

Unterlage 4-4-4-1

# Planfeststellungsverfahren

**Ersatzneubau der alten Levensauer Hochbrücke  
und  
Ausbau des Nord-Ostsee-Kanals  
NOK-Km 93,2 – 94,2**

Thermisch instationäre Strömungssimulation der  
Gewölbekammer des Widerlagers Süd

**VORHABENTRÄGER:**

**WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT KIEL-HOLTENAU  
SCHLEUSENINSEL 2  
24159 KIEL-HOLTENAU**



**VERFASSER:**

**INVENIO Lintner Engineering GmbH**

**Stand: 21.08.2014**

## **Kurze Erläuterung**

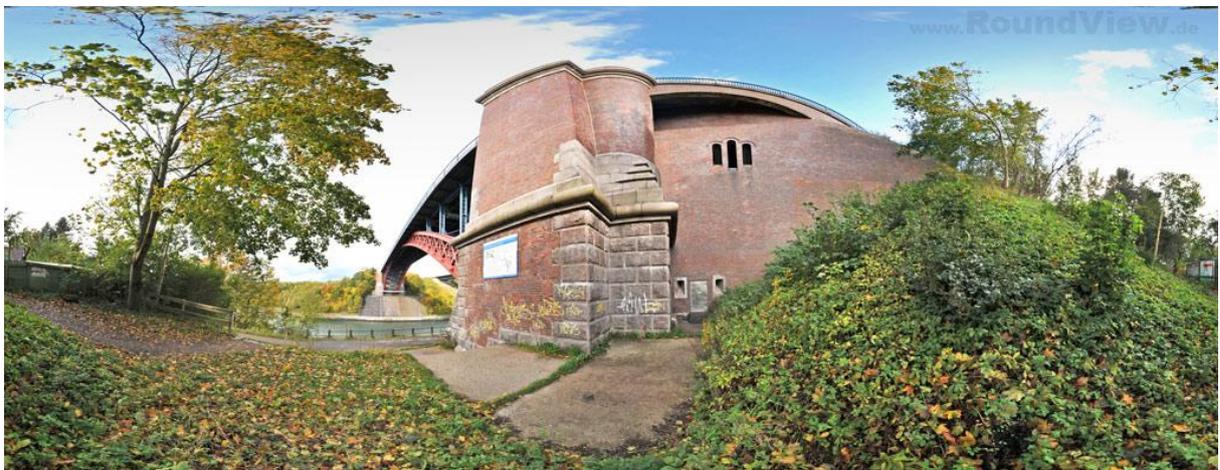
Das südliche Widerlager der vorhandenen Brücke soll aus artenschutzrechtlichen Gründen erhalten bleiben und mit der neu geplanten Brücke überbaut werden. Die dafür notwendigen baulichen Anpassungen des bestehenden Bauwerks sind Gegenstand der hier vorliegenden bauphysikalischen Untersuchungen.

Das Ziel der Analyse ist die Ermittlung der Temperaturverteilung in der Gewölbekammer sowie im Bereich der Spalten des Widerlagers im bestehenden Zustand sowie im Zustand nach der Fertigstellung des Ersatzneubaus. In dieser Unterlage erfolgt nur eine Beurteilung des durch Simulation ermittelten Temperaturfeldes sowie der Bauphysik. Die Ergebnisse des Gutachtens bilden die Grundlage der Beurteilung zukünftiger artenschutzrechtlicher Gesichtspunkte im Rahmen einer Stellungnahme zu den Sanierungsarbeiten am Widerlager Süd im Zuges des Ersatzneubaus der Levensauer Hochbrücke durch den Biologen Dr. Dietz (vgl. Unterlage 4-4-4-2).

Die Unterlage gliedert sich wie folgt:

Bericht

Thermisch instationäre Strömungssimulation der  
Gewölbekammer des südlichen Widerlagers der  
Hochbrücke Levensau 1 zum Zwecke des  
Artenschutzes



# Abschlussbericht

**Titel:** Thermische Strömungsanalyse Hochbrücke Levensau I

**Auftrag Nr.:** 130315 Version 1.13

**Datum:** 21.08.2014

**Analyse:** turbulent instationär

**Verteiler:** WKC Hamburg GmbH  
Tempowerkring 1b  
D-21079 Hamburg

**Verfasser:** invenio Lintner Engineering GmbH  
(seit 01.01.014 invenio Technical Simulations GmbH)  
Halskestr. 3-5  
D – 47877 Willich  
Tel.: 02154/8874-10  
Fax.: 02154/8874-25  
E-Mail: viktor.schmidt@invenio.net

**Ansprechpartner:** Dipl.-Ing. Viktor Schmidt – Berechnung  
Dipl.-Wirt.-Ing. Lars Hagen – Vertrieb / Projektplanung

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Grundlage des Berechnungsprojektes.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Ziel der Analyse.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Schritt 1: Aufbau des CAD-Modells.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Erstellung und Aufbau des CFD-Berechnungsmodells .....</b>	<b>14</b>
<b>5. Randbedingungen und Belastungen.....</b>	<b>16</b>
<b>6. Materialeigenschaften .....</b>	<b>21</b>
<b>7. Messsensoren.....</b>	<b>28</b>
<b>8. Berechnungsergebnisse .....</b>	<b>36</b>
<b>8.1 Temperaturverteilung.....</b>	<b>39</b>
<b>9. Zwischenresümee Teil I.....</b>	<b>45</b>
<b>10. Schritt 2: Berechnung der modifizierten Struktur mit einer thermischen Abschottung .....</b>	<b>46</b>
<b>10.1 Schritt 2: Modellierungsunterlagen .....</b>	<b>46</b>
<b>10.2 Materialeigenschaften .....</b>	<b>48</b>
<b>10.3 Berechnungsergebnisse Temperaturverteilung .....</b>	<b>49</b>
<b>11. Zwischenresümee Teil II .....</b>	<b>55</b>
<b>12. Schritt 3: Vergleich Teil I und Teil II.....</b>	<b>56</b>
<b>13. Resümee .....</b>	<b>63</b>
<b>14. Quellenverzeichnis.....</b>	<b>64</b>

## 1. Grundlage des Berechnungsprojektes

Die Ingenieurgemeinschaft WK Consult und Anwikar Consultants ist mit der Planung des Ersatzneubaus der 1. Hochbrücke Levensau über den Nord-Ostsee-Kanal in der bestehenden Trasse beauftragt. Nach umfangreicher Variantenuntersuchung ist als Zielvariante vorgesehen, den Ersatzneubau in der vorhandenen Trasse zu errichten. Das südliche Widerlager der vorhandenen Brücke muss aus Gründen des Artenschutzes erhalten bleiben und soll mit der neuen Brücke überbaut werden. Die dafür notwendigen baulichen Anpassungen des bestehenden Bauwerks sind Gegenstand der hier vorliegenden bauphysikalischen Untersuchungen.

Das südliche Widerlager der Brücke besteht aus einem etwa 25 m hohen Ziegelpfeiler und einer dahinter angeordneten Gewölbekammer. Diese Gewölbekammer ist etwa 15 m hoch und 16 m breit. Die Gewölbekammer wird von einem bis zu rund 2 m starken Ziegelgewölbe, welches derzeit auch von Eisenbahnzügen befahren wird, überspannt.

In den vertikalen Fugen zwischen dem Gewölbe und den Flügelmauern (Bauwerksfuge, ca. 4 cm +/- 2 cm breit, zwischen 1 bis 1,8 m tief) befindet sich mit ca. 5000 Individuen eines der größten Winterquartiere Nordeuropas der nach § 44 ff. des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) streng geschützten Fledermausart *Nyctalus noctula* (Großer Abendsegler). In den Fugen findet kein Luftwechsel (ausgenommen Infiltration) statt. Das Habitat des Großen Abendseglers ist dauerhaft zu erhalten. Im Zuge des Brückenneubaus ist es erforderlich, die Stärke der bestehenden Erd- bzw. Magerbetonüberschüttung des Gewölbes zu verringern.

Grundlage für die vorliegenden Berechnungen sind neben den Angaben zur Geometrie die vom Deutschen Wetterdienst (kurz DWD) zur Verfügung gestellten Messdaten zur Erfassung von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Wärmeeintrag aus Sonneneinstrahlung. Die DWD Daten entstammen der von der Hochbrücke Levensau rund 3 km entfernten Wetterstation Kiel-Holtenau.

Die rechnerisch ermittelten Temperaturen wurden den Langzeit-Temperaturmessreihen von Chirotec (Herr Kugelschafter)<sup>1</sup> gegenübergestellt. Innerhalb des Erfassungszeitraums von drei Jahren wurden die Außen-, Spalten und Innenraumtemperaturen erfasst.

---

<sup>1</sup> [Langzeit-Temperaturmessreihen]

## 2. Ziel der Analyse

Das Ziel der vorliegenden Analyse ist die Ermittlung der Temperaturverteilung in der Gewölbekammer sowie im Bereich der Spalten im bestehenden Zustand sowie im Zustand nach Fertigstellung des Ersatzneubaus.

Die Analyse wird dabei in drei Schritten durchgeführt:

### Schritt 1: Erstellung und Verifizierung des Berechnungsmodells

Basis des Berechnungsmodells ist die Geometrie des bestehenden Widerlagers inklusive dessen unmittelbarer Umgebung. Hierfür wurde ein räumliches Volumenmodell (siehe CAD-Modell) erstellt.

Da der zeitliche Umfang der Simulation enorm ist (ein Jahr), musste die Aufgabestellung gesplittet werden. Zunächst (Schritt 1A) wird eine Strömungsanalyse durchgeführt. Dabei werden die Windrichtungen, Windgeschwindigkeit sowie Temperatur der Luft variiert. Als Ergebnis liegt die Wärmeübertragung zwischen der Luft und der Brückenstruktur fest. Diese ist eine komplexe Funktion der eben erwähnten Parameter.

Im nächsten Schritt (1B) wird eine thermische Analyse durchgeführt. Die Luftströmung wird dabei nicht berücksichtigt, sondern durch die gewonnene Konvektion ersetzt. Dies erlaubt die thermische Analyse mit einem Schritt von nur einer Stunde durchzuführen, was die Genauigkeit der Berechnung deutlich erhöht.

Die berechneten Temperaturen werden in den vordefinierten Bereichen (an den Messstellen) ausgewertet.

Da die geometrischen und thermischen Randbedingungen sowie die Materialeigenschaften der Baustoffe der bestehenden Konstruktion variieren und erfassungsbedingte Ungenauigkeiten bestehen, ist es erforderlich, eine Verifikation des Berechnungsmodells durchzuführen. Die Verifizierung dient zum Abgleich und zur Anpassung der durch Chirotec gemessenen Temperaturen und der rechnerisch ermittelten Temperaturen. Grundlage dieser Modellanpassung bilden folgende Parameter:

- Wärmewiderstand zwischen der Gewölbemauer, der Gewölbedecke und der Luft innerhalb des Gewölbes
- absorbierte Wärmestrahlung durch die Sonne <sup>2</sup>
- Erdoberflächtemperatur
- Temperatur des Wassers
- Wärmefluss des Wassers - Baugrund

---

<sup>2</sup> <http://www.engineeringtoolbox.com>

Die Parameter des Modells wurden solange variiert, bis die Abweichung zwischen den berechneten Werten und den gemessenen Werten ein Minimum ergab.

Schritt 2: Berechnung der modifizierten Struktur mit verringerter Gewölbeüberdeckung und Wärmedämmung.

Das verifizierte Berechnungsmodell wird dabei geometrisch angepasst und berechnet. Es ist zu erwarten, dass durch eine geänderte Beschaffenheit (höhere Wärmeleitfähigkeit infolge geringerer Gewölbeüberdeckung) eine niedrigere Temperatur im Gewölbe auftritt. Um dies zu vermeiden, müssen zusätzlich thermische Widerstände (Wärmedämmung) eingebaut werden.

Schritt 3: Vergleich der Berechnungsergebnisse aus Schritt 1 und Schritt 2

Die Berechnungsergebnisse aus der Verifikation werden in diesem Schritt mit den Berechnungsergebnissen aus Schritt 2 verglichen. Auf Basis dieses Vergleiches kann eine Aussage über die Abweichung der Temperaturen in der Gewölbekammer und im Bereich der Spalten getroffen werden.

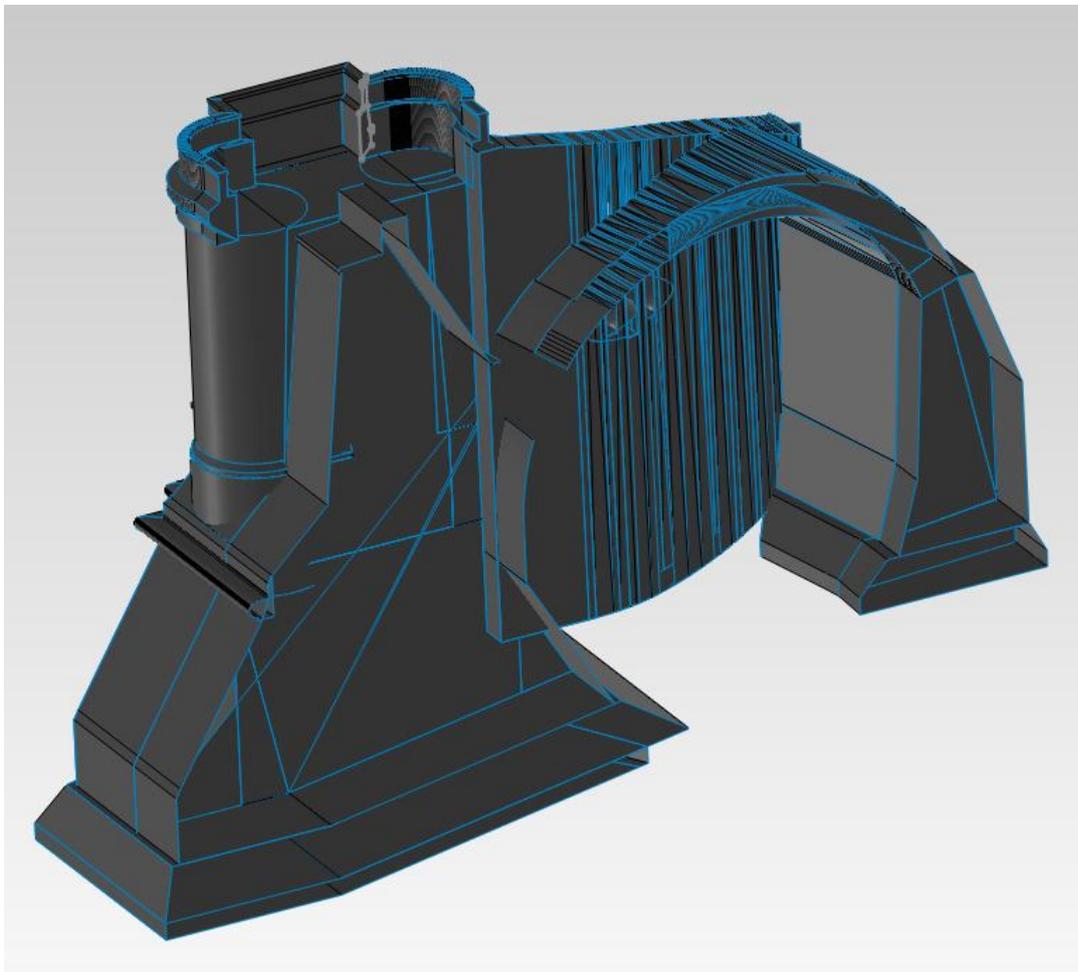
### 3. Schritt 1: Aufbau des CAD-Modells

Die Erstellung des CAD-Modells bildet die Grundlage für den Aufbau des thermischen und strömungstechnischen Simulationsmodells. Auf Basis der folgenden Dateien wurde das CAD-Modell erstellt.

Dateibezeichnung
3D Widerlager.pdf <sup>3</sup>
BAUGRUND A39550110286_Hochbruecke_Levensau.pdf <sup>4</sup>

**Tabelle 1:** Daten zur Grundlage des CAD-Modells

Die folgenden Abbildungen dienen als grafische Grundlage für die Generierung des CAD-Modells.

