geplant und durchgeführt.

Tabelle 2: Struktur des Projektvorhabens nach Arbeitspaketen unter Beteiligung Firma Wätas



Arbeitspaket 1: Grundkonzeption der Kollektoren / Kollektorsysteme

Es erfolgte die Erarbeitung eines Lastenheftes zur Spezifizierung des Anforderungsbildes an das Kollektorsystem. Auf dieser Grundlage wurde die technische Auslegung und Konstruktion einer Kollektorvariante unter Zugrundelegung vorhandener bzw. zu modifizierender Fertigungsmöglichkeiten im Unternehmen realisiert. Es wurde eine Lösung gefunden, welche auf der Basis eines Grundmoduls Version 1 eine Skalierbarkeit des Systems Version 2 zulässt. Dafür wurden spezielle Verbinder entwickelt, die auch im Unternehmen herstellbar sind. Die Konstruktionsdaten wurden durch den Projektpartner Fa. Winkler unter der Sicht einer praktischen Einbauanordnung geprüft und mit weiteren Montagehilfsmitteln ergänzt.

Zur Simulation des thermischen Verhaltens der entwickelten Kollektorvariante wird das PC gestützte Programm Mentor Graphics genutzt. Aufgrund des Fehlens eines Rechenmodells für die Materialien Gußasphalt, Asphaltbinder und DSK Mischgut mussten ein solche aufwändig erstellt werden. Die notwendigen Rechnerkapazitäten wurden dadurch unerwartet hoch.

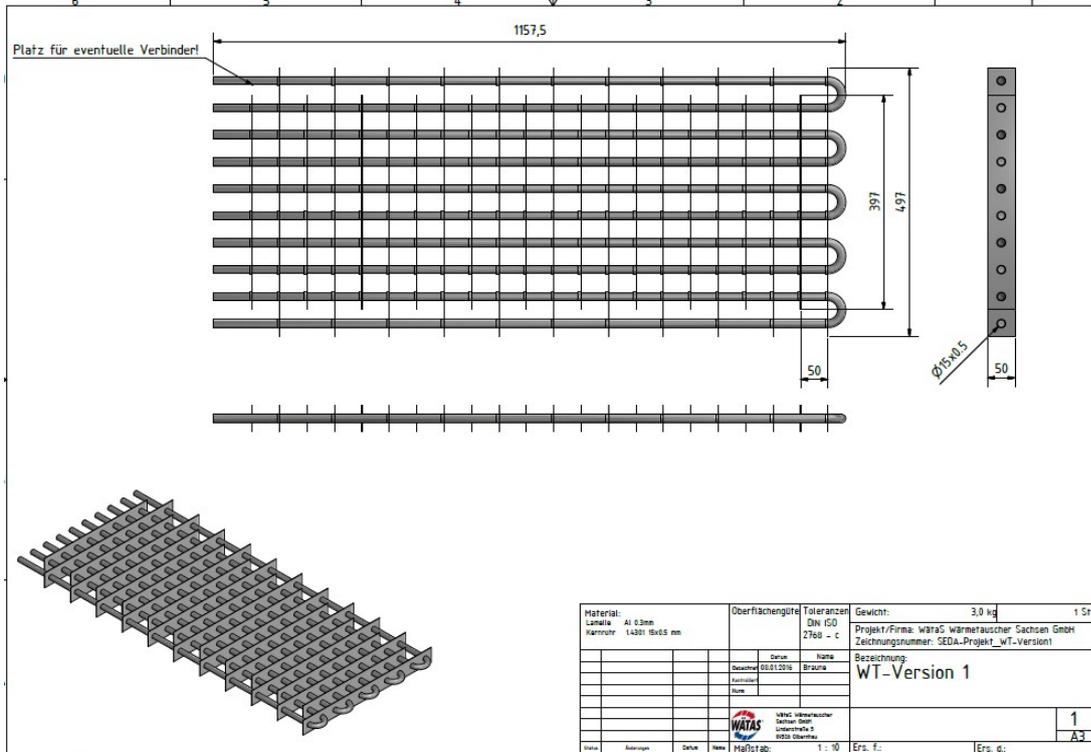
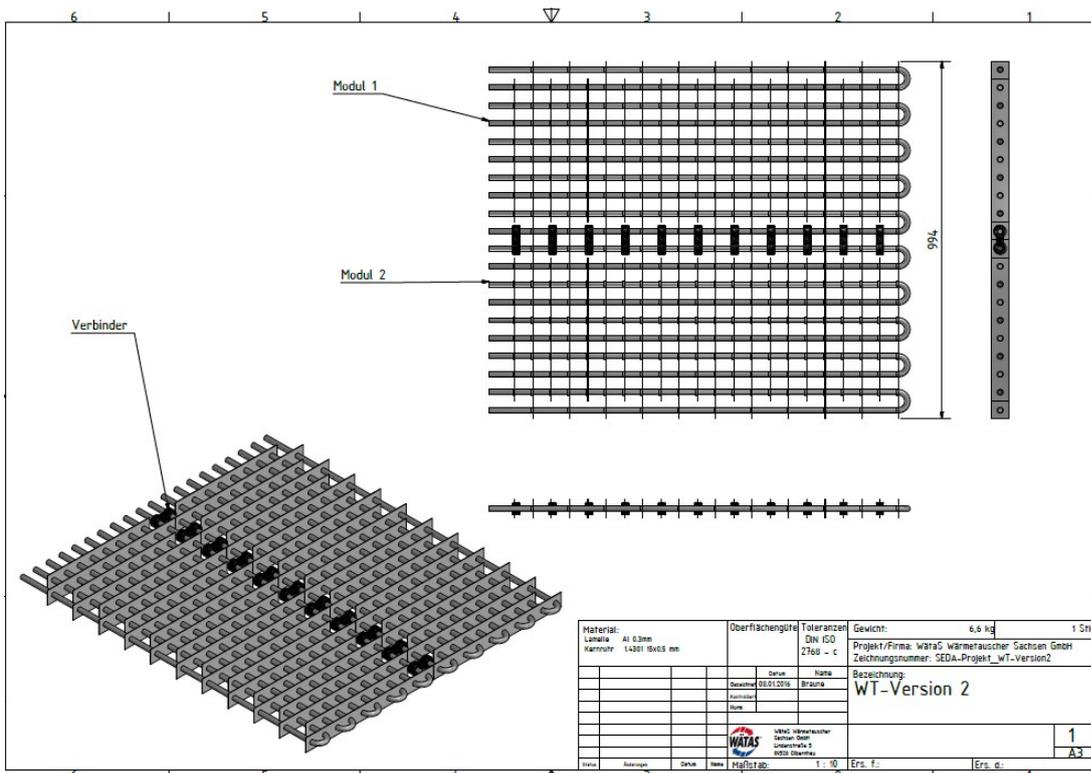


Bild 1: Konstruktion Wärmeleitstruktur



Arbeitspaket 6: Untersuchung der Multifunktionalität (Wärmeübertrager/Bewehrung)

Auf der Grundlage der technischen Spezifikation des Lastenheftes erfolgte in Schrittfolgen die Auslegung des Wärmeübertragers. Daraus wurden 3-D Konstruktionen abgeleitet. Diese dienten der Erarbeitung von zwei Simulationsmodellen auf der Basis unterschiedlicher Software durch die TUD und durch WätaS.

Ergebnisse FloEFD Berechnungen unter Beachtung projektspezifischer Randbedingungen

Geometrische Randbedingungen:

- a) Rohrmitte des Wärmetauschers liegt 8cm unter der Asphaltoberfläche
- b) Darunter sind weitere 22cm Asphalt
- c) Bild vom Modell mit Gitter

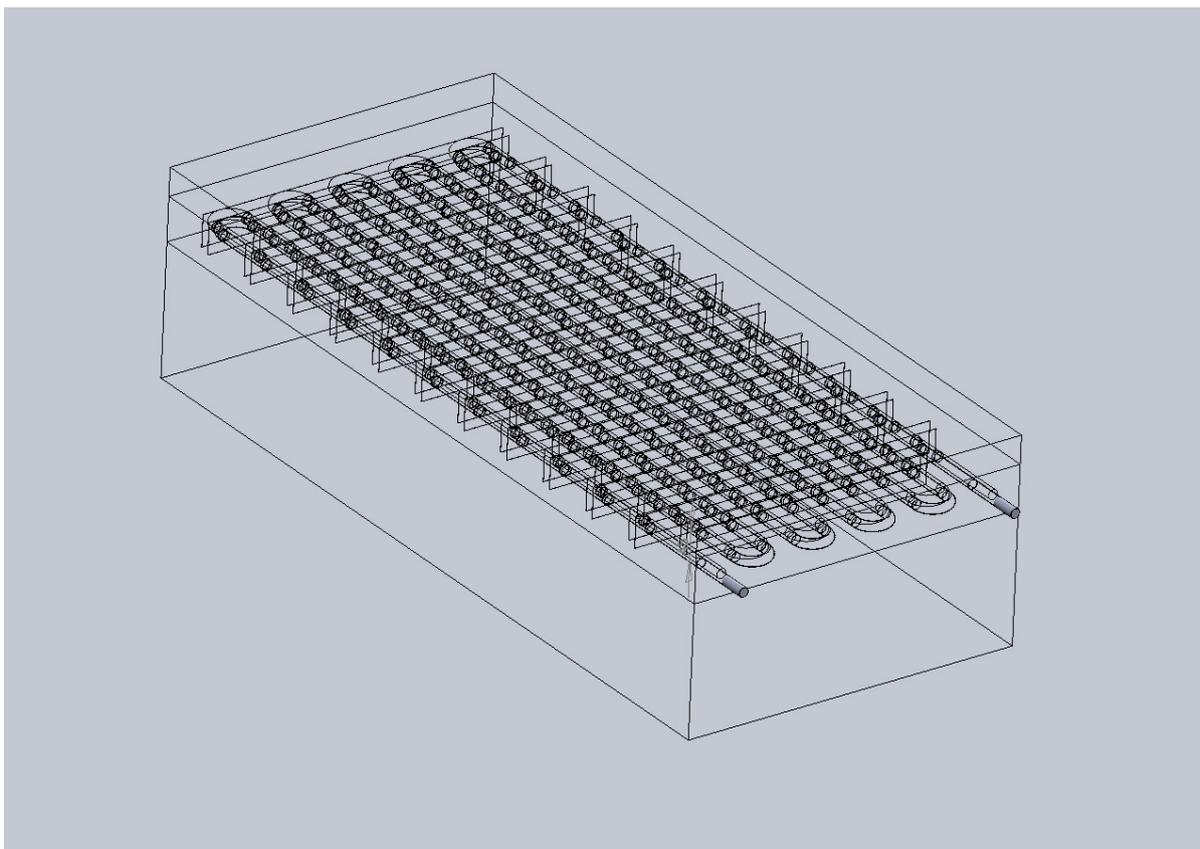


Bild 3: Gitterdarstellung des FloEFD Modells für die Strömungssimulation. Bestehend aus oben: Asphaltdeckschicht, Mitte: Asphaltbinderschicht mit eingebettetem Wärmeübertrager, darunter: Asphalttragschicht

Thermische und Materialrandbedingungen:

- a) Oberfläche wird mit $798,3 \text{ W / m}^2$ thermisch beaufschlagt (das ist der nicht reflektierte Teil der Sonneneinstrahlung auf eine horizontale Fläche an einem 21.06. aus dem Mittelwert von Lübeck und München, Albedo: 0,1)
- b) Materialkennwerte für Asphalt entspricht dem Parametersatz 2 der TUD
- c) Asphaltoberfläche hat Kontakt zur Umgebungsluft und kann Wärme abstrahlen
- d) Windgeschwindigkeit $2,5 \text{ m/s}$
- e) Umgebungstemperatur und Lufttemperatur 35°C
- f) 68% relative Luftfeuchte
- g) Adiabatische Wände des Berechnungsraum
- h) Vorlauftemperatur: 19°C
- i) Unterschiedliche Volumenströme betrachtet: 0 l/h , 10 l/h , 20 l/h , 900 l/h

Im iterativen Prozess wurden Unterschiede zum Modells der Simulation der TUD herausgearbeitet

- a) Keine periodischen Randbedingungen aufgrund der Wärmetauschergeometrie möglich
- b) Keine Temperaturrandbedingung in 3m Tiefe
- c) Keine instationäre, sondern stationäre Berechnung, das heißt kein Tagesverlauf modelliert, sondern Grenzwert, wenn die Mittagsstrahlung ewig gehalten würde. Daher größere Maximaltemperaturen und –differenzen möglich. Entspricht dem worst case Szenario

Die Ergebnisse dienten der Aktualisierung des Lastenheftes und bildeten die Grundlage weiterer konstruktiver Auslegungsmodelle.

Tabelle 3: Berechnungsergebnisse der untersuchten Varianten im Überblick. Ohne Kühlung (0 l/h Strömung), sowie 10, 20 und 900 l/h Durchströmungsgeschwindigkeit. Der abgeführte Wärmestrom ist die nutzbare Energie für weitere Prozesse.

Vorlaufstrom	0 l/h	10 l/h	20 l/h	900 l/h
Min. Asphalttemperatur / °C	56,4	45,8	45,1	44,2
Mittl. Asphalttemperatur / °C	73,5	58,0	54,2	49,8

°C				
Max. Asphalttemperatur / °C	80,6	66,1	60,7	54,0
Max. Temperaturdifferenz / °C	24,2	20,3	15,6	9,8
Rücklauftemperatur Wasser / °C	-	41,2	32,9	19,55
Abgeführter Wärmestrom / W	-	260	324	578

3.1. Dokumentaion¹

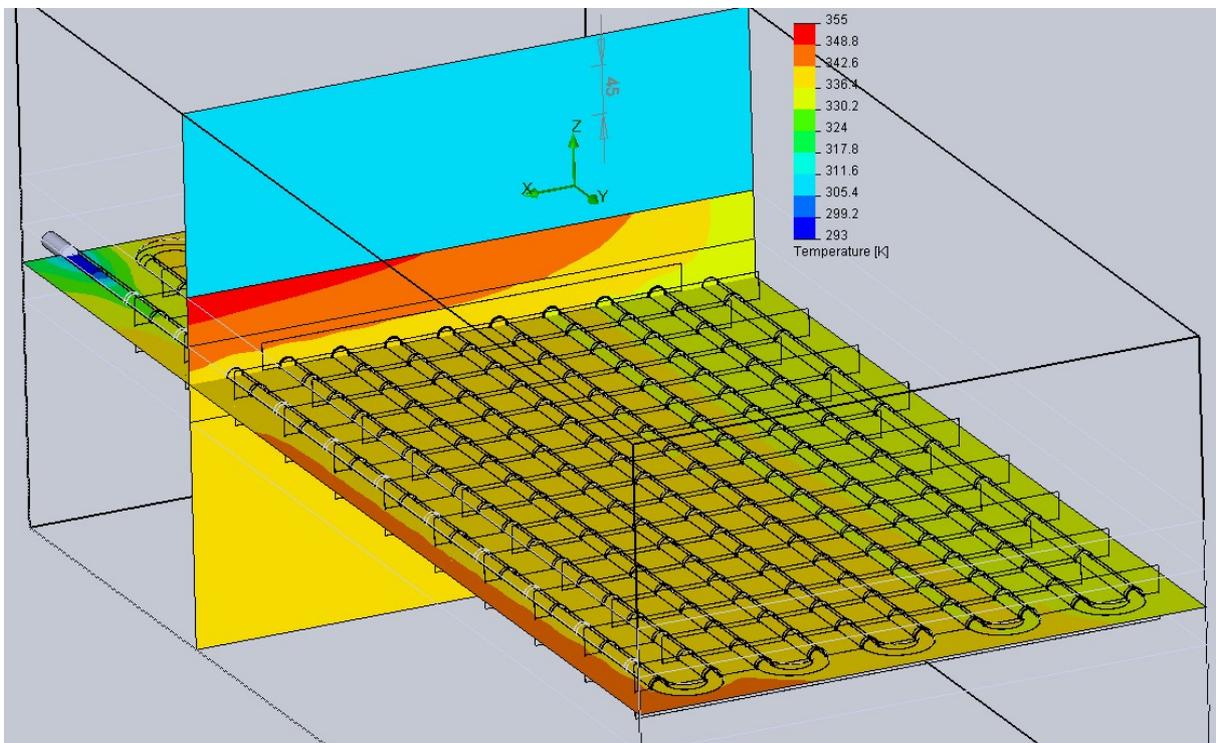
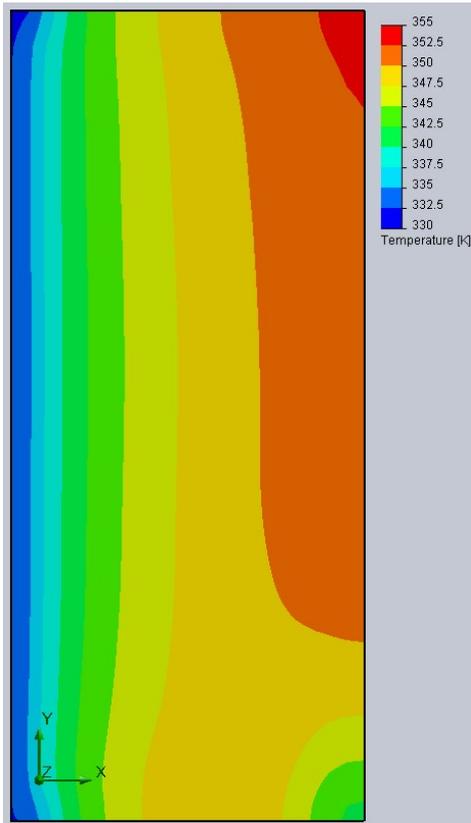
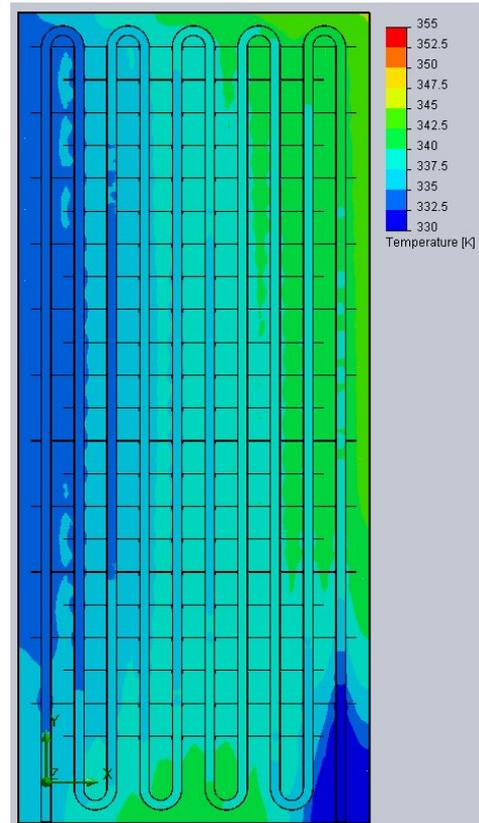


Bild 4: FloEFD Simulation mit Software Mentor Graphics - Modell ohne Kühlung, aber mit im Boden liegenden Wärmeübertrager

¹ Die folgenden Abbildungen haben deutlich unterschiedliche Temperaturskalen um die Details besser sichtbar zu machen. Lediglich der Temperaturunterschied der Oberflächenbilder ist mit 25K immer gleich.