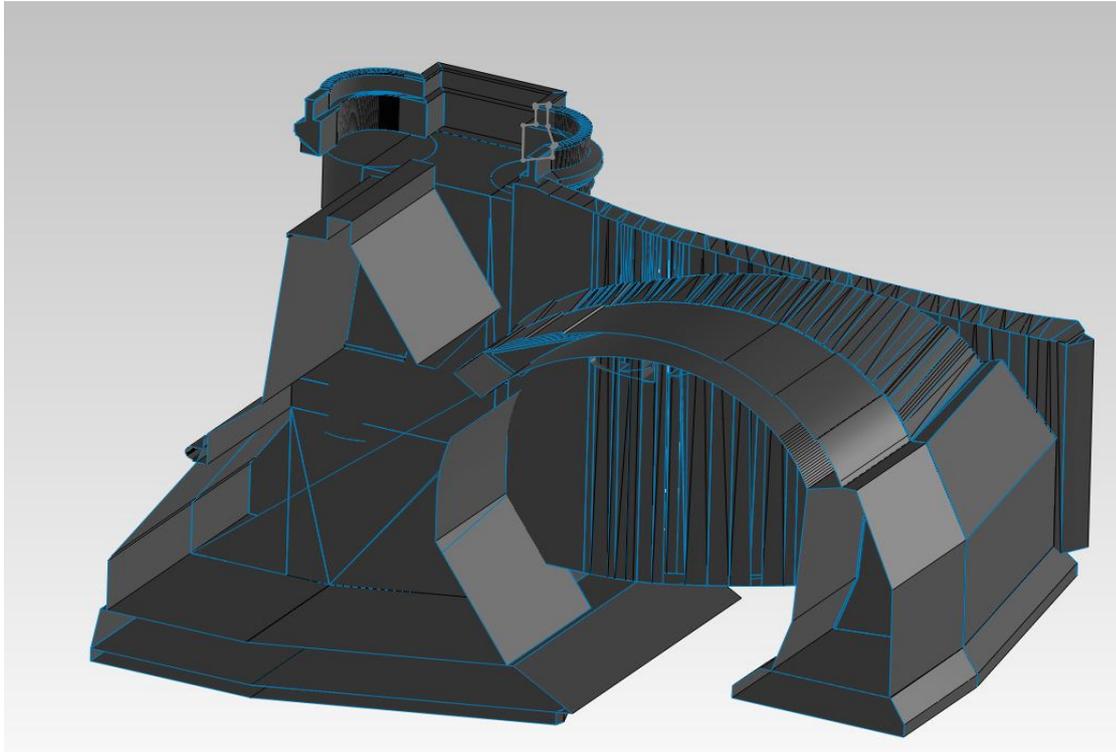


**Abbildung 1:** CAD-Teilmodell<sup>5</sup> vom Auftraggeber im Schnitt

<sup>3</sup> [Dokument 3D-CAD-Modell-Widerlager]

<sup>4</sup> [Dokument Baugrund]

<sup>5</sup> [CAD-Modell]



**Abbildung 2:** CAD-Teilmodell<sup>6</sup> vom Auftraggeber im Schnitt

In den nachfolgenden beiden Schnitten ist die Lage der Spalten zwischen der Gewölbedecke und den seitlichen Flügelnwänden erkennbar. In diesen Spalten befinden sich die Fledermäuse. Der Schnitt 1-1 befindet sich im Bereich des Gewölbescheitels. Hier ist die Überdeckung der Spalten durch den Schutzbeton und die Auffüllung am geringsten.

Der Schnitt 2-2 ist nördlich des Schnittes 1-1 geführt. Da hier das Gewölbe abfällt, ist hier die Überdeckung der Spalte deutlich höher. Gleiches gilt für die Spaltbereiche südlich des Gewölbescheitels, auch hier ist die Mächtigkeit der Auffüllung oberhalb der Spalten aufgrund des abfallenden Gewölbes deutlich höher.

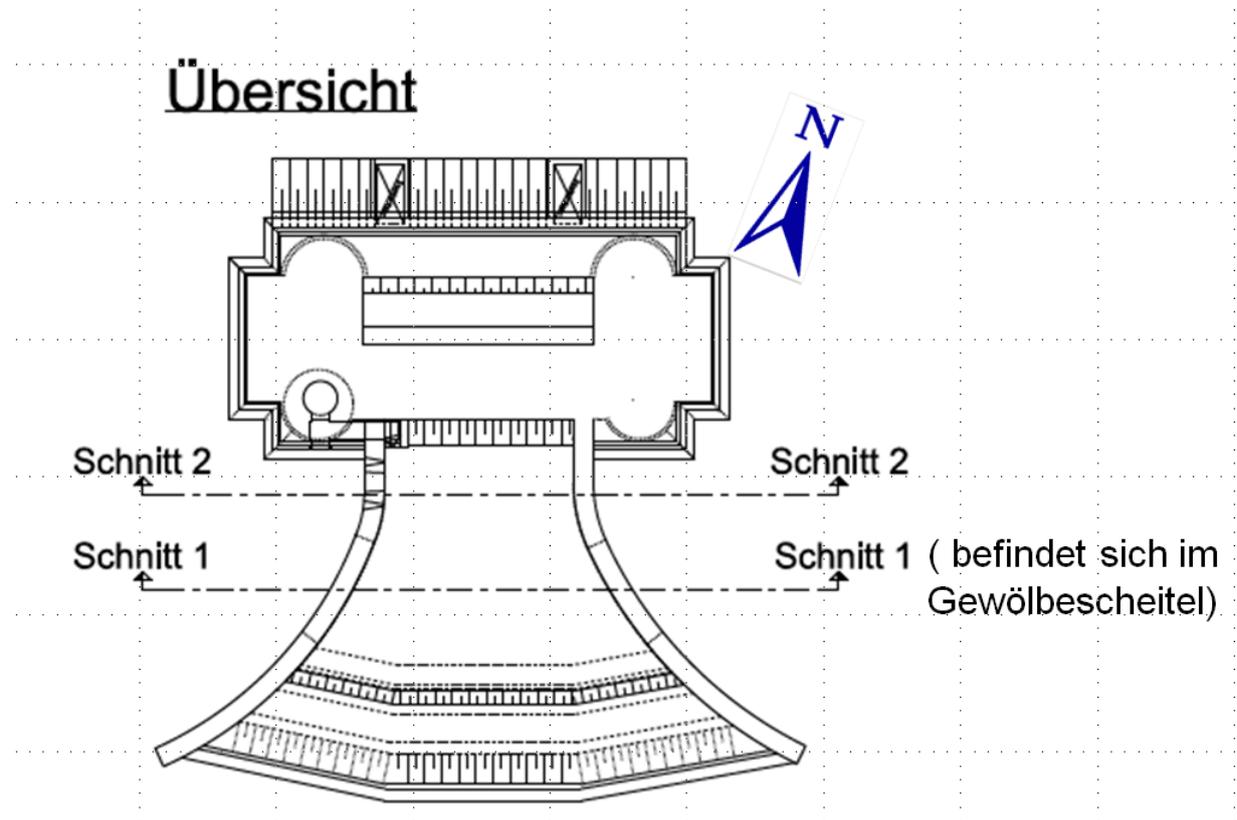
Für die Schnitte 1-1 und 2-2 werden jeweils der Bestandszustand sowie der Zustand nach dem Umbau nachfolgend dargestellt.

Es ist erkennbar, dass die Spalte im Schnitt 1-1 im Bestand nur eine sehr geringe Überdeckung aufweisen. Dieser Zustand wird durch die Umbaumaßnahme nicht negativ verändert. Im Gegenteil, hier wird eine zusätzliche Schutzschicht bestehend aus 10 cm Schutzbeton C 20/25, 14 cm Wärmedämmung aus Schaumglas, 1 cm dreilagige Abdichtung aus Bitumen sowie 15 cm Schutzbeton C 20/25 aufgebracht.

---

<sup>6</sup> [CAD-Modell]

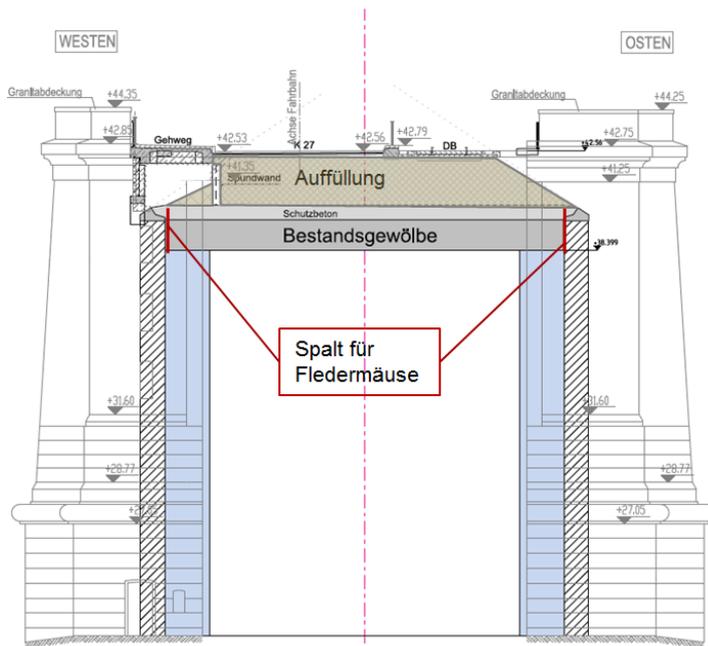
Im Schnitt 2-2 sind im Bestand oberhalb der Spalte eine mächtige Aufbetonschicht und eine Auffüllung. Durch die Umbaumaßnahme wird die Auffüllung entfernt und ein Teil der Aufbetonschicht abgebrochen. Die Spalten sind jedoch auch nach der Umbaumaßnahme nach wie vor durch eine relativ mächtige Schutzbetonschicht überdeckt. Zudem wird als Kompensationsmaßnahme über den gesamten Bereich die wie vor beschriebene Schutzschicht aufgebracht.



**Abbildung 3:** Schnittführung im Grundriss<sup>7</sup>

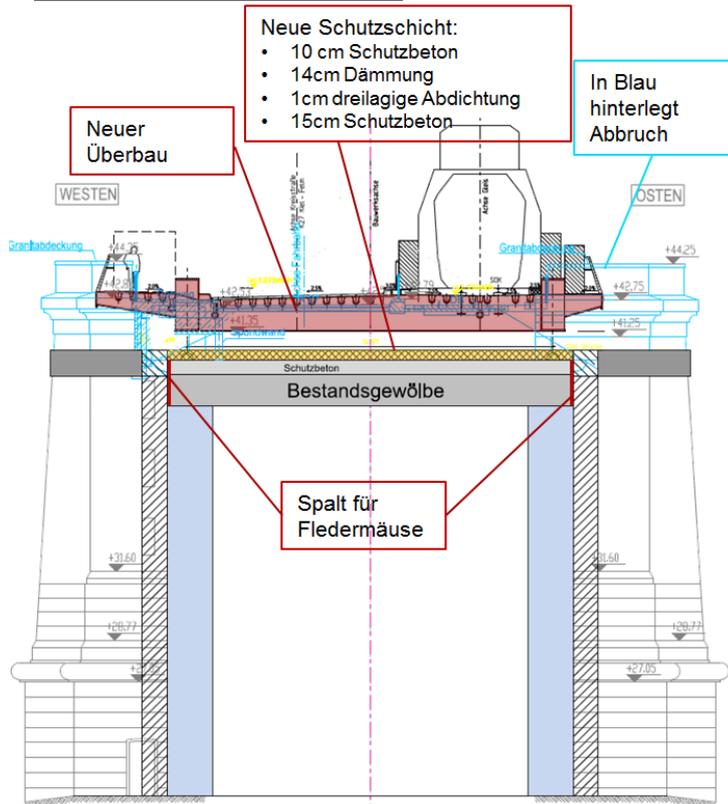
<sup>7</sup> [Schnitt Grundriss der Gewölbekammer]

**Schnitt 1-1 Bestand**



**Abbildung 4:** Schnitt 1-1 im Bestand<sup>8</sup>

**Schnitt 1-1 nach Umbau**

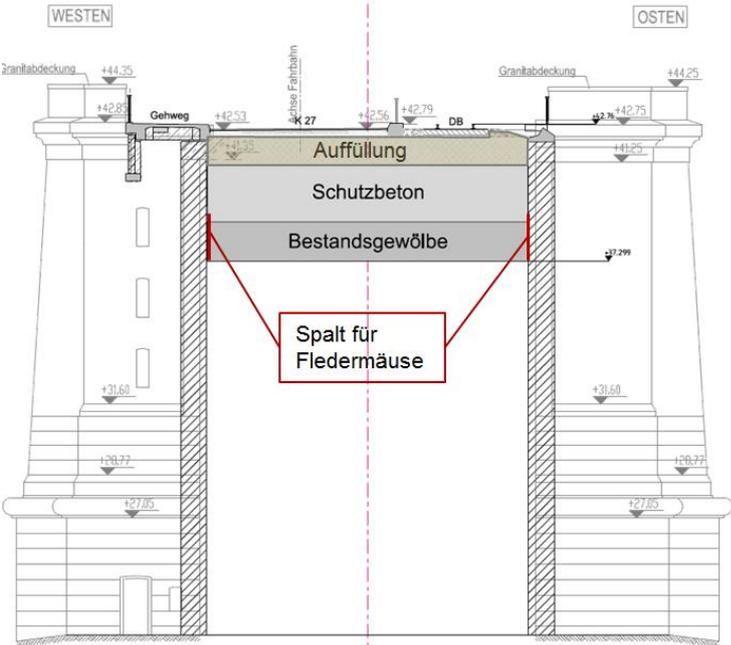


**Abbildung 5:** Schnitt 1-1 nach Umbaumaßnahme<sup>9</sup>

<sup>8</sup> [Schnitt 1 der Gewölbekammer im Bestand]

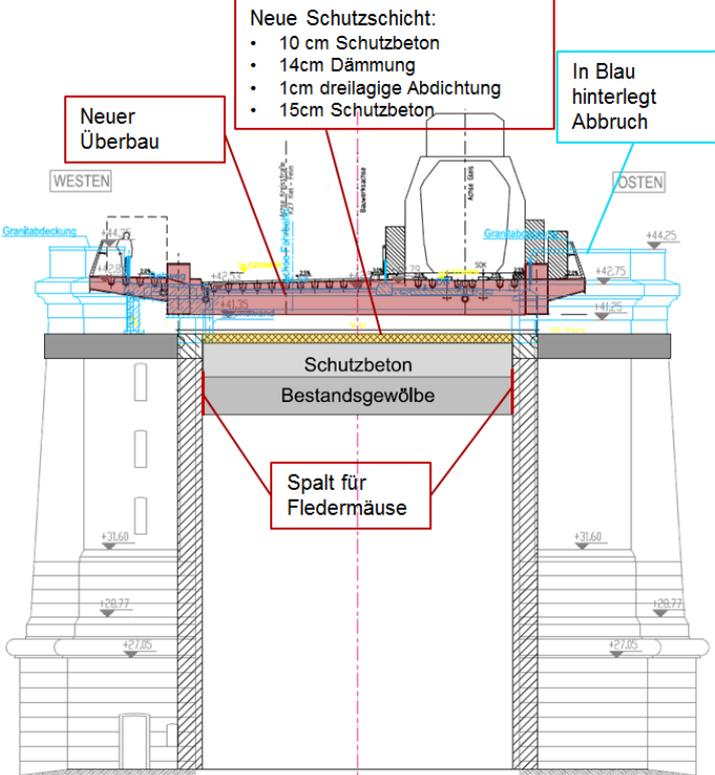
<sup>9</sup> [Schnitt 1 der Gewölbekammer nach Umbau]

**Schnitt 2-2 Bestand**



**Abbildung 6:** Schnitt 2-2 im Bestand<sup>10</sup>

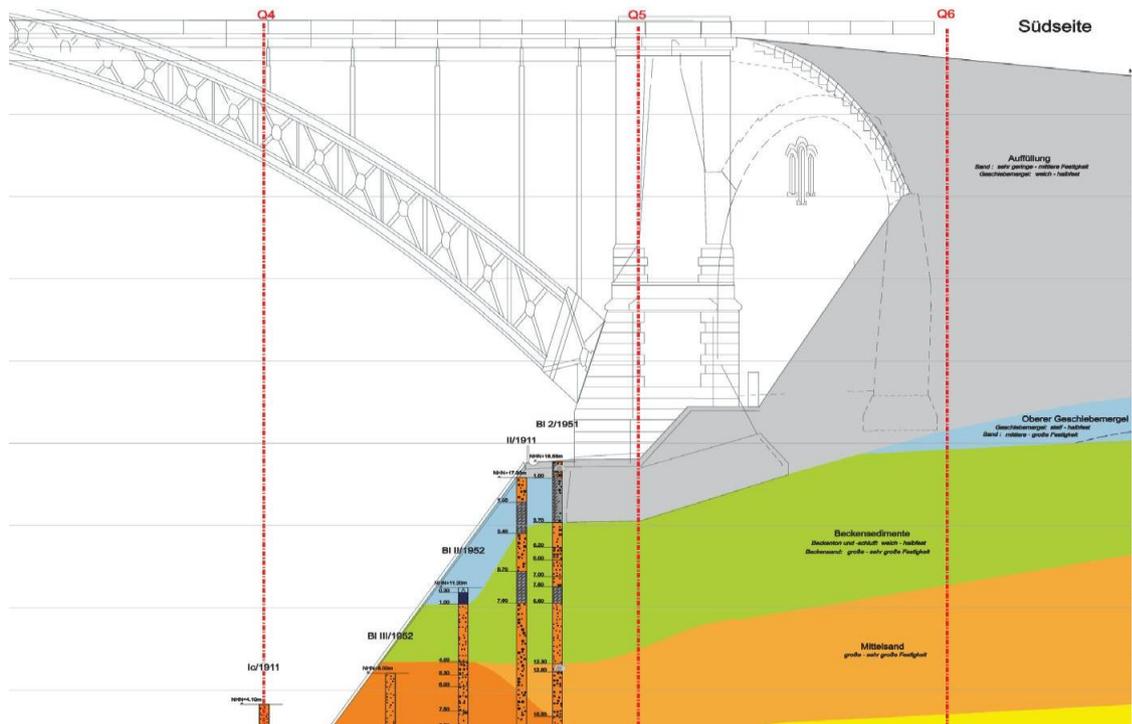
**Schnitt 2-2 nach Umbau**



**Abbildung 7:** Schnitt 2-2 nach Umbaumaßnahme<sup>11</sup>

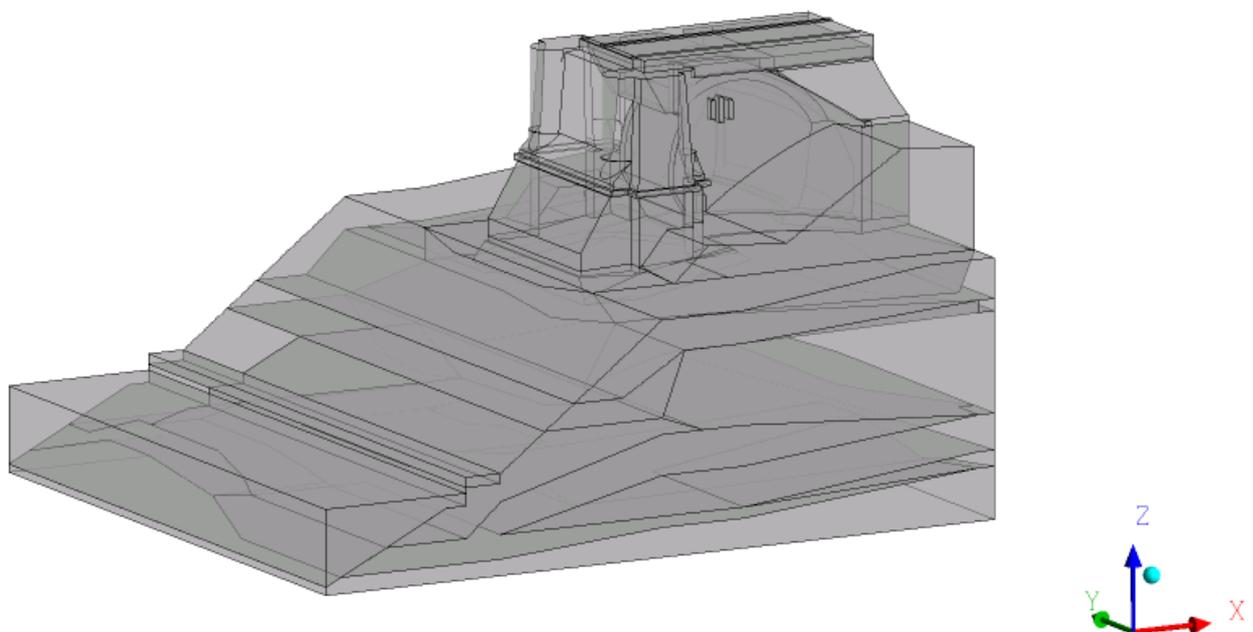
<sup>10</sup> [Schnitt 2 der Gewölbekammer Bestand]

<sup>11</sup> [Schnitt 2 der Gewölbekammer nach Umbau]



**Abbildung 8:** Längsschnitt<sup>12</sup> zur Brückenachse (Ausschnitt)

Die folgende Abbildung zeigt das generierte CAD-Modell.