Asphaltoberfläche



Rohrebene

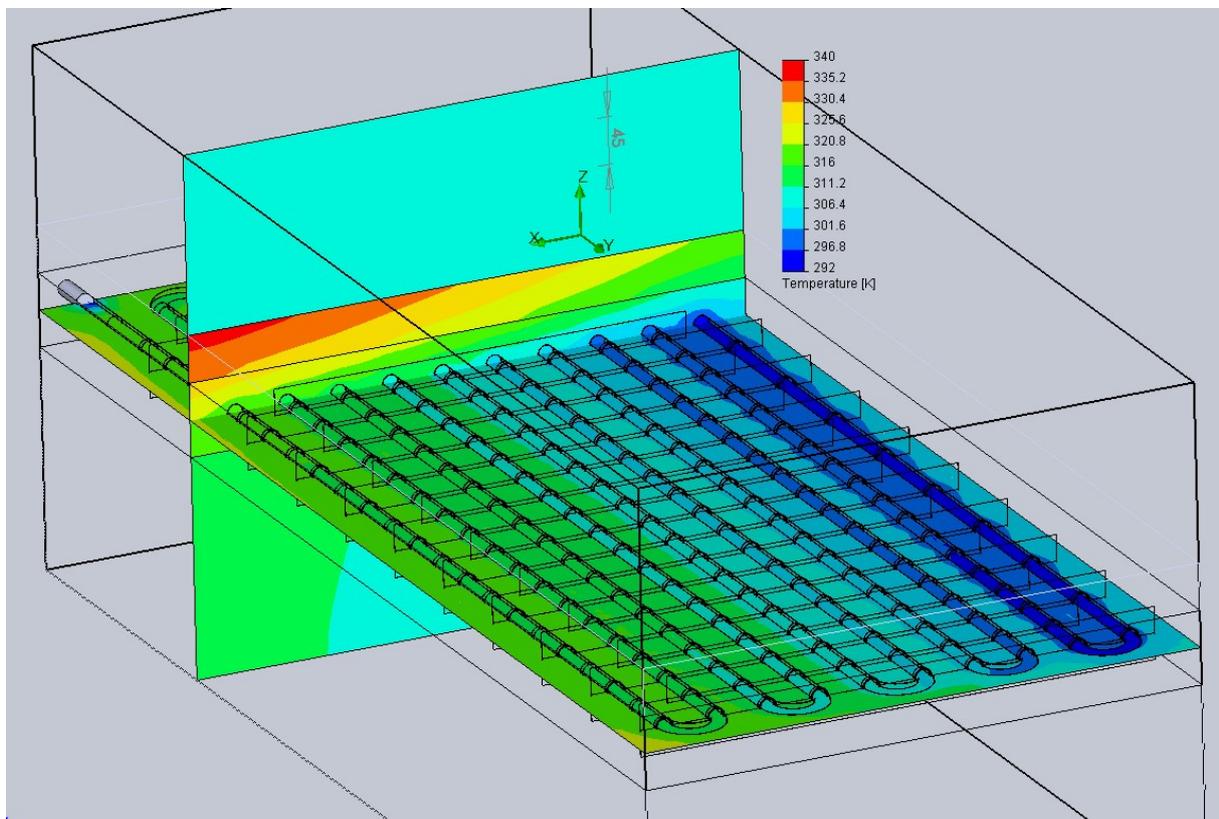
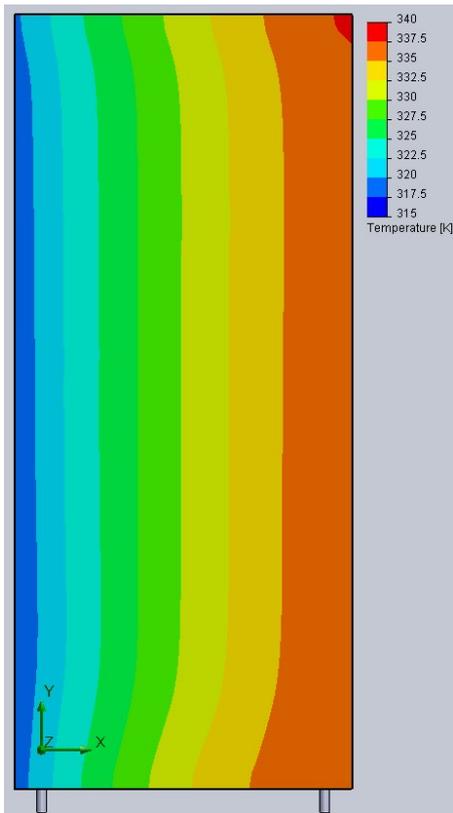
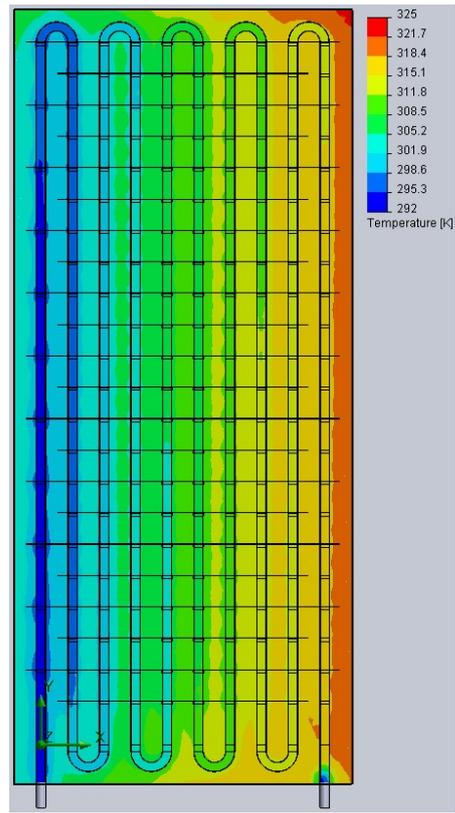