**Abbildung 9:** CAD-Modell<sup>13</sup> für die thermische Strömungsanalyse

<sup>12</sup> [Längsschnitt zur Brückenachse]

<sup>13</sup> [CAD-Modell]

Auf Grund der zu erwartenden sehr geringen Temperaturgradienten wurden bei der Erstellung des CAD- und des Berechnungsmodells nicht signifikante Geometrie-einheiten (kleine Radien, Kanten und Spalte) vernachlässigt. Diese Vereinfachungen haben keinen Einfluss auf die Genauigkeit der Berechnungsergebnisse.

#### 4. Erstellung und Aufbau des CFD-Berechnungsmodells

Die numerische Strömungsmechanik (englisch: *computational fluid dynamics, CFD*) ist eine etablierte Methode der Strömungsmechanik. Sie hat das Ziel, strömungsmechanische Aufgabenstellungen approximativ mit numerischen Methoden zu lösen.

Aus Basis eines CAD-Modells wird ein virtuelles CFD-Simulationsmodell aufgebaut. Dieses entspricht den geometrischen Bedingungen des CAD-Modells und ist Grundlage einer jeder CFD-Simulation. Dabei wurde der Aufbau zum Teil manuell bearbeitet. Im Anschluss erfolgte eine CFD-Netz- und Qualitätskontrolle im 4-Augen-Prinzip.

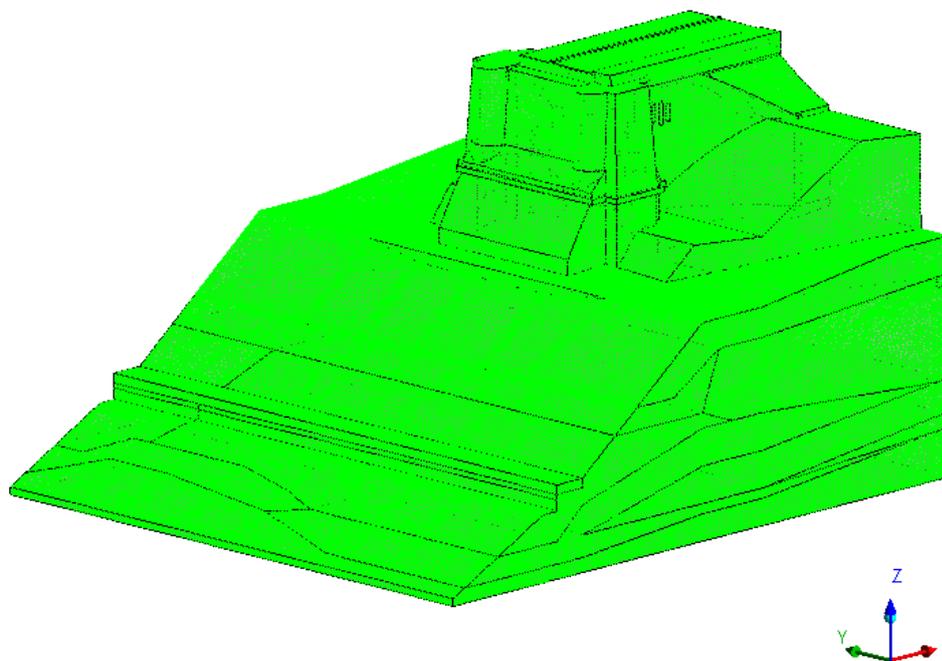
In der folgenden Tabelle sind die CFD-Modelleigenschaften aufgelistet. Diese Angaben dienen zur Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit, um die Modellqualität darzustellen.

Elementtyp	Anzahl
Knoten	1.029.702
Tetraeder	5.012.390

**Tabelle 2:** Anzahl der Elementtypen

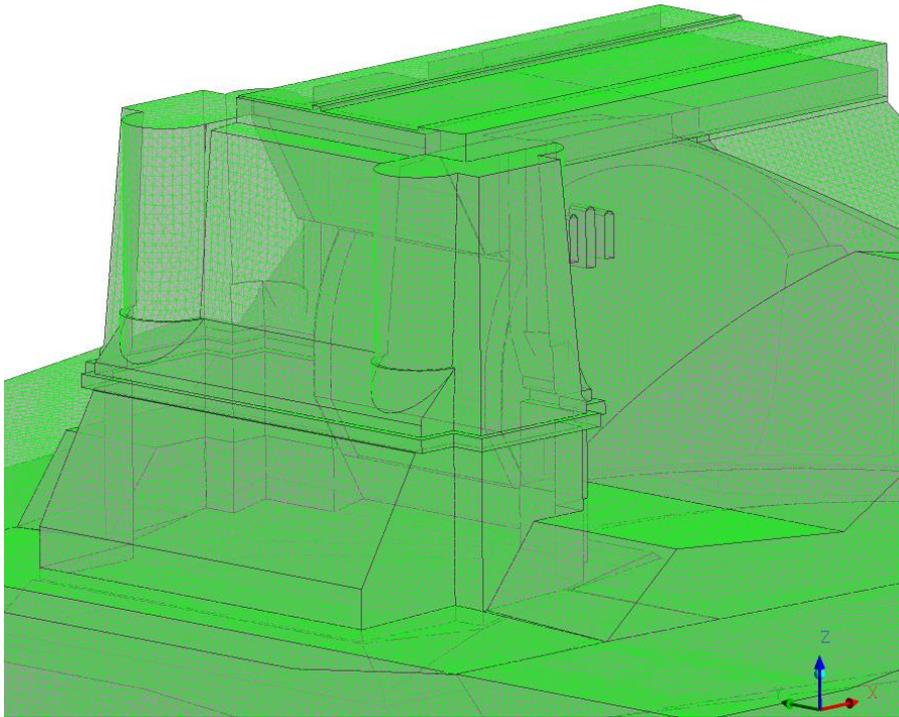
Die Berechnung wird mit einem Softwarepaket von Ansys (CFX) auf einer 16-Kern-Workstation durchgeführt. Ansys CFX wird verwendet, da diese Software technisch führend ist und das gesamte Anwendungsspektrum der Strömungsmechanik abdeckt. Die durchschnittliche Berechnungszeit einer Berechnungsschleife dauert etwa 70 Stunden. Während der Verifikation ist mit einigen Berechnungsschleifen zu rechnen.

Die folgende Abbildung zeigt das Berechnungsmodell für die Strömungsanalyse.

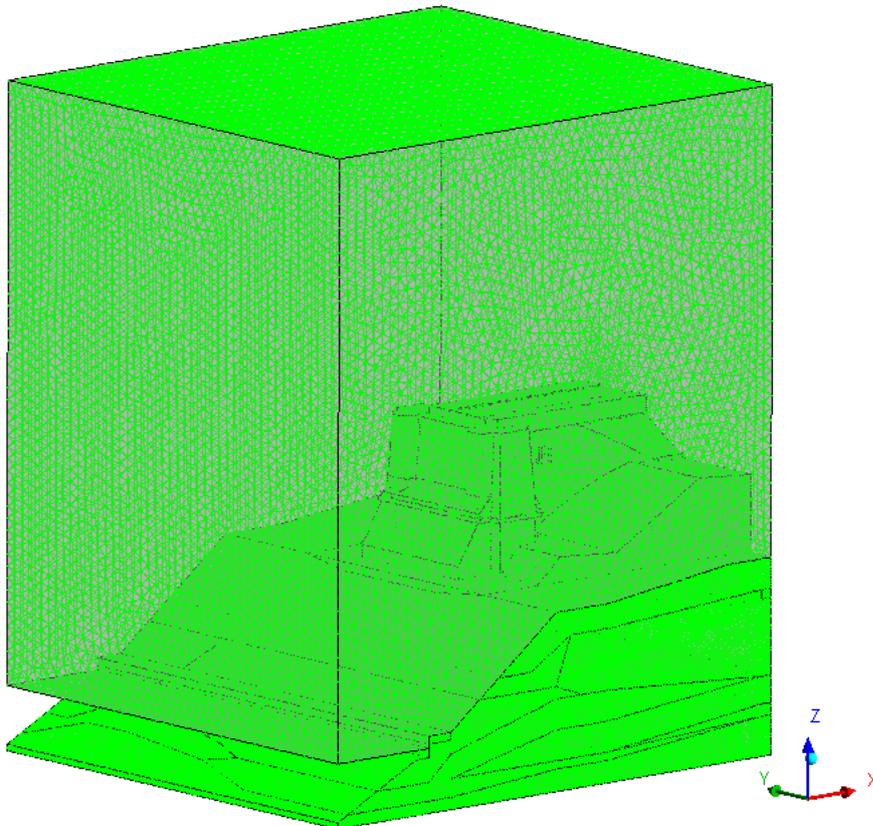


**Abbildung 10:** Berechnungsmodell Strömungsanalyse (Volumenelemente, Feststoffe)

(Grafik wird automatisiert aus dem Berechnungsprogramm AnsysCFX herausgeschrieben. Eine andere Auflösung ist nicht möglich.)



**Abbildung 11:** Berechnungsmodell Strömungsanalyse Volumennetz

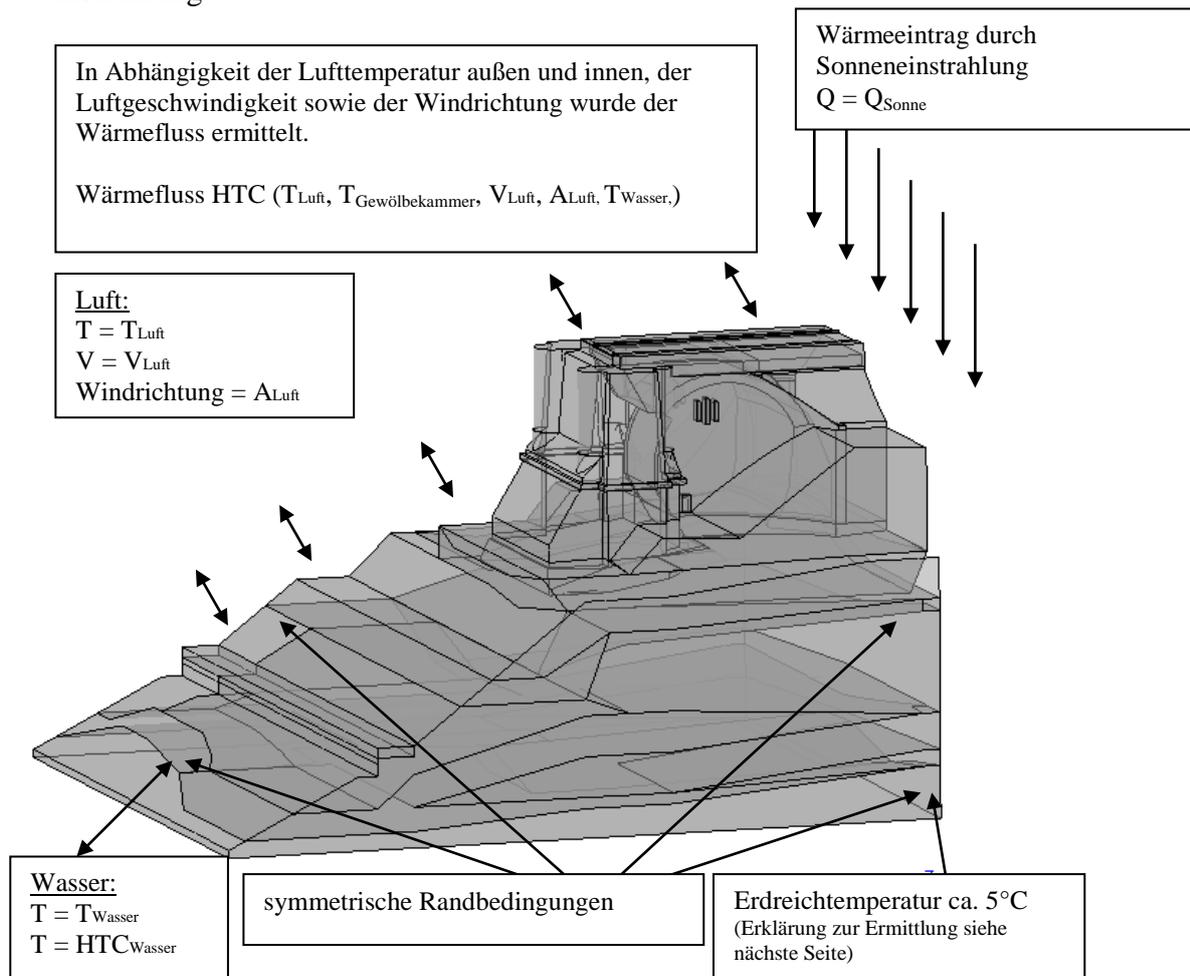


**Abbildung 12:** Berechnungsmodell Strömungsanalyse global

## 5. Randbedingungen und Belastungen

In den folgenden Abbildungen sind die Randbedingungen und Belastung für die CFD-Strömungsanalyse dargestellt.

- Oberflächentemperatur
- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit
- Windrichtung



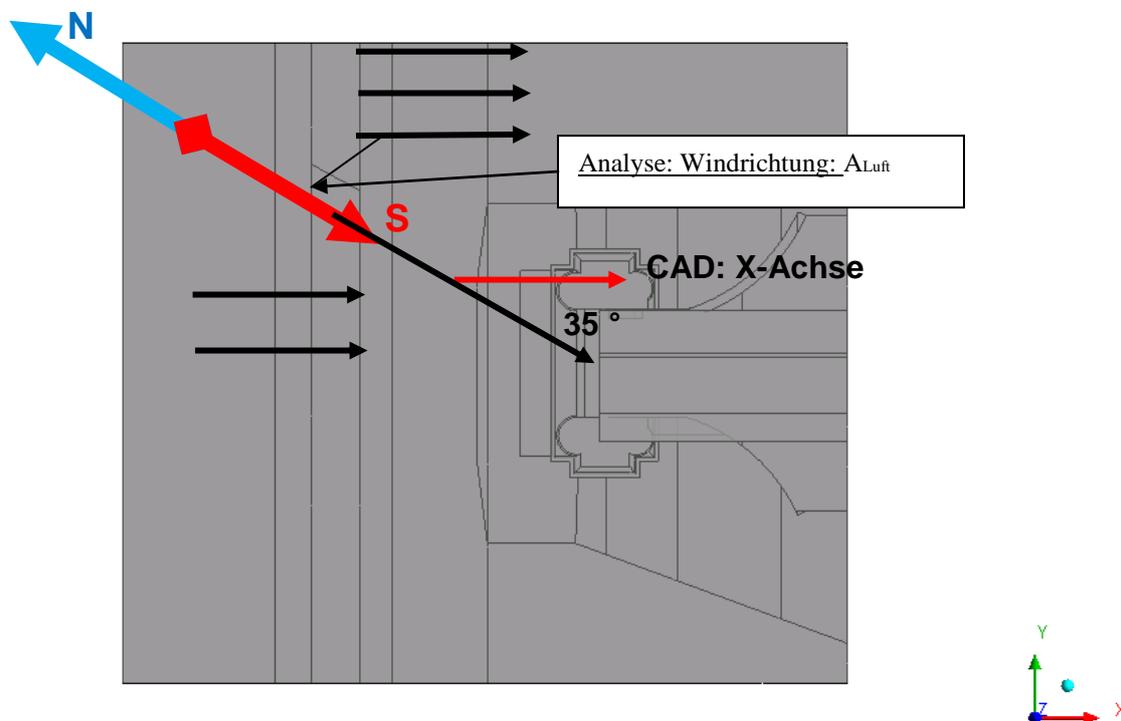
**Abbildung 13:** Randbedingungen

Erklärung zur Ermittlung der Erdreichtemperatur:

In den ersten Tiefenmetern wird der Wärmehaushalt maßgeblich durch die Sonneneinstrahlung, sowie durch Sicker- und Grundwässer beeinflusst. In einer Tiefe von 20 m ist ein Jahrestemperaturgang kaum feststellbar.