Bild 5: Volauf 10l/ h



Oberfläche



Rohrebene

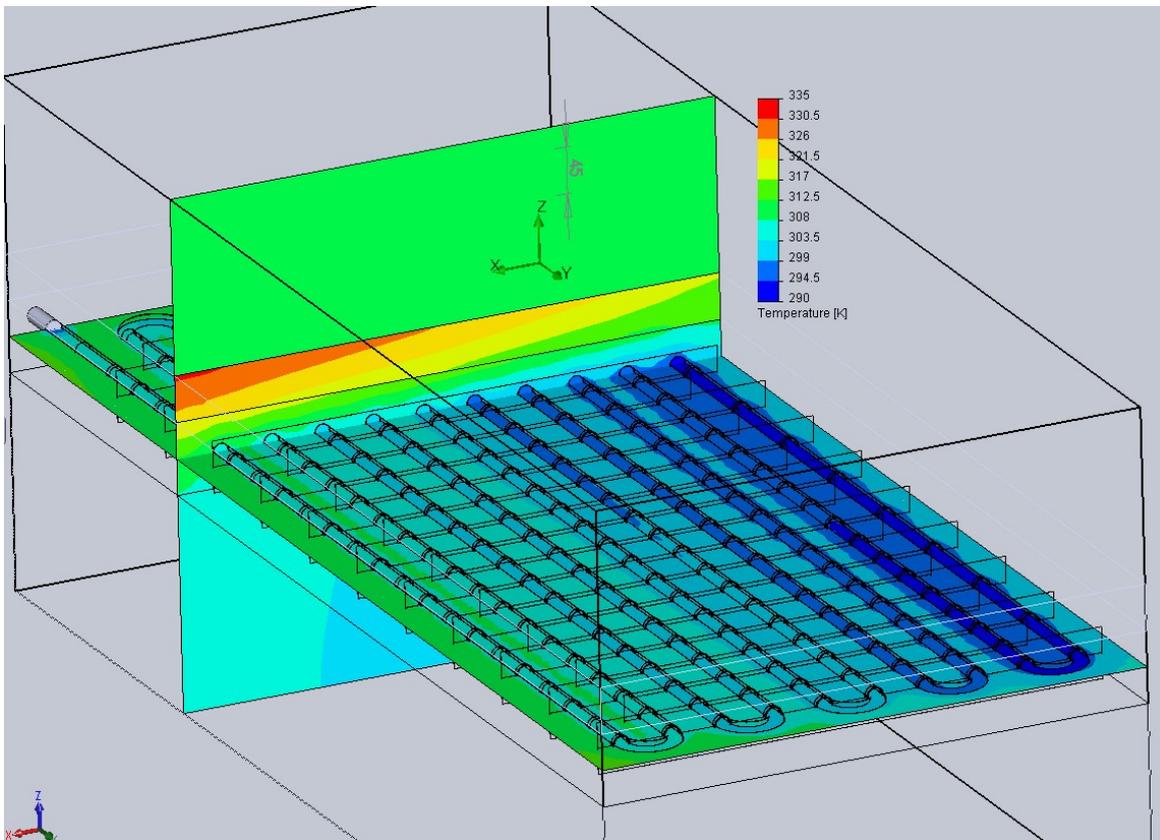
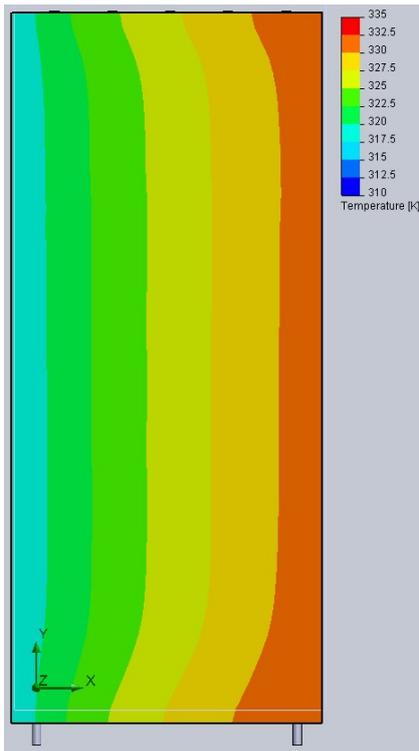
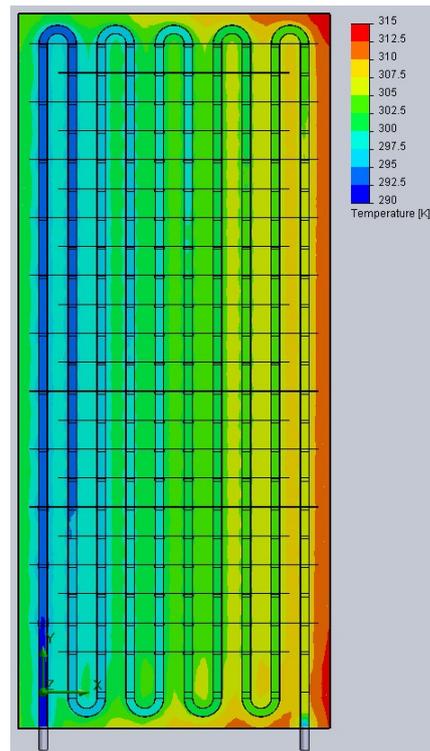


Bild 6: Vorlauf 20l/ h



Oberfläche



Rohrebene

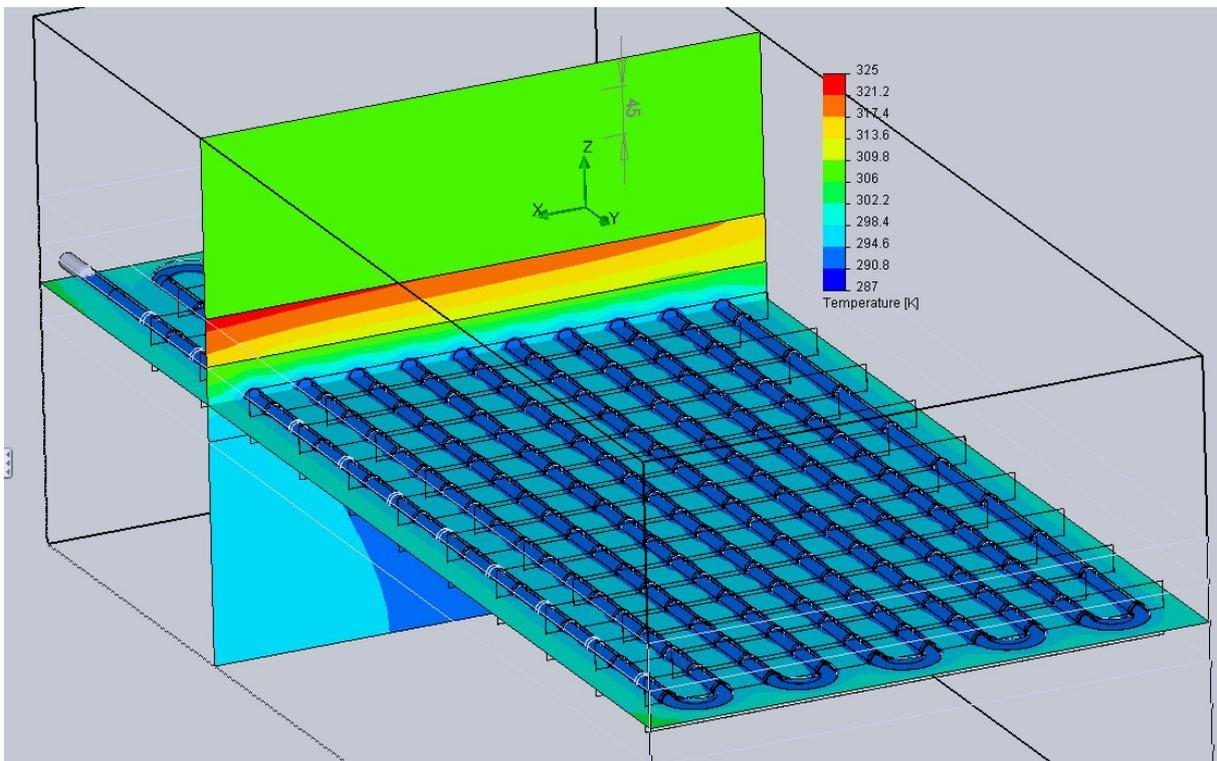
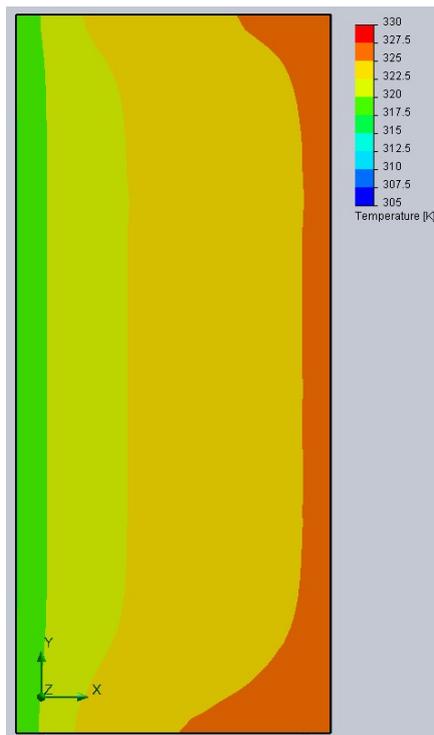
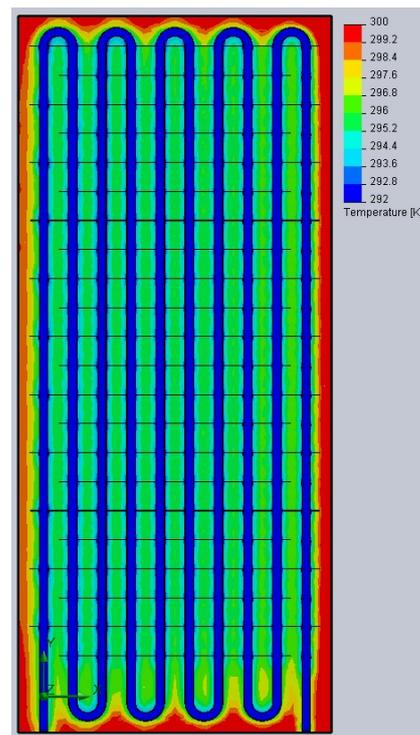


Bild 7: Vorlauf 900l/ h



Oberfläche



Rohrebene

Es erfolgte eine Bewertung der Ergebnisse im Abgleich mit den Projektzielen und dem Lastenheft. Ohne Kühlung und bei quasistatischer Einstrahlung der maximalen solaren Strahlung erreicht die Asphaltoberfläche ca. 74 °C. Die Überhitzung im Vergleich zu den Berechnungen an der TUD kommen vermutlich hauptsächlich durch die stationäre Berechnung zustande, die keine Wanderung des Sonnenstandes zulässt.

Die Ergebnisse zeigen eine mit sinkendem Vorlaufvolumenstrom steigende Austrittstemperatur. Bei 10 l/h wird die von der TUD angenommene sinnvoll nutzbare Temperatur von ca. 40 °C erreicht. Jedoch können damit aufgrund der nach wie vor hohen Asphaltoberflächentemperatur von durchschnittlich 58 °C lediglich 260 W Wärmestrom entnommen werden. Dieser Wert steigert sich auf bis zu ca. 580 W bei einem Vorlaufvolumenstrom von 900 l/h. Dieser nimmt aber während eines Durchlaufs durch den Übertrager gerade noch ein halbes K Temperatur auf. Die mittlere Asphalttemperatur von knapp 50 °C ist in diesem Fall auch die niedrigste aller betrachteten Varianten. Damit ist eine Reduktion gegenüber dem ungekühlten Fall um ca. 24 °C berechnet worden. In der Realität dürfte dieser Wert jedoch aufgrund der geringeren Maximaltemperaturen auch etwas geringer sein.

Die innerhalb der betrachteten Asphaltfläche auftretende Temperaturdifferenz verringert sich mit dem Vorlaufvolumenstrom von ca. 24K ohne Kühlung auf knapp 10 K bei 900 l/h.

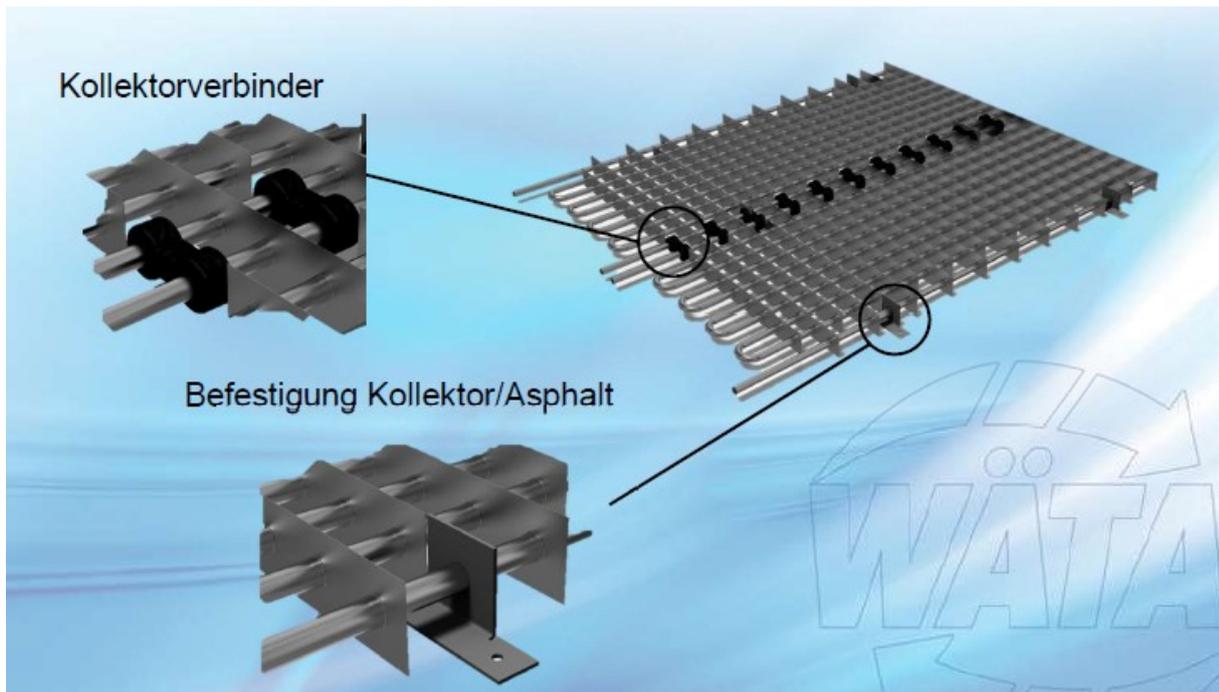
Die Berechnungsergebnisse sind mit Vorsicht zu genießen. Die Ergebnisse spiegeln einen Extremfall wider, der in dieser Form wohl nur selten tatsächlich auftreten wird. Absolute Temperaturen sind immer stark abhängig von den tatsächlich auftretenden Randbedingungen und können im Realfall starken Schwankungen unterliegen. Sinnvoll können jedoch die Unterschiede in den Varianten betrachtet werden, da diese jeweils gleichen Randbedingungen unterliegen.

Die Simulationsergebnisse zur Wärmeleitung, zum Strömungsverhalten sowie Druckverlust erbrachten im Wesentlichen Deckungsgleichheit. Unterschiedliche Detailergebnisse sind auf abweichende Annahmen zu den Stoffwerten der Einbaumaterialien zurück zu führen. Dazu konnten keine einheitlichen Herstellerdaten bereitgestellt werden.

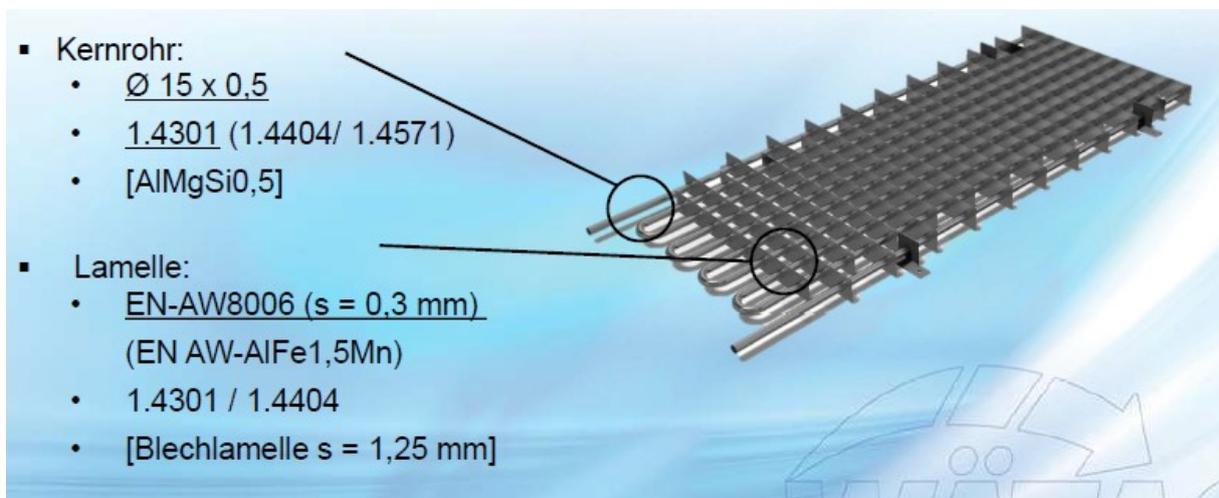
Die Simulationsergebnisse wurden in der Konstruktionsstufe 2 verwendet. Die Konstruktionsdetails zur Ausführung der Lamellengeometrie wurden optimiert. In mehreren Iterationsstufen wurde die Konstruktion mit der Fa. Winkler abgestimmt, um die Erfordernisse für praktische Einbau- und Belastungstests zu erfassen und umzusetzen.

- Zu berücksichtigende Eigenschaften des Kollektorsystems
 - Skalierbarkeit
 - Einfache Montage
 - Stabilität
 - Herstellbarkeit

Zur Erreichung geeigneter Montagebedingungen wurde entschieden, eine Gliederung in leicht zu transportierende Wärmeübertragerelemente vorzunehmen und zusätzliche Befestigungen anzubringen. Dazu war es erforderlich die entsprechenden Bauteile zu entwickeln.

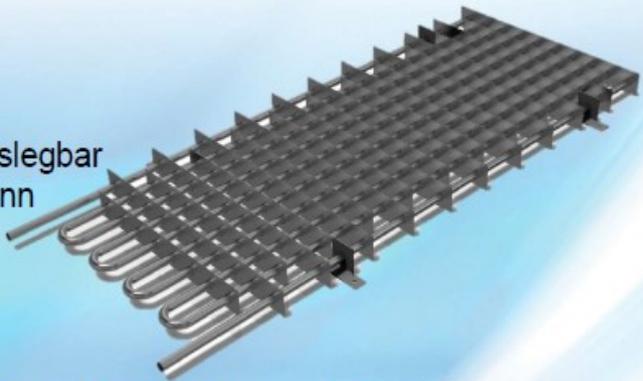


Es erfolgte die endgültige Festlegung der zur Anwendung kommenden Materialarten.



Zusammenfassend wurde zum Projektstand eingeschätzt.

- Vorteile:
 - sehr flexibel in der Gestaltung
 - modularer Aufbau
 - je nach benötigter Temperatur auslegbar
 - Lamellenabstand und Material kann geändert werden
- Nachteile:
 - Verbindung Kollektor-Sammler mittels Orbitalschweißen (Zeit)
 - Verbindung Kollektor-Sammler mittels Pressverbindung
- offene Punkte:
 - Langzeitverhalten (Materialverträglichkeit, Stoßempfindlichkeit)
 - Simulation hinsichtlich Temperaturverhalten/Temperaturfeld im Asphalt



Im Weiteren erfolgte die Fertigung von Demonstratoren und die Übergabe an den Projektpartner Firma Winkler.

Die Ergebnisse der durchgeführten Einbau- und Belastungstests sind dem Zwischenbericht des Projektpartners zu entnehmen.