Die Temperatur in rund 10 m Tiefe entspricht im Mittel der Jahres-Durchschnittstemperatur. Die Jahres-Durchschnittstemperatur in Kiel beträgt ca. 8,5 ° Celsius<sup>14</sup> In größeren Tiefen nimmt die Temperatur im Mittel um 3°C je 100 m zu.<sup>15</sup>

Infolge der Tiefenunterschiede (geologische Gegebenheiten) der Brücke zum Nord-Ostseekanal (NOK) sowie der vereinfachten thermischen Interaktion zwischen dem Wasser und Erdreich, beträgt die im Berechnungsmodell eingesetzte Erdreichtemperatur 5 °C. Diese wurde iterativ ermittelt.



**Abbildung 14:** Darstellung des Koordinatensystems für die Analyse

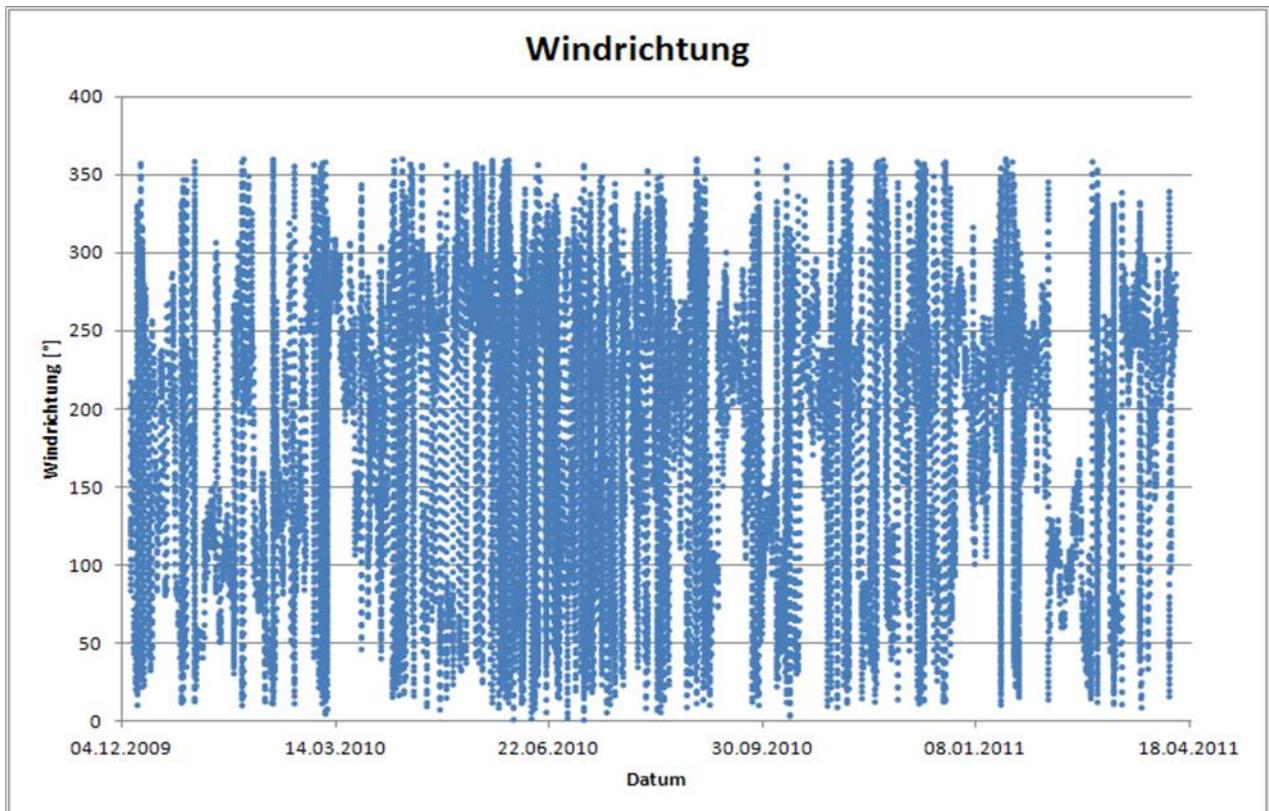
Für die Verifikation des Berechnungsmodells wurde eine Zeitspanne von etwa 16 Monaten herangezogen (08.12.2009 15:00 – 14.04.2011 07:00). Grundlage für die Zeitspanne ist die Auflistung der Minimaltemperaturen im Südlager (Excel-Sheet: „Messwertübersicht Levensau Süd“, Tabelle: Minimaltemperaturen Südlager)<sup>16</sup>.

Die folgenden Diagramme zeigen die Randbedingungen Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Lufttemperatur sowie den Wärmeeintrag entsprechend der Zeitschiene der Verifikation.

<sup>14</sup> <http://www.klimadiagramme.de>

<sup>15</sup> [Matthes, 1973], [Höling, 1984], [Kappelmeyer, 1961]

<sup>16</sup> [Messwertübersicht]



**Abbildung 15:** Randbedingungen : Windrichtung

Die Windrichtung entspricht folgender Grad-Einteilung im Simulationsmodell:

- Aus Süd = 0°
- Aus Ost = 90°
- Aus Nord = 180°
- Aus West = 360°

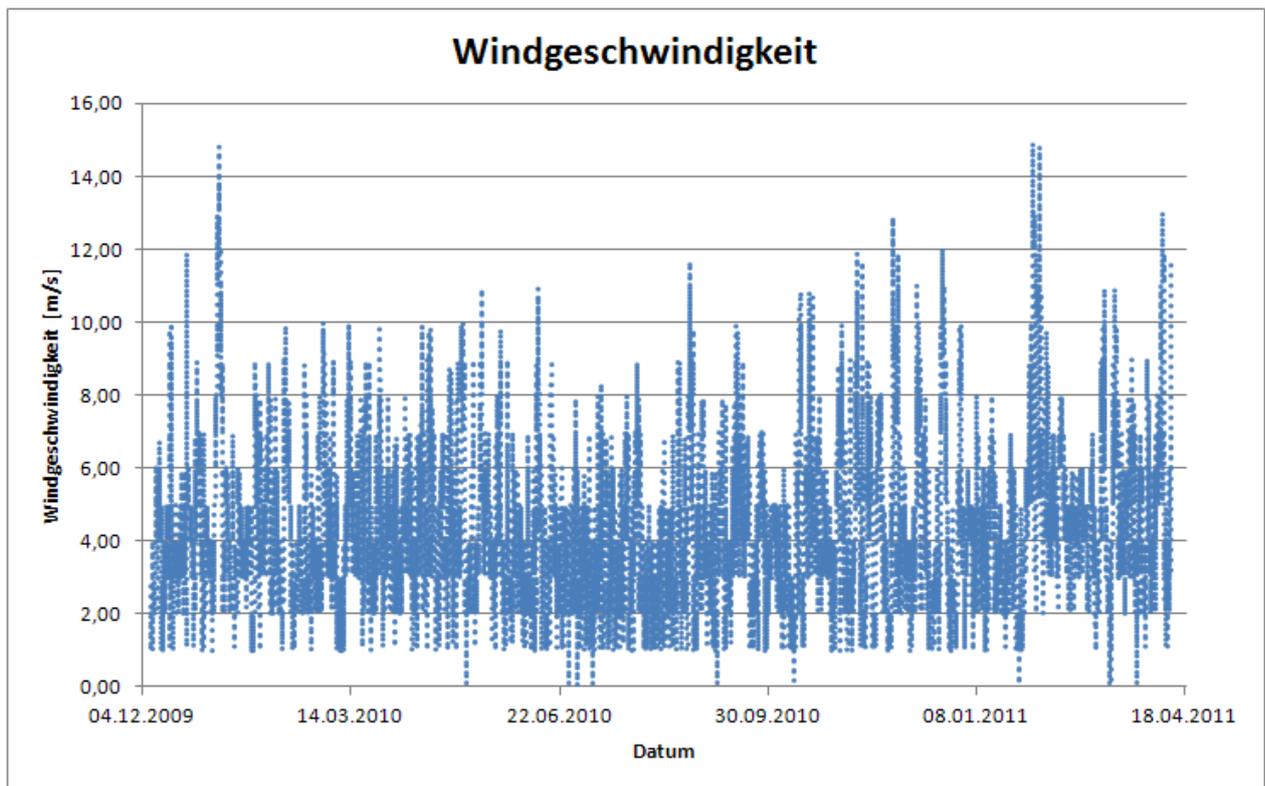


Abbildung 16: Randbedingungen : Windgeschwindigkeit

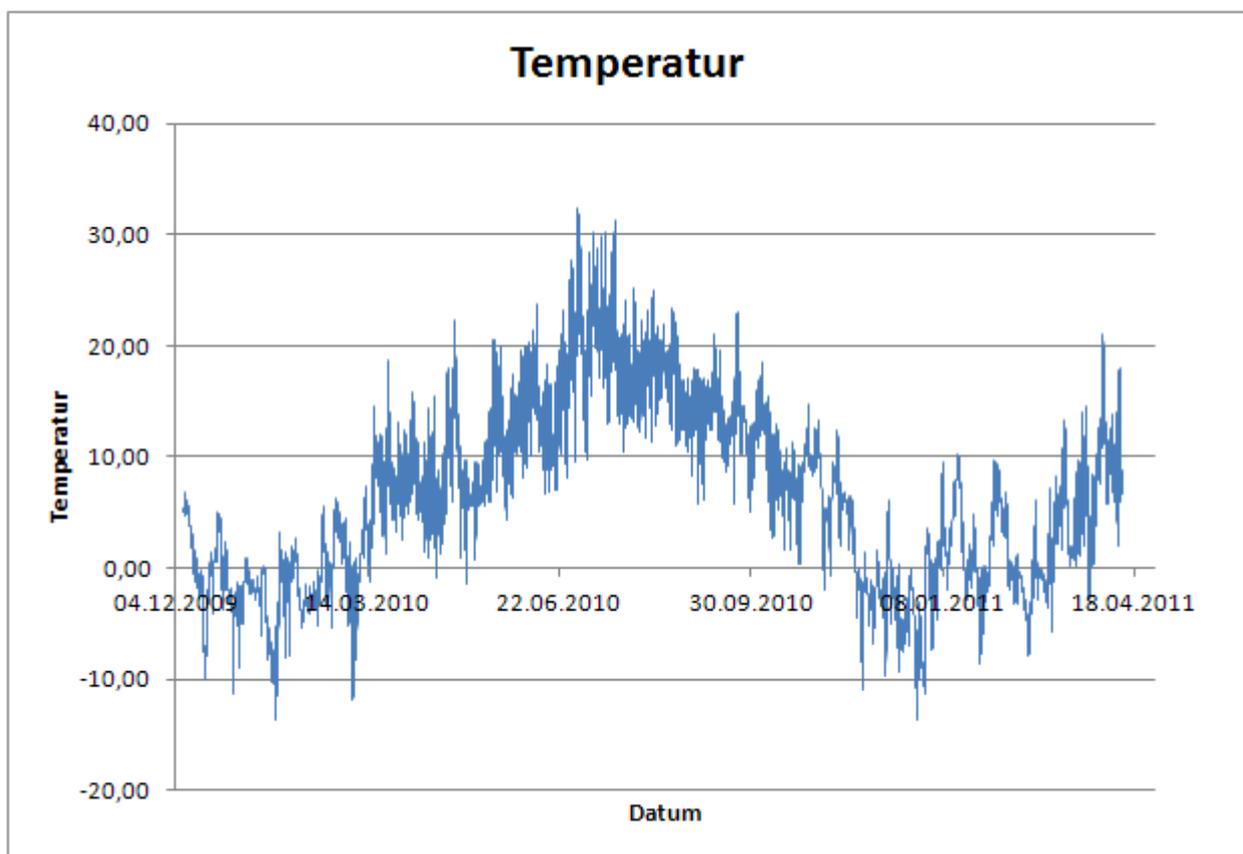
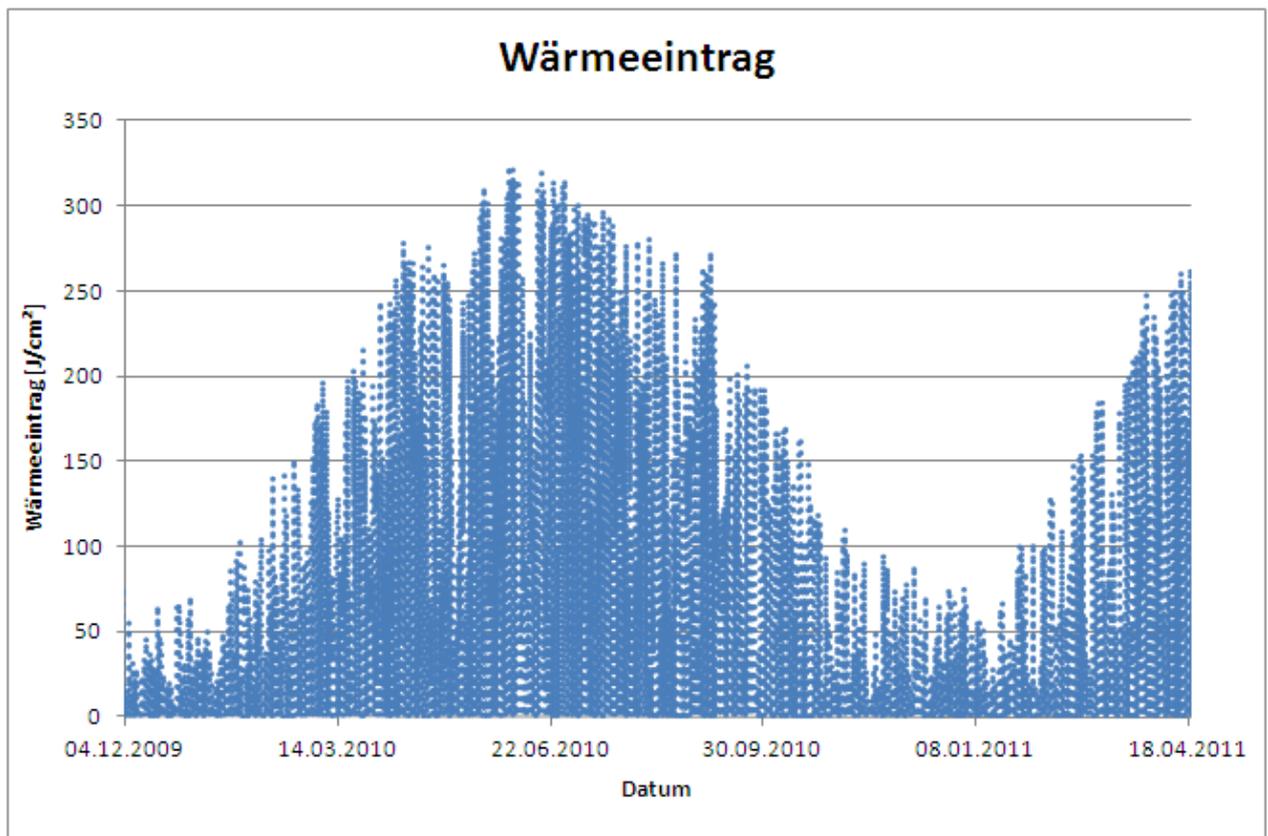


Abbildung 17: Randbedingungen : Lufttemperatur [°C]



**Abbildung 18:** Randbedingungen : Wärmeeintrag aus der Sonneneinstrahlung [J/cm<sup>2</sup>]

## 6. Materialeigenschaften

In der nachfolgenden Tabelle sind die bei der Analyse verwendeten Materialeigenschaften zusammengestellt. Die Dichte und Festigkeitseigenschaften für das Mauerwerk wurden dem Gutachten<sup>17</sup> der GhK Kassel entnommen.

- Die bauphysikalischen Eigenschaften wurden gemäß DIN 4108/4 bzw. DIN ISO 10456 und Literaturangaben<sup>18</sup> ermittelt.