Bild 8: Entnommene Materialprobe als Schnitt mit Wärmeübertragerrohren

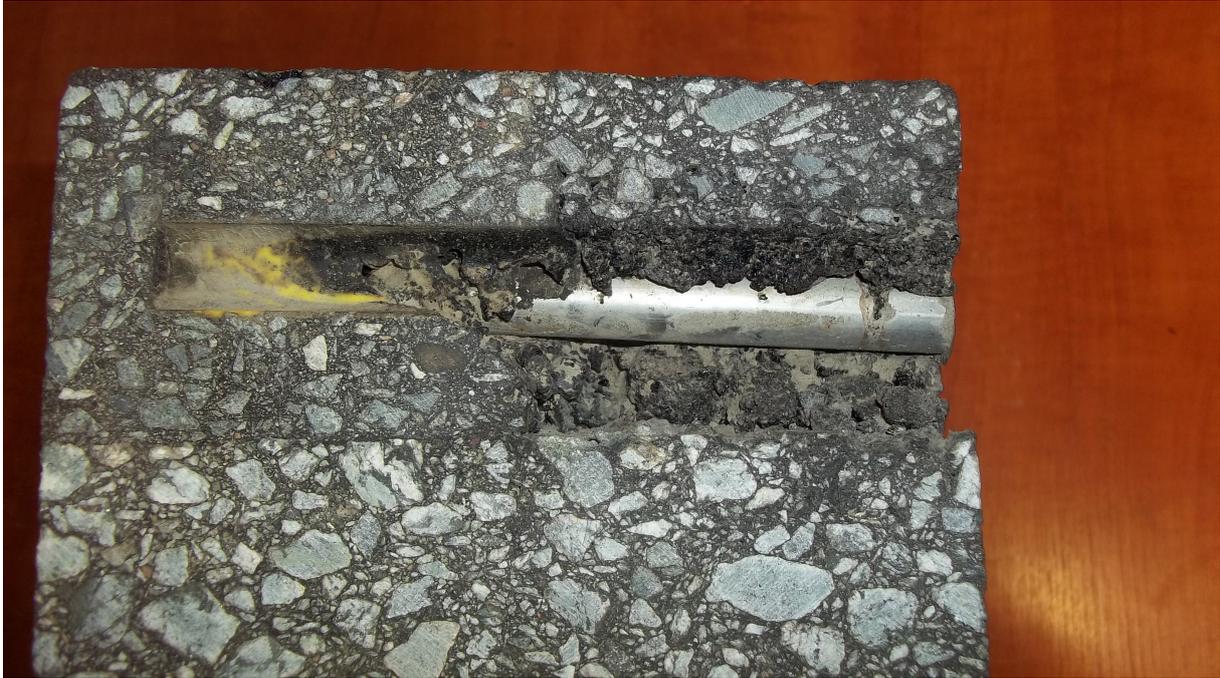


Bild 9: Entnommene Materialprobe als Schnitt mit Wärmeübertragerrohr (Fehlstelle beim Einbau)



Bild 10: Entnommene Materialprobe als Schnitt mit Wärmeübertragerrbögen

Im Folgenden wurden auf der Grundlage der Abgabeplanung und des Belegungsplanes der Testfläche BAST weitere konstruktive Lösungen entwickelt bzw. angepasst.

Die Parameter wurden wie folgt definiert:

- Abmessungen 2000 mm x 1300 mm (LxB)

- Gewicht: Ca. 18 – 20 kg
- Kernrohr: Ø 15 x 0,5 - 1.4301
- Lamelle: EN-AW8006 (s = 0,3 mm)
- Sammlerrohr Ø 33,7 x 2,6 - 1.4301

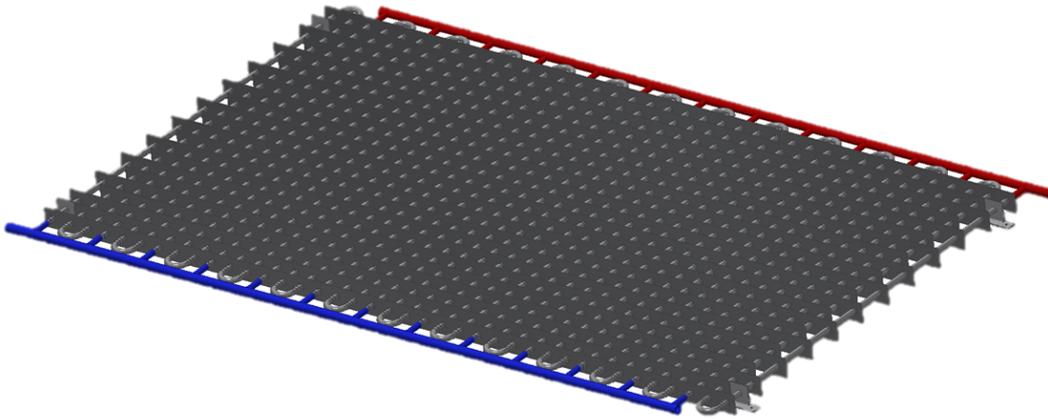


Bild 11: Konstruktion Wärmeübertrager Version 2

Die innere Verschaltung des Wärmeübertragers wurde für eine gleichmässige Temperaturverteilung geändert.

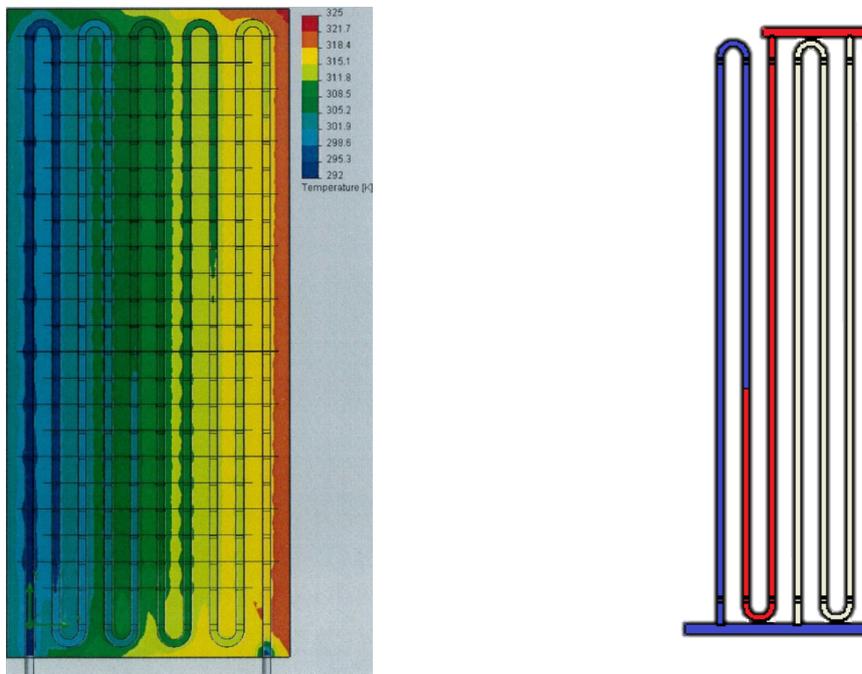


Bild 12: Verschaltung links alt, rechts neu

Die Testfläche 2,5 m x 5,5 m wird mit vier Wärmeübertragern (Kollektoren) belegt. Je Kollektor werden 13 einzelne Kreise verschalten.

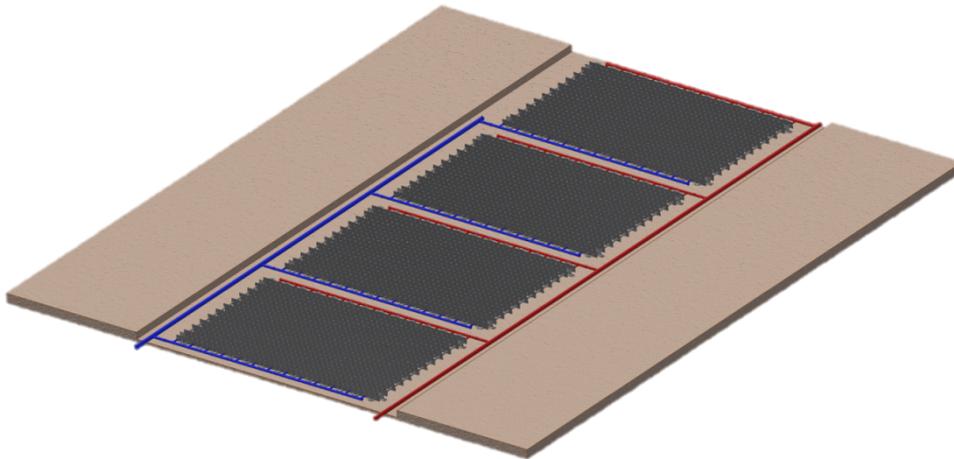


Bild 13: Verlegeplan Kombination Wärmetauscherelemente

Die Kollektoren werden segmentiert vorgefertigt und als Bauteile angeliefert. Die Verbindung erfolgt mittels transportablem Orbitalschweißgerät vor Ort. Es handelt sich um ein standardisiertes Verfahren. Die Verbindungen können schnell und sicher hergestellt werden.

Für die thermodynamischen Messungen am Versuchsaufbau BAST wird ein thermischer Verbraucher erforderlich. Dieser wurde als Rückkühleinheit mit 15 kW Leistung in Kombination mit einem Pufferspeicher konzipiert. Dafür steht eine Fläche von 1,6 m x 2,4 m neben der Testfläche zur Verfügung.