N	Bereich / Material	Dichte [kg·m <sup>3</sup> ]	spez. Wärmekapazität [J/kgK]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
1	Baugrund	2000	1050	2,0
2	Fundamentbeton	2160	1080	1,12
3	Ziegelmauerwerk Pfeiler	1810	890	0,83
4	Ziegelmauerwerk Gewölbe	1870	890	0,83
5	Damm	1700	1050	2,00
6	Verfüllbeton Gewölbe	1610	1050	0,65
7	Gleisschotter	1700	1050	2,00
8	Asphalt	1700	1050	2,00
9	Straßenunterbau	1700	1050	2,00
10	Dämmung	180	1000	0,057

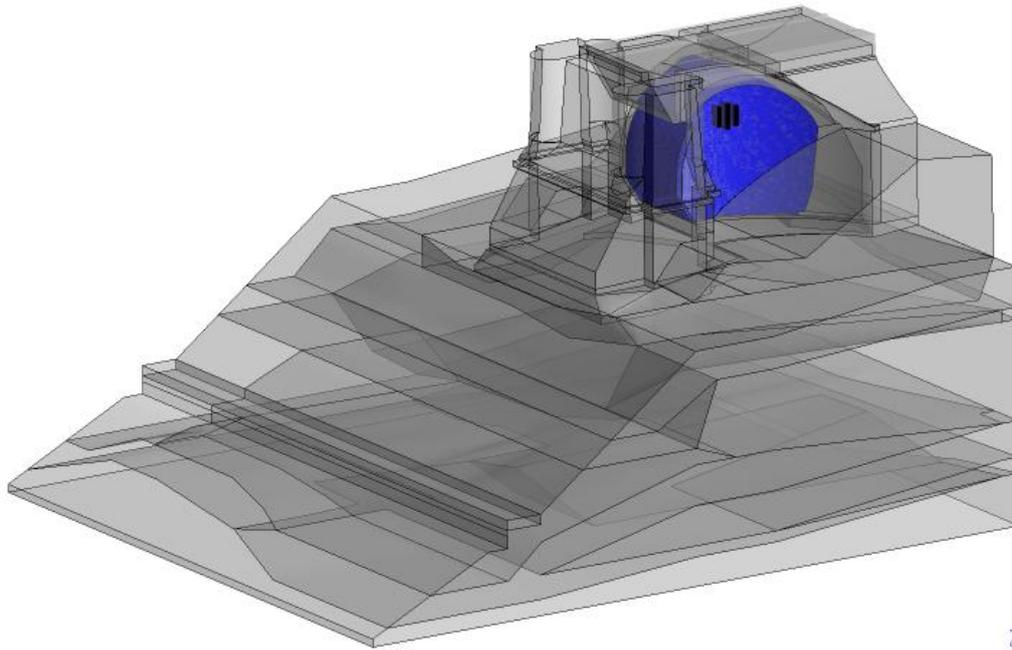
**Tabelle 3:** Materialeigenschaften

Die Luft in der Gewölbekammer wurde vereinfacht als unbeweglich angenommen. Diese Vereinfachung ist zulässig, weil das Verhältnis der Größe der seitlichen Gewölbekammeröffnungen zum Kammervolumen sehr klein ist, in den für die Fledermauspopulation relevanten Innenraumbereichen findet deshalb nur stark verzögerter Luftwechsel statt. Um eine realistische Wärmeübertragung zu Wänden und zur Decke zu erreichen, wurde der Wärmewiderstand variiert (Endwerte siehe Tabelle 4).

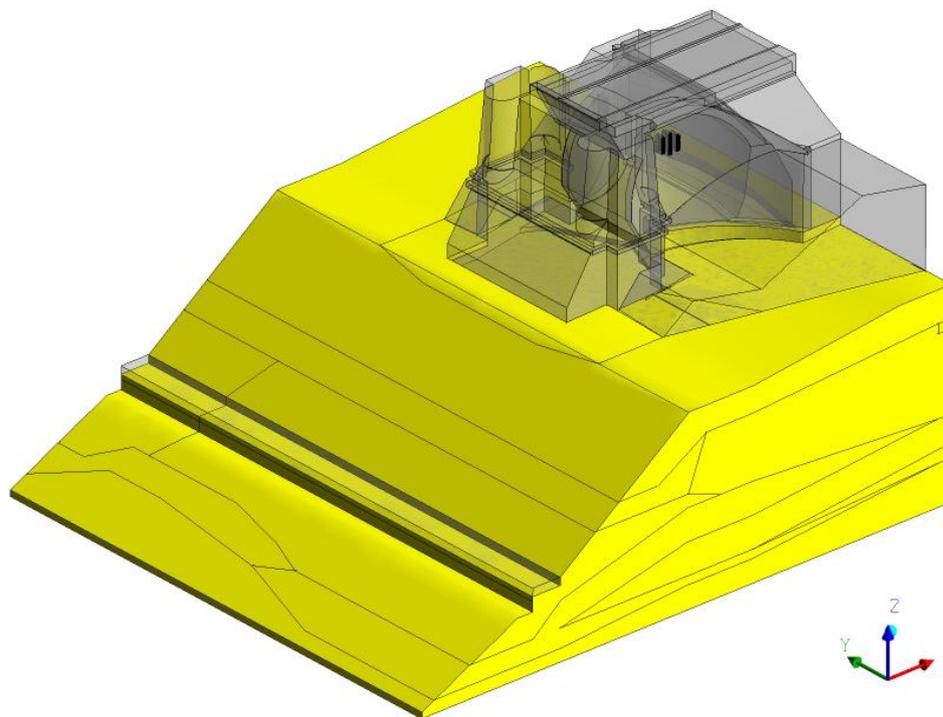
Nachfolgende Abbildungen zeigen die signifikanten Komponenten des Berechnungsmodells.

<sup>17</sup> [Gutachten GhK Kassel]

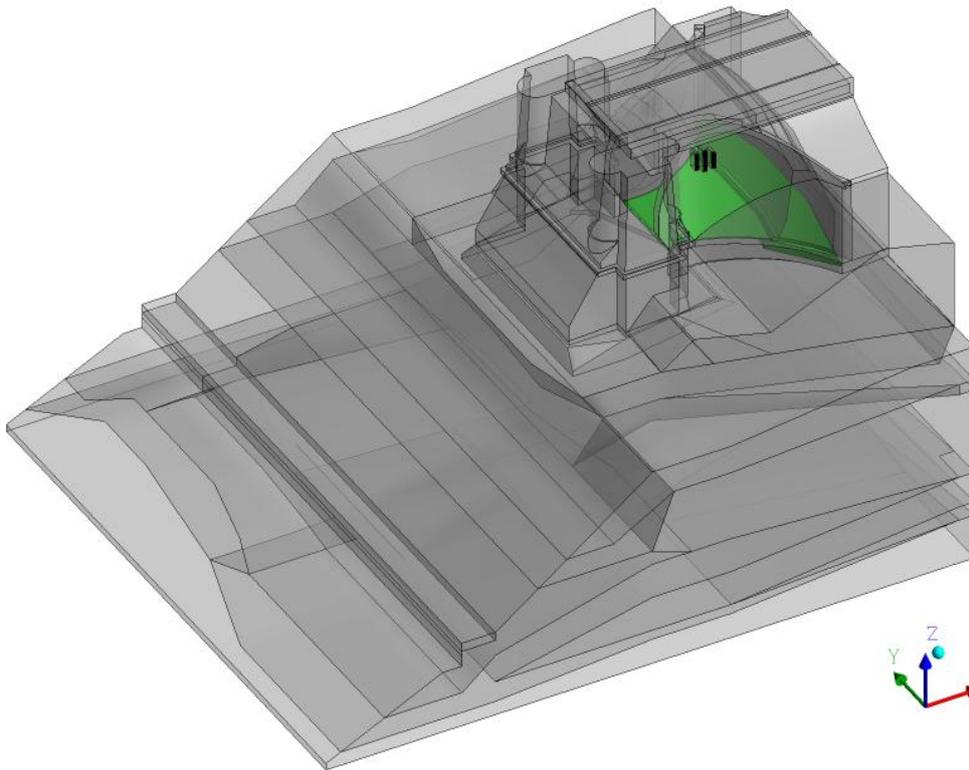
<sup>18</sup> [wärmeschutztechnische Rechenwerte]



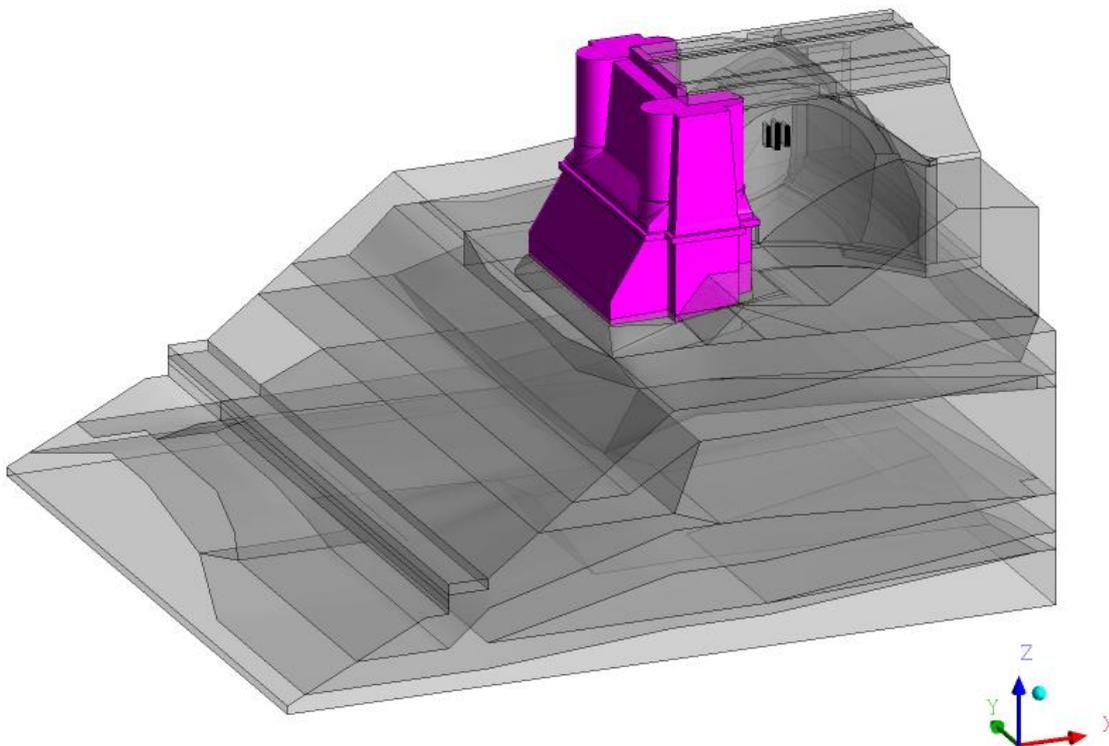
**Abbildung 19:** Luft im Gewölbe



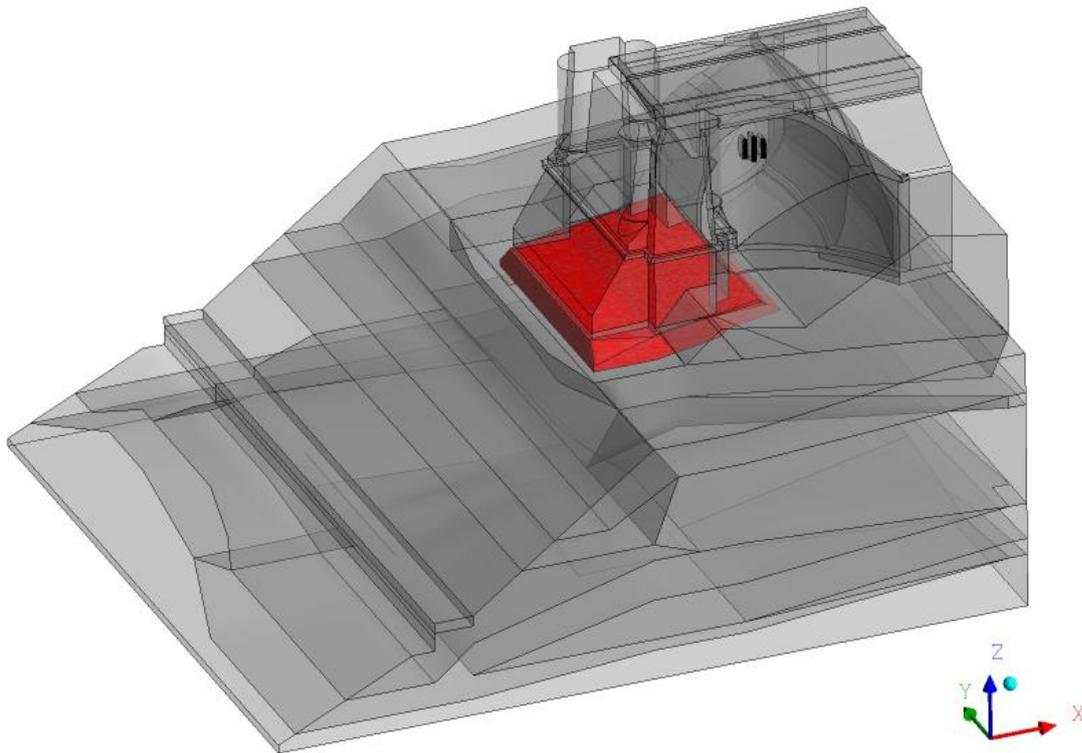
**Abbildung 20:** Baugrund



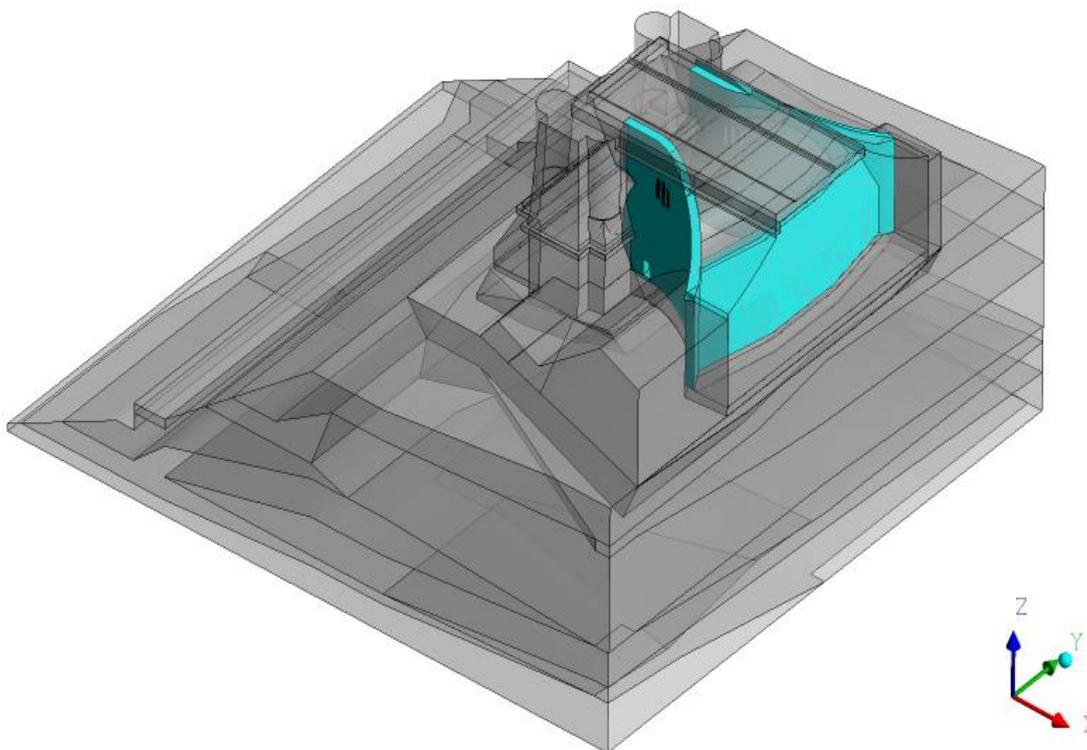
**Abbildung 21: Beton**



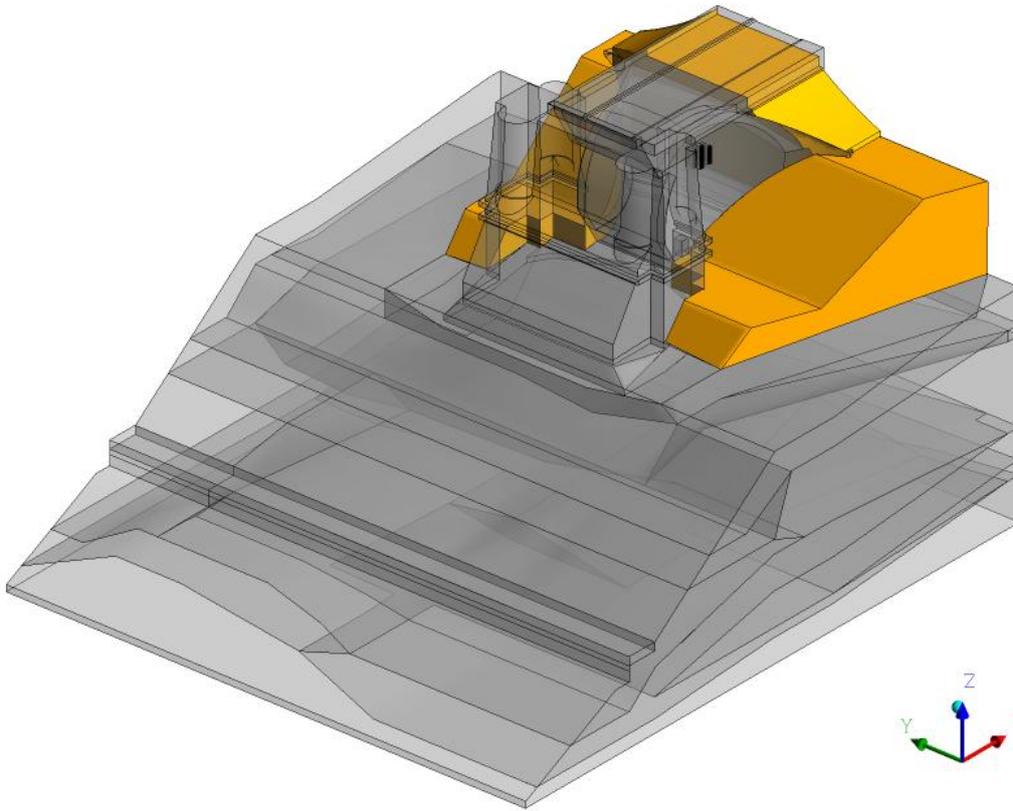
**Abbildung 22: Ziegelmauerwerk Pfeiler**



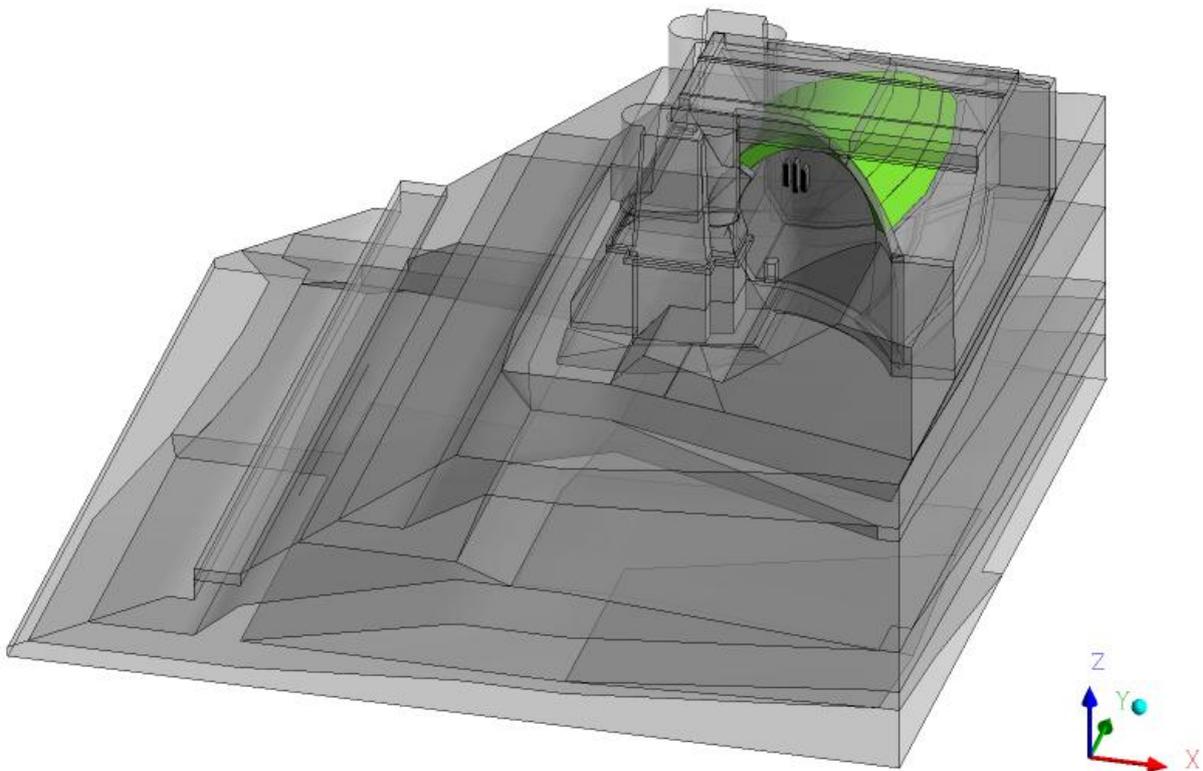
**Abbildung 23:** Fundament



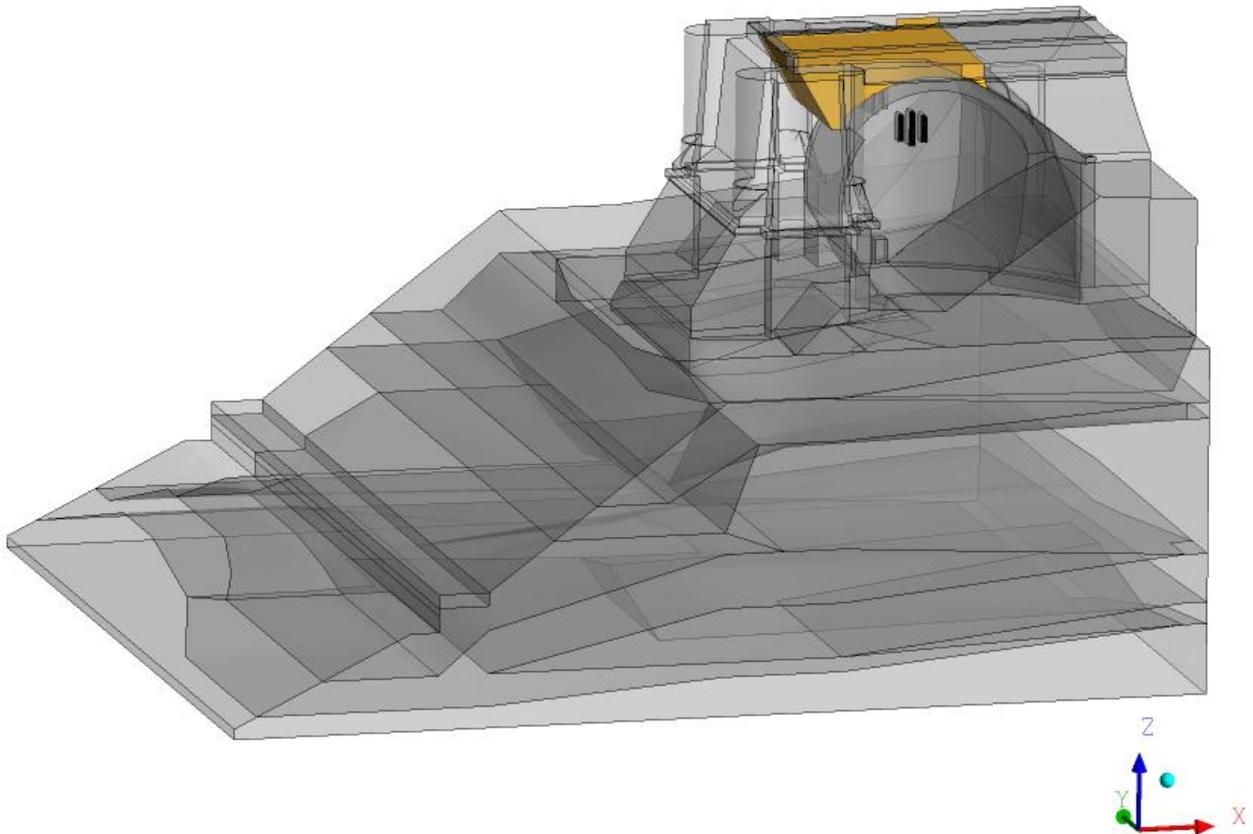
**Abbildung 24:** Ziegelmauerwerk Gewölbe und Flügelmauern



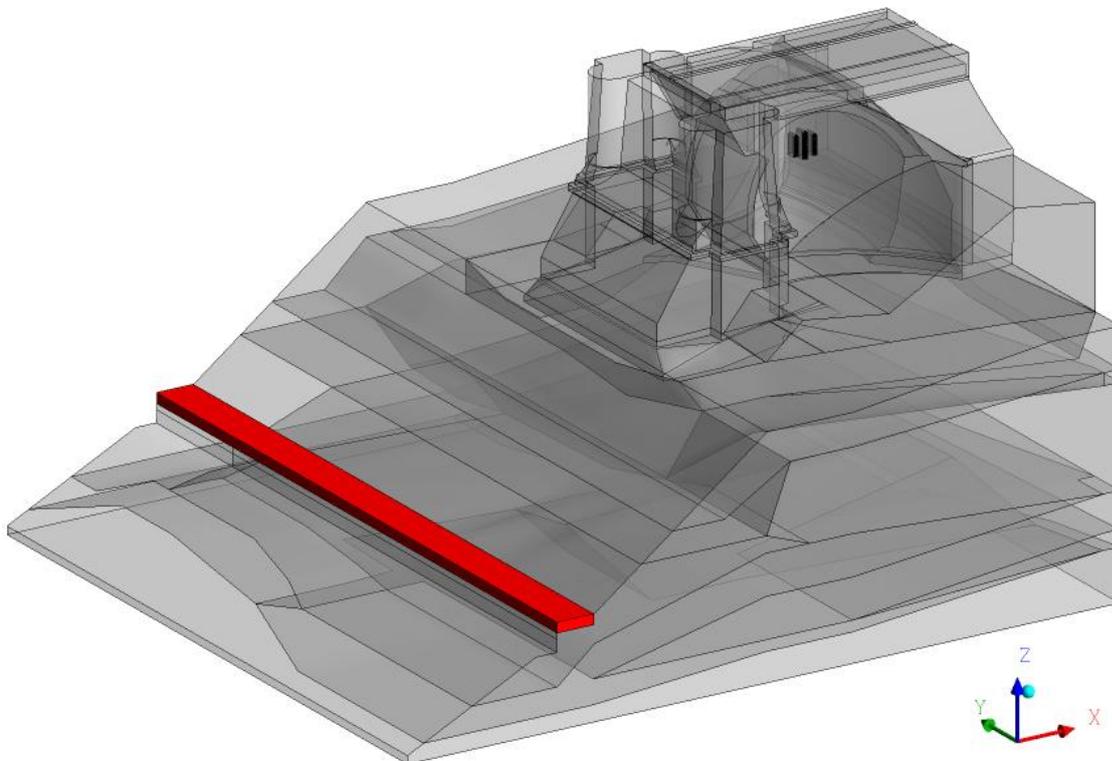
**Abbildung 25: Damm**



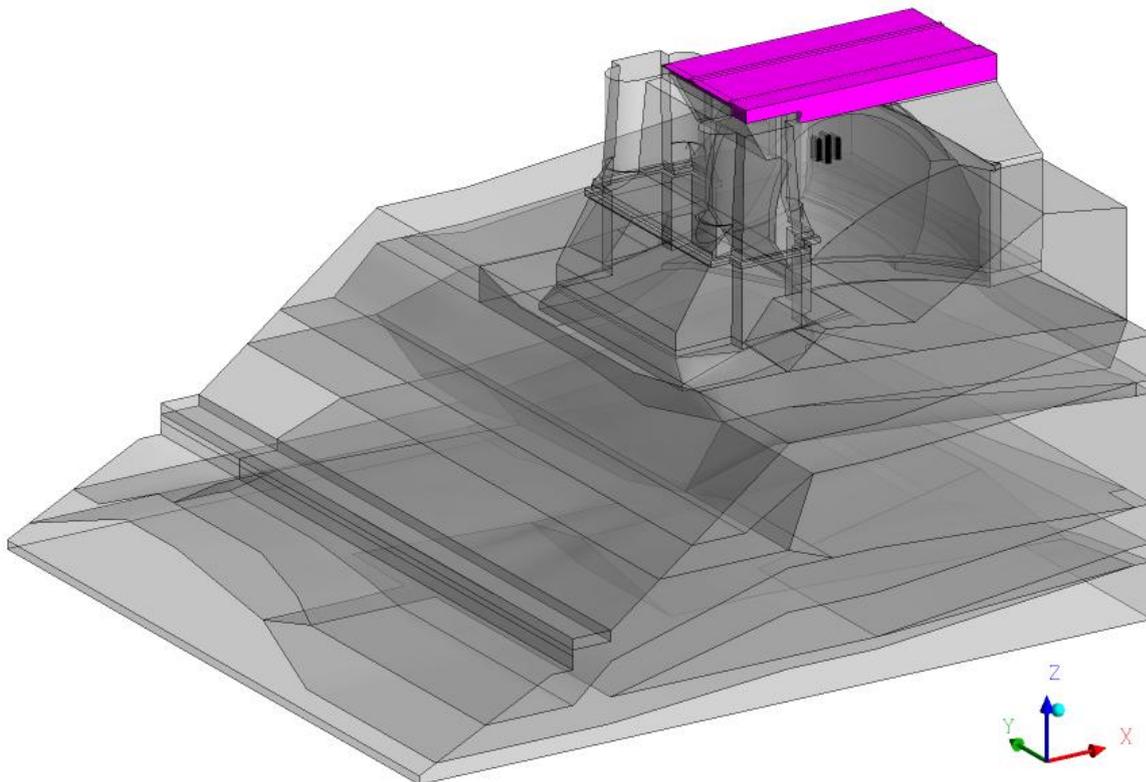
**Abbildung 26: Ziegel**



**Abbildung 27:** Beton



**Abbildung 28:** Asphalt



**Abbildung 29:** Straßenunterbau

In der folgenden Tabelle sind die verifizierten Parameter aufgeführt.

N	Parameter	Wert
1	Wärmewiderstand zwischen der Gewölbemauer, der Gewölbedecke und der Luft innerhalb des Gewölbes	90 m <sup>2</sup> K/W
2	absorbierte Wärmeinstrahlung durch die Sonne <sup>19</sup>	60 %
3	Erdreichtemperatur	ca. 5 °C
4	Temperatur des Wassers	ca. 5 °C
5	Wärmefluss des Wassers - Baugrund	5 W/Km <sup>2</sup>

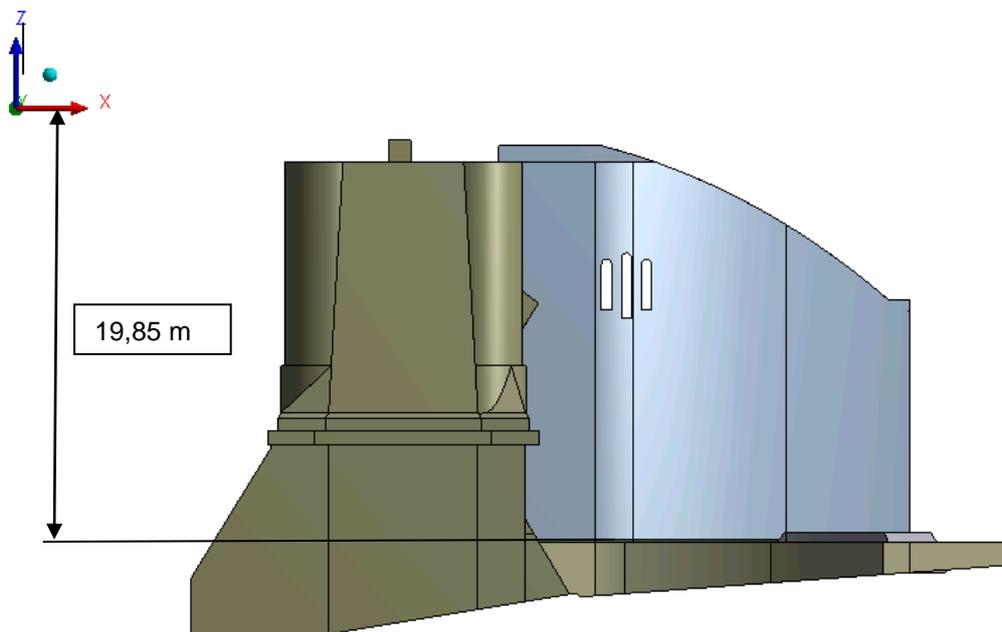
**Tabelle 4:** verifizierte Parameter

<sup>19</sup> [http://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d\\_1568.html](http://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html)

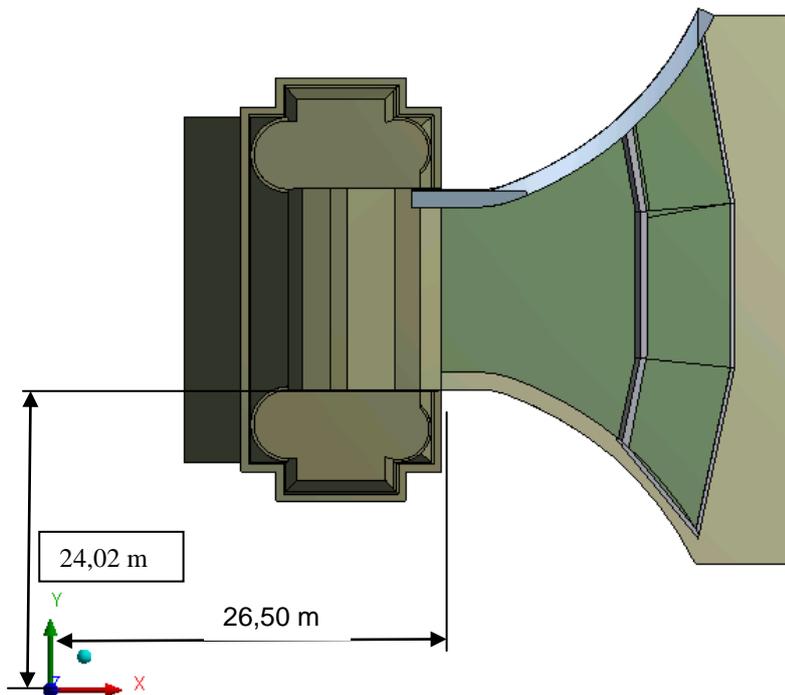
## 7. Messsensoren

Die Berechnungen werden mit Messdaten der Chirotec verglichen und verifiziert. Die Lage der Messstellen wurden vermessungstechnisch aufgenommen und in die CAD – Grundlage übernommen. Sie ist in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

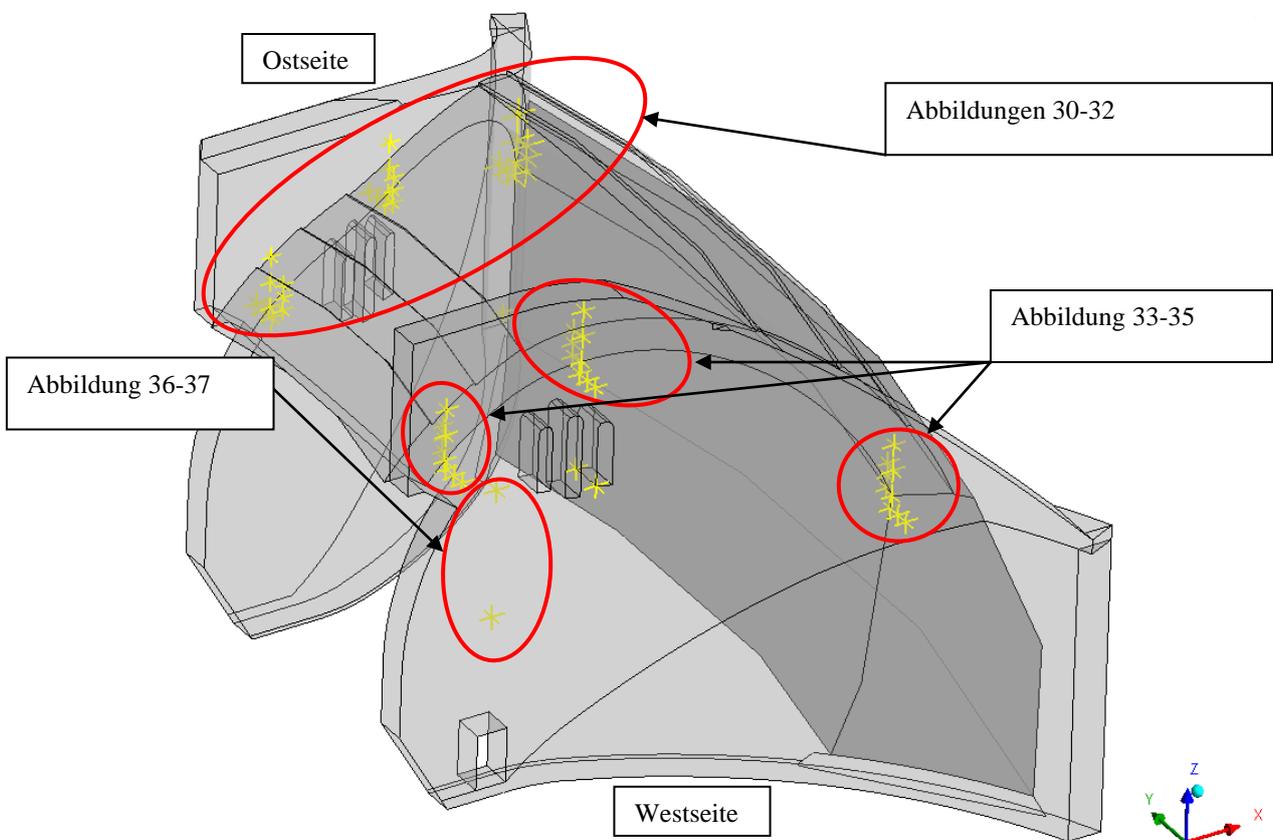
Während der Simulation werden die berechneten Temperaturen an die Messstellen exportiert zwecks anschließendem Abgleich mit den gemessenen Werten.