Arbeitspaket 10: Analyse technologischer Aspekte

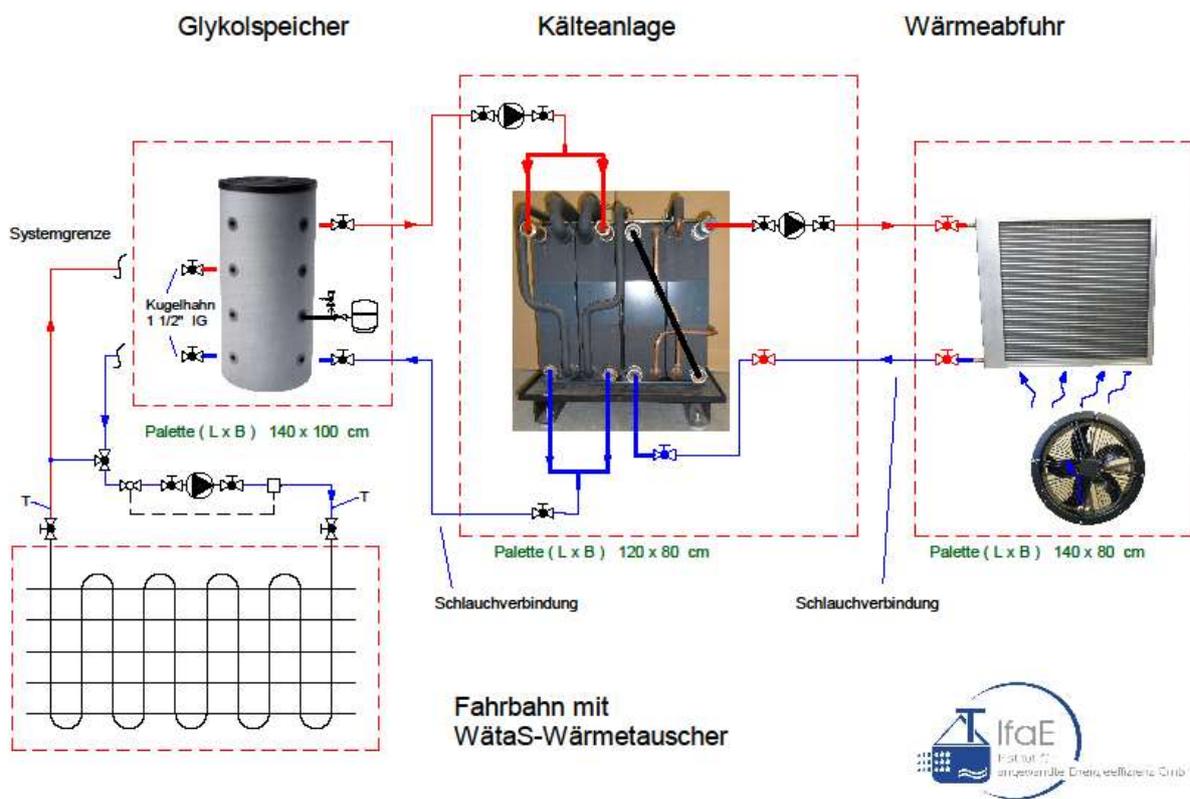
Auf der Grundlage einer präzisierten technischen Spezifikation des Lastenheftes wurde die Vorfertigung von Funktionsmustern vorgenommen. Dabei wurde die ausgewählte Verbindungstechnologie Orbitalschweißen für die zu verwendenden Edelstahlrohre 15 x 0,5 mm getestet. Insbesondere die Umgebungszustände für den Einbau im Freien stellten eine Herausforderung dar, da üblicherweise vom nur Gerätehersteller in house Bedingungen beschrieben wurden. Es konnte ein Arbeitsanweisung für die Verwendung im Freien erarbeitet werden, welche alle Arbeitsschutz und Qualitätserfordernisse beinhaltet. Gleichzeitig wurde die Lösung zur Verankerung der Wärmeübertrager auf dem zu erwartenden Baugrund mittels Versuchen getestet. Das führte zu einer konstruktiven Änderung

der Anordnung. Alle Materialspezifikationen wurden für die geplante Verwendung frei gegeben.

Arbeitspaket 11: Optimierungsprozess

In Abstimmung mit den Projektpartnern wurde eine Erweiterung des Untersuchungsspektrums um eine Heizfunktion in den Wintermonaten geprüft. Dazu sind die technischen Voraussetzungen der Rückkühleinheit nutzbar. Zur hydraulische Verschaltung und elektronischen Regelungen wurde jedoch ein zusätzlicher Aufwand notwendig, welcher im Interesse der Projektergebnisse durch die Bereitstellung von Eigenmitteln abgedeckt wurde.

Dazu wurden Anlagenkonzepte zum zusätzlichen Heizen im Winter erarbeitet. Es konnte auf Die Kühllösung aufgesetzt werden.



DrB 5723-102-02

Bild 14: Anlagensystem Heizen

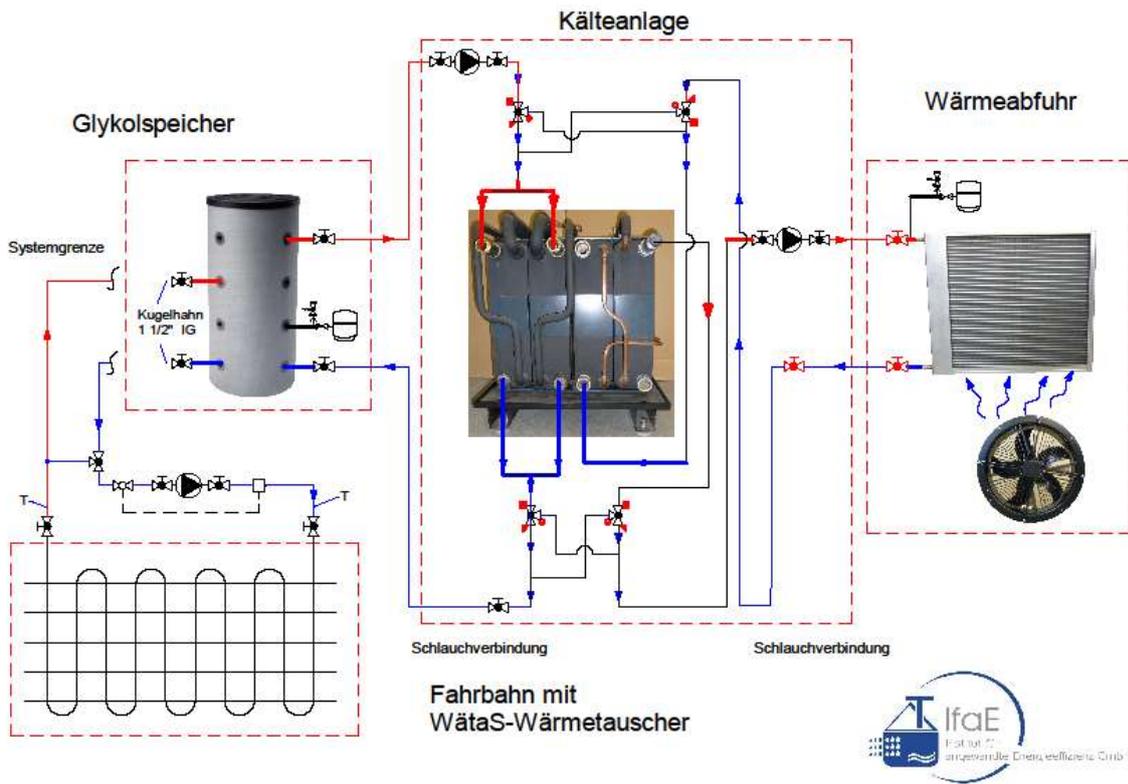


Bild 15: Anlagensystem Kühlen

Das Konzept wurde baulich umgesetzt und auf dem duraBAST Gelände installiert.