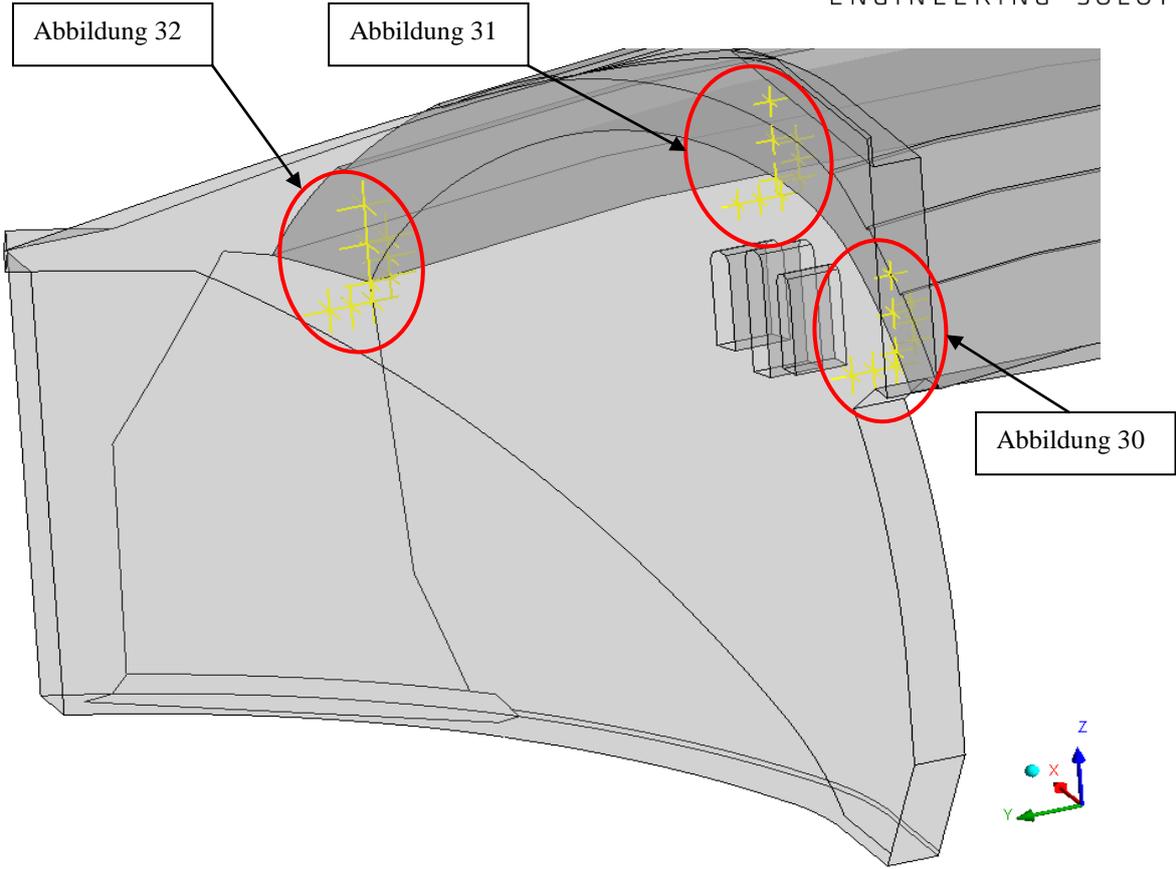
**Abbildung 30:** Lage des Koordinatensystems



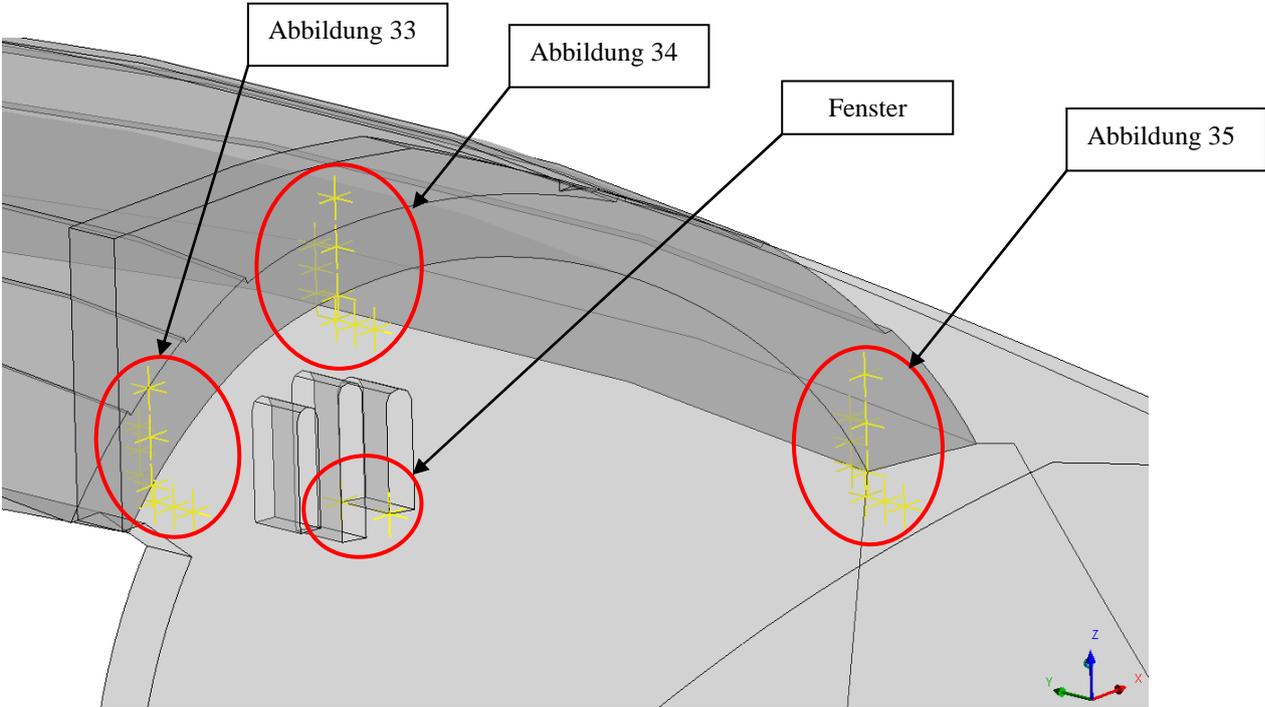
**Abbildung 31:** Lage des Koordinatensystems



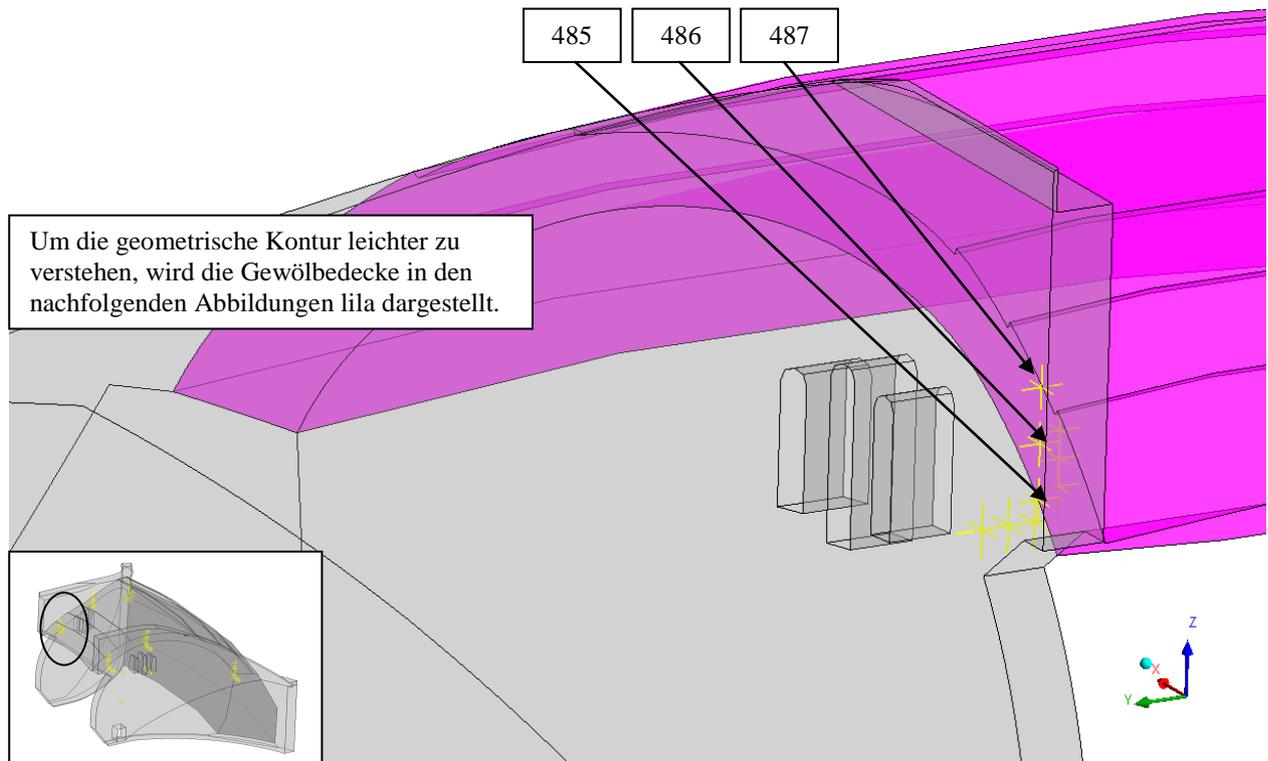
**Abbildung 32:** Lage der Messstellen - Übersicht



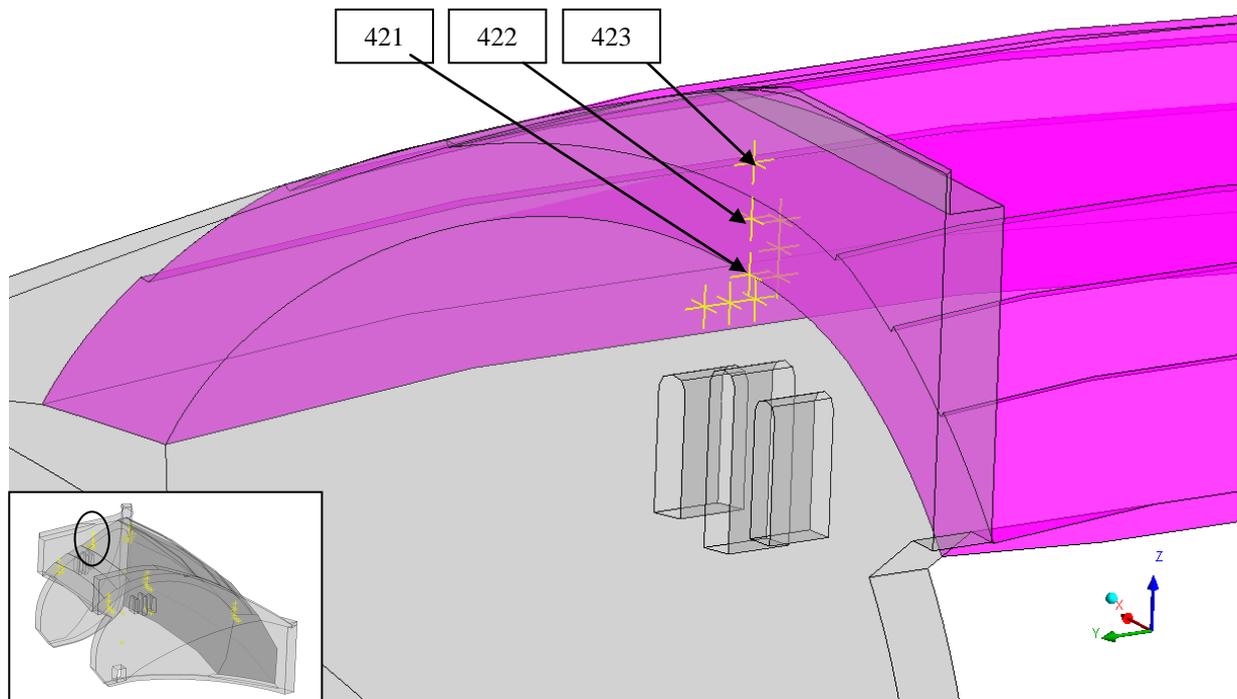
**Abbildung 33:** Lage der Messstellen – Übersicht (Ostseite)



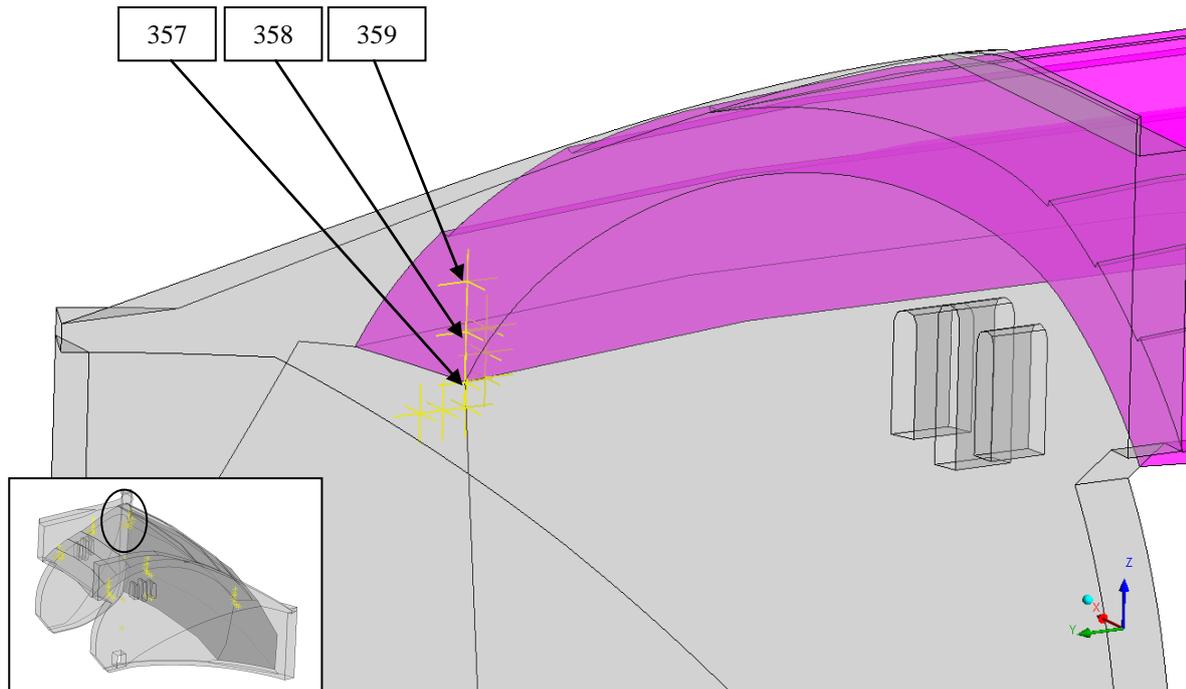
**Abbildung 34:** Lage der Messstellen – Übersicht (Westseite)