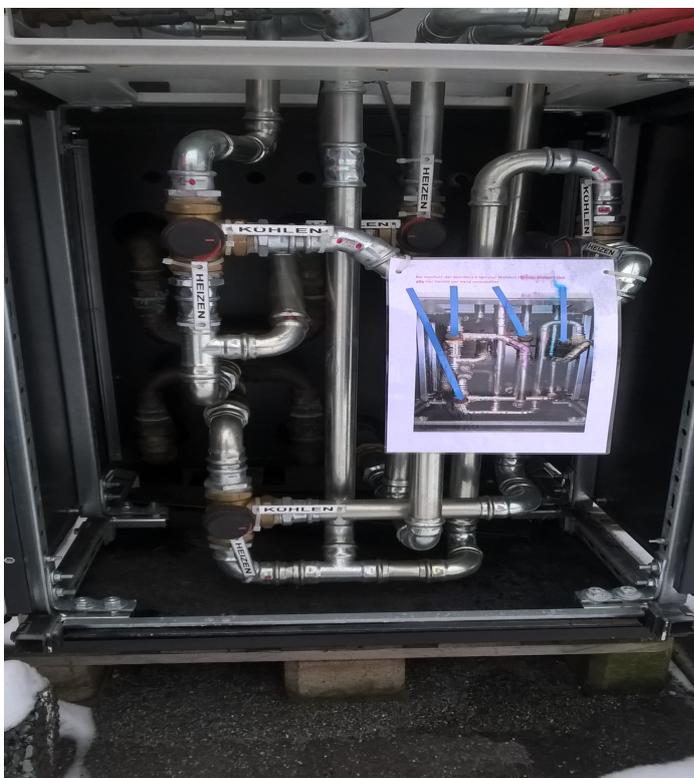
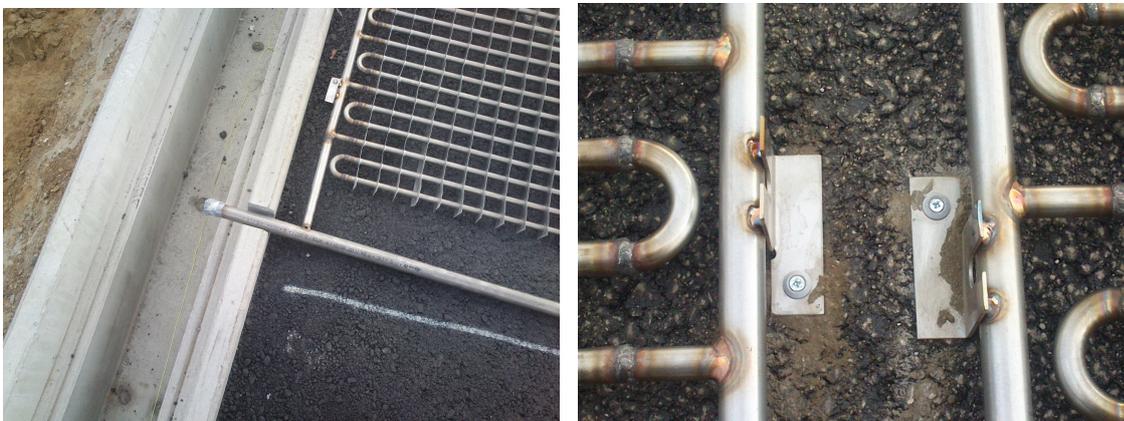


Bild 16: Einbau 3-Wegevenile mit Änderung Steuerung 2018

Arbeitspaket 12: Großmaßstäbliche Realisierung und Analyse auf duraBAST Gelände

Unter Beachtung der Entwicklungsergebnisse wurden die Demonstratoren für den Einbau im duraBAST Gelände gefertigt. Gleichzeitig wurde das Entwicklungskonzept zum Bau der Rückkühleinheit mit einer Leistung von 13,5 kW geräteseitig umgesetzt. Die Vormontage erfolgte am Unternehmensstandort. Beide Einheiten wurden in der Zeit vom 4. Bis 26. April 2017 an der zugewiesenen Stelle im duraBAST Gelände auf einer Fläche von 2,5 x 5,5 Meter durch eigene Mitarbeiter eingebaut.



Bilder 17-19: Einbausituation April 2017

Das System wurde hydraulisch verbunden und mit einem Prüfdruck von 6 bar abgedrückt. Danach erfolgte die Übergabe an den Projektpartner BAST. Die Deckschichten wurden durch eine Straßenbaufirma aufgetragen. Die vorliegenden Berichte zu diesen Abläufen bewerten die Einbaumöglichkeiten positiv. Es werden demnach keine konstruktiven und fertigungstechnischen Änderungen an den Demonstratoren erforderlich.



Bild 20: Montage Rückkühleinheit im duraBAST Gelände am 26. April 2017

Am 18. Oktober 2017 erfolgte unter Teilnahme der Projektmitarbeiter die feierliche Eröffnung des duraBAST Geländes. Dieser Anlass wurde neben der Präsentation der Projektergebnisse zur Darstellung des Unternehmens und für die Erarbeitung von weiteren Verwertungsansätzen genutzt.

Das duraBAST Gelände konnte über die Projektlaufzeit hinaus genutzt werden. Damit wurde der Auftaueffekt auf der Fläche der eingebrachten WätaS Wärmeübertrager nachgewiesen werde.



Bild 21: Auftaueffekte am 23.Januar 2019

Arbeitspaket 15: Wirtschaftlichkeitsbewertung

Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbewertung wurden im Abschlussbericht der TU Dresden zusammengefasst und sind diesem zu entnehmen.

Aus der Sicht hat sich die technische Lösung der WätaS (Wärmeübertragersystem) in fertigungstechnologischer Sicht, der großtechnischen Einbaubarkeit in Straßensysteme und den Kosten bewährt. Diese Lösung zeigt Potentiale, welche anderen marktbekannten Anwendungen gegenüber überlegen sind. Dies trifft auch auf die projektinterne Referenzanlage zu.

2. wichtigste Positionen des zahlenmässigen Nachweises

Die Bearbeitung des Forschungsvorhabens erfolgt mit einer kostenneutralen Verlängerung der Laufzeit um 12 Monate. Die Gesamtkosten der Vorkalkulation wurden eingehalten. Notwendiger Mehraufwand wurde durch Eigenmittel abgedeckt.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Entwicklung bedurfte des Nachweises, dass für die Eignung im großtechnisch organisierten Straßenbau eine Lösung zur Verwendung von Wärmübertragern geschaffen werden kann. Diese sollten ausgelegt, konstruiert, möglichst

massenfähig gefertigt in einer am Markt verfügbaren Materialart, als Wärmeleitstruktur in Straßenbelägen geeignet sein.

Alle notwendigen Arbeitsschritte zur Materialauswahl, kleintechnische Herstellung von Funktions- und Probemustern, der Technologieentwicklung und technologischen Umsetzung in Demonstratoren sowie deren Tests erforderte eine umfangreiche, interdisziplinäre Zusammenarbeit aller Kooperationspartner und des Unterauftragnehmers.

Die erfolgreiche Projektbearbeitung war nur möglich, da die Risiken der Projektteilnehmer durch eine Förderung gemindert wurden und die KMU eine Förderquote von 50 % akzeptierten.

4. voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Projektergebnisse wurden anlässlich der Messe ISH Frankfurt und Hannover Messe potentiellen Kunden vorgestellt. Dabei wurden die Demonstratoren genutzt. Insbesondere wurde die Nachfrage nach Messwerten und Referenzen deutlich. Dazu dienten die bis zum Abschluss erreichten Ergebnisse in geeigneter Form.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten werden nach wie vor positiv bewertet. Insgesamt wird eine Verwertbarkeit, insbesondere bei Industriekunden erwartet. Dazu erscheint die Anfrage eines Herstellers von Betonfertigteilen als besonders bedeutsam. Es wurde eine Marktnachfrage zu thermisch aktivierten Bauteilen bekannt, welche großtechnisch in einem Betonwerk herstellbar sind. Auf der Grundlage der positiven Projektergebnisse konnte ein Ansatz für die Anpassung an diese Produktkategorie gefunden werden. Da eine Zulassung als Baustoff zu erwarten ist wurde die TU Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau einbezogen. Die Produktentwicklung wird durch den Industriepartner erfolgen. WätaS positioniert sich als Lieferant der Wärmeübertragerstrukturen und der thermischen Schnittstellen.

5. bei Durchführung bekannt gewordene Fortschritte bei anderen Stellen

Das am duraBASt Standort realisierte Projekt HESTER, BMBF Förderschwerpunkt: HighTechMatBau, FKZ: 13XP5000A und weitere, beinhaltet bedeutsame Schnittstellen für technologische Verknüpfungsmöglichkeiten. Solche werden durch Kontaktaufnahme geprüft.

6. erfolgte oder geplante Veröffentlichungen

Im Rahmen der BMBF Aktivitäten zur HighTechMatBau-Konferenz 30. Januar 2018 in Berlin wurde ein projektbezogener Beitrag im Tagungsband veröffentlicht [7].

Literaturverzeichnis

- [1] Würtele, M. ; Sprinke, P. ; Eugster, W.: *Geothermie sorgt für Verkehrssicherheit – Geo VerSi Studie*, Ministerium für Bauen und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, 2005
- [2] Täuber, U. ; Ruckdeschel, M. ; Burkel, A.: *Konzeptstudie Straßentemperierung – Wunsiedler Straße, Stadt Marktredwitz*, Energieagentur Nordbayern GmbH, 2012
- [3] *Temperierte Straße – Machbarkeitsstudie*, Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: FE 09.174/2011/HRB, 2013
- [4] Feldmann, M. ; Döring, B. ; Hellberg, J.: *Vermeidung von Glatteisbildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie : Schlussbericht zum Forschungsvorhaben 15.401/2004/ARB*
- [5] Schutzrecht DE 202004006198 U1 (10. Februar 2005). DEIG Energietechnik-Insumma GmbH; OWK Umwelttechnik und Anlagenbau GmbH: *Solarkollektor zur Aufnahme von Erdwärme*
- [6] Schutzrecht DE 3101913 A1 (2. September 1982). Dempwolff, K. R.: *Solarenergie-Kollektor*
- [7] Tagungsband HighTechMatBau-Konferenz 30. Januar 2018 in Berlin. Fraunhofer IRB Verlag, *Untersuchung multifunktionaler Straßenbaumaterialien und Verbundwerkstoffe zur Nutzung solarer Energie und Verbesserung der Dauerhaftigkeit* Seiten 83-87, ISBN 978-3-7388-0082-1