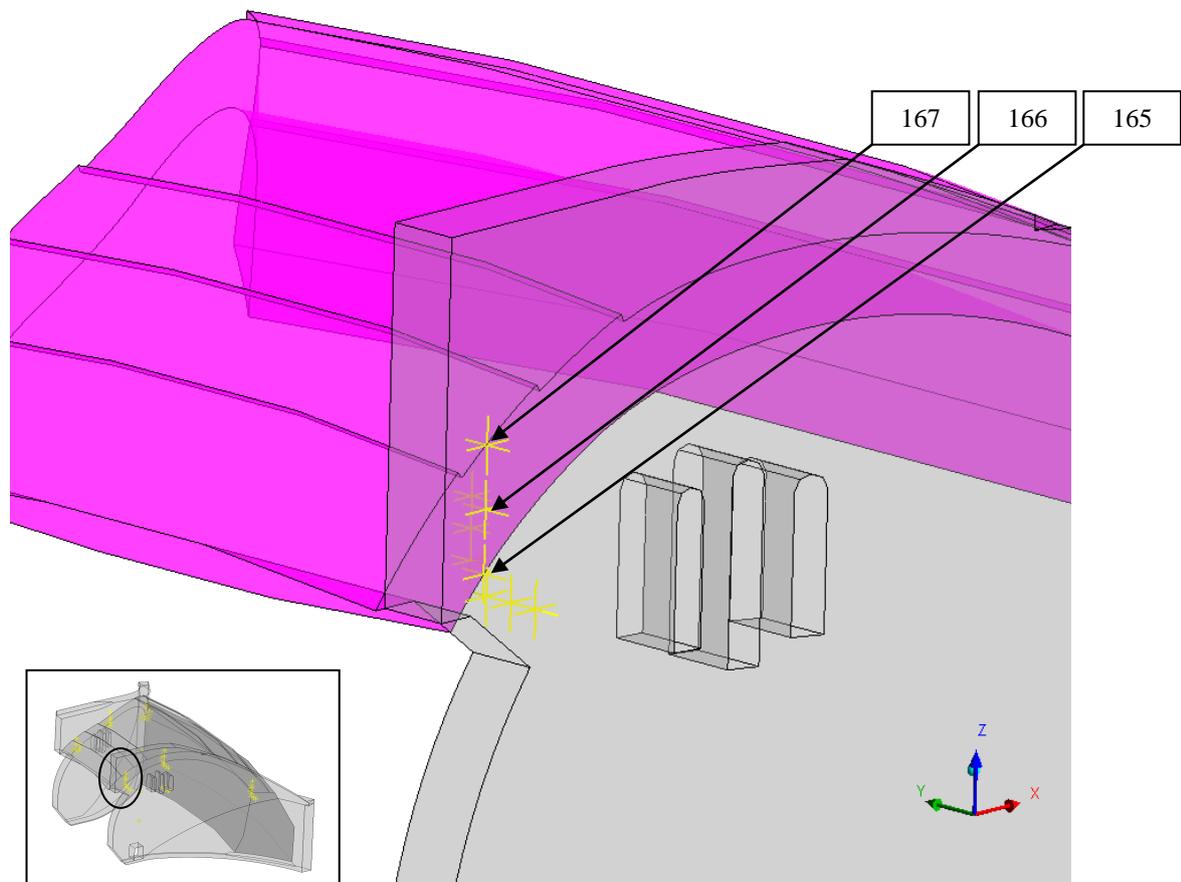
**Abbildung 35:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Ostseite, Decke Kanalseite, vgl. Abbildung 28)



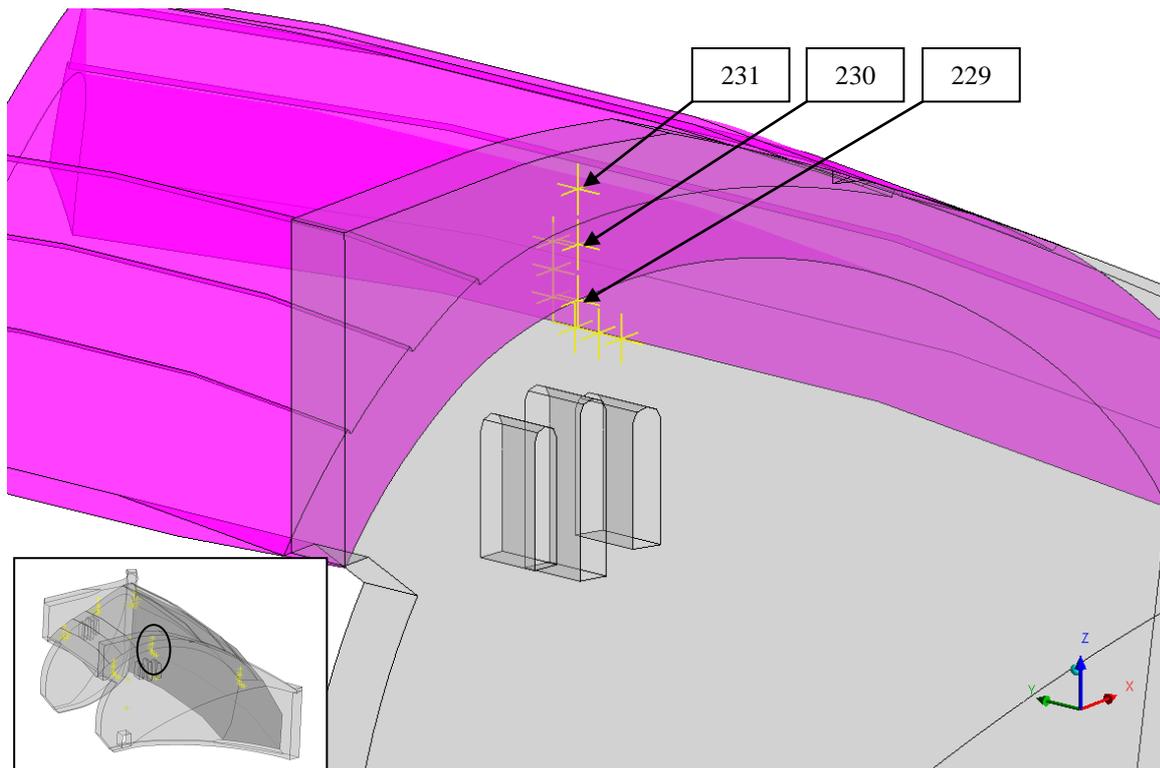
**Abbildung 36:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Ostseite, Decke Hohe Fenster, vgl. Abbildung 28)



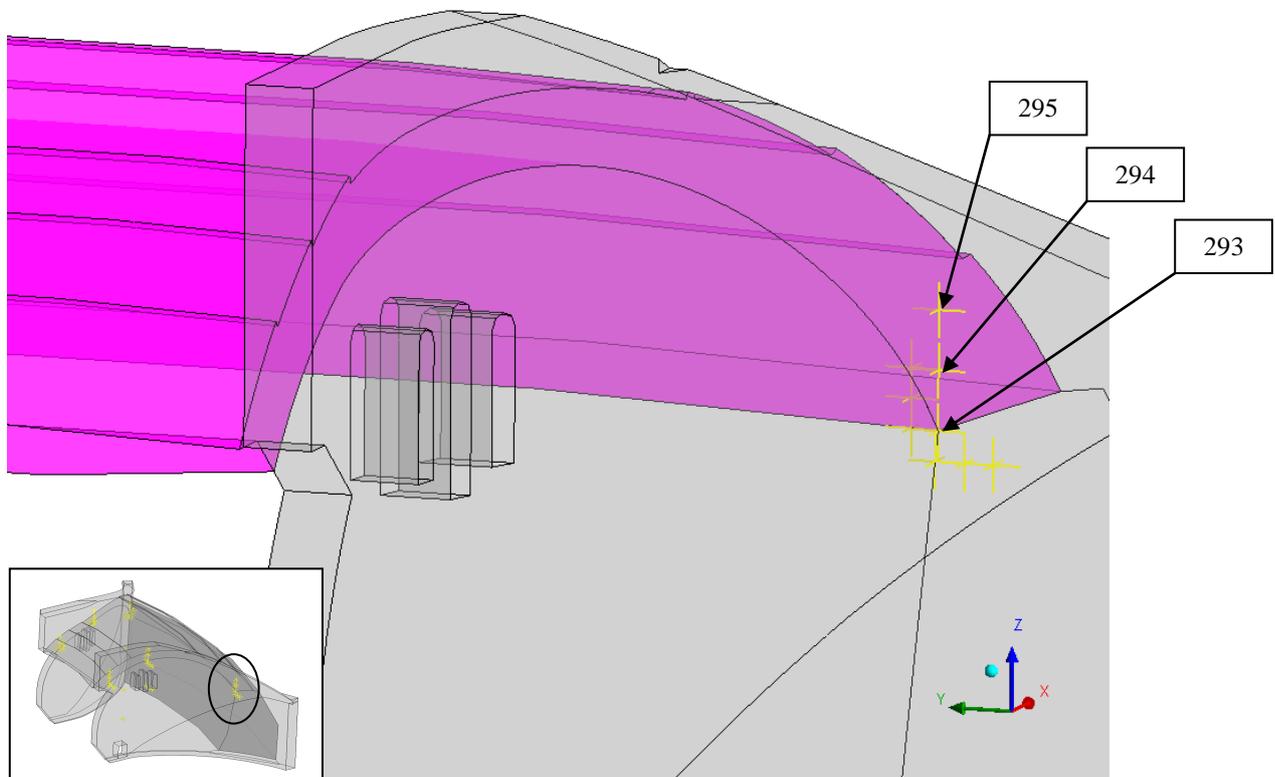
**Abbildung 37:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Ostseite, Decke Hangseite, vgl. Abbildung 28)



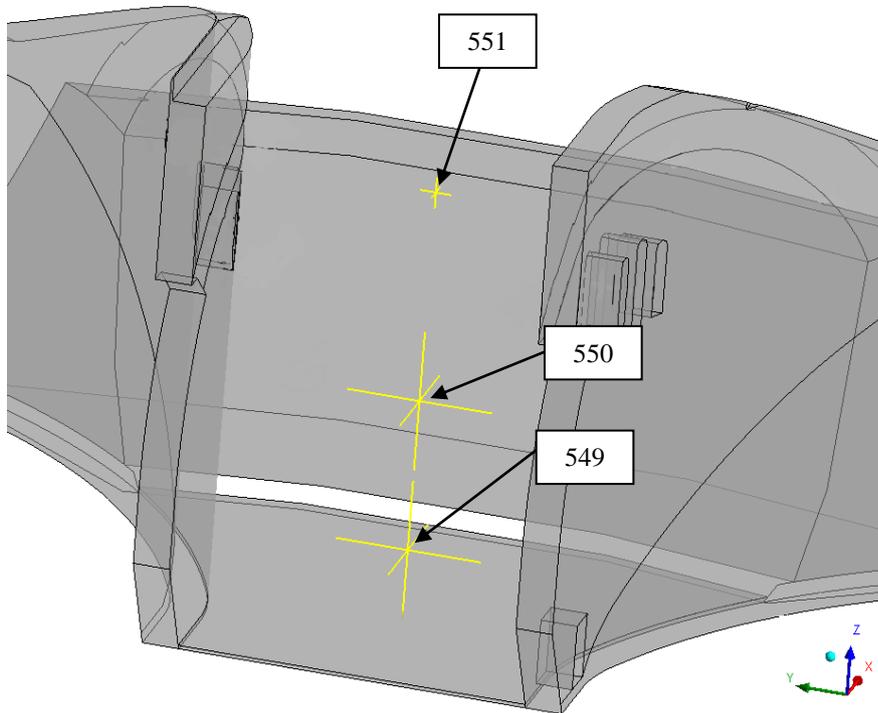
**Abbildung 38:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Westseite, Decke Kanalseite, vgl. Abbildung 29)



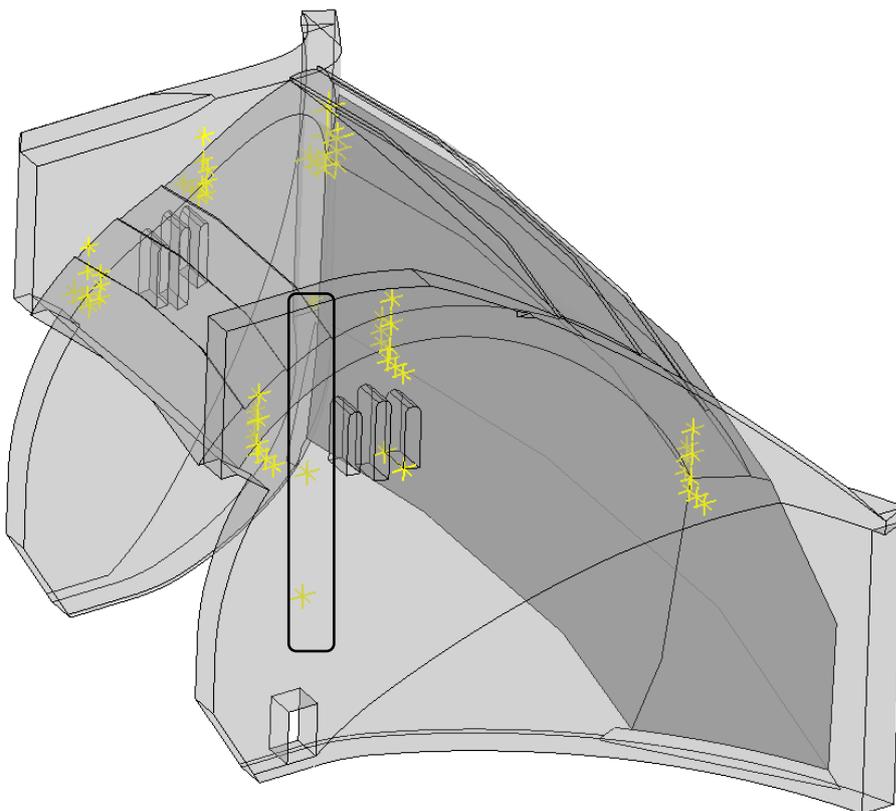
**Abbildung 39:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Westseite, Decke Hohe Fenster, vgl. Abbildung 29)



**Abbildung 40:** Lage der Messstellen – detaillierte Ansicht (Westseite, Decke Hangseite, vgl. Abbildung 29)



**Abbildung 41:** Lage der Messstellen - Übersicht (Mitte)



**Abbildung 42:** Lage der Messstellen – globale Ansicht Mitte

In der nachfolgenden Tabelle sind die Koordinaten der Messstellen zusammengestellt.

Bezeichnung	X-Koordinate	Y-Koordinate	Z-Koordinate	Bezeichnung	X-Koordinate	Y-Koordinate	Z-Koordinate
133	26,72	25,25	-7,28	328	40,52	42,33	-9,05
134	26,72	24,75	-7,28	329	40,52	42,33	-8,55
135	26,72	24,25	-7,28	330	40,52	42,33	-8,05
136	26,83	25,70	-6,83	357	40,42	42,82	-9,05
137	26,83	25,70	-6,33	358	40,43	42,82	-8,05
138	26,83	25,70	-5,83	359	40,43	42,82	-7,05
165	26,65	25,25	-6,92	389	31,46	36,86	-4,67
166	26,65	25,25	-5,92	390	31,46	37,36	-4,67
167	26,65	25,25	-4,92	391	31,46	37,86	-4,67
197	31,53	24,74	-4,71	392	31,46	36,42	-4,32
198	31,53	24,24	-4,71	393	31,46	36,42	-3,82
199	31,53	23,74	-4,71	394	31,46	36,42	-3,32
200	31,54	25,23	-4,26	421	31,58	36,91	-4,26
201	31,54	25,23	-3,76	422	31,58	36,91	-3,26
202	31,54	25,23	-3,26	423	31,58	36,91	-2,26
229	31,58	24,72	-4,22	453	26,83	36,38	-7,41
230	31,58	24,72	-3,22	454	26,83	36,88	-7,41
231	31,58	24,72	-2,22	455	26,83	37,38	-7,41
261	40,26	18,98	-9,50	456	26,92	35,88	-6,88
262	40,26	18,48	-9,50	457	26,92	35,88	-6,38
263	40,26	17,98	-9,50	458	26,92	35,88	-5,88
264	40,40	19,44	-9,00	485	26,71	36,38	-6,99
265	40,40	19,44	-8,50	486	26,71	36,38	-5,99
266	40,40	19,44	-8,00	487	26,71	36,38	-4,99
293	40,30	18,94	-9,00	517	31,53	23,49	-8,44
294	40,30	18,94	-8,00	518	31,53	24,74	-8,44
295	40,30	18,94	-7,00	549	32,34	30,82	-17,85
325	40,40	42,80	-9,55	550	32,34	30,82	-12,85
326	40,40	43,30	-9,55	551	32,34	30,82	-5,85
327	40,40	43,80	-9,55				

**Tabelle 5:** Lage der Messstellen [m]

## 8. Berechnungsergebnisse

Als Bewertungskriterium der gefundenen numerischen Lösung wurde die „Fehlerquadratsumme“ zugrunde gelegt. Dazu wurden die Messstellen in Gruppen zusammengefasst. Die Abweichungsfehler wurden wie folgt berechnet:

$$\text{Fehler (SD) Gesamt} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (T_i - s_i)^2}{n}}$$

hier  $T_i$  – gemessene Temperatur;

$s_i$  – Temperatur aus der FEM-Simulation;

$n$  – Zahl der Messstellen

Für die einzelnen Gruppen:

$$\text{SD 133-134-135} = \sqrt{\frac{(T_{133} - s_{133})^2 + (T_{134} - s_{134})^2 + (T_{135} - s_{135})^2}{3}}$$

$$\text{SD 136-137-138} = \sqrt{\frac{(T_{136} - s_{136})^2 + (T_{137} - s_{137})^2 + (T_{137} - s_{137})^2}{3}}$$

$$\text{SD 165-166-167} = \sqrt{\frac{(T_{165} - s_{165})^2 + (T_{166} - s_{166})^2 + (T_{167} - s_{167})^2}{3}}$$

$$\text{SD 198-199} = \sqrt{\frac{(T_{198} - s_{198})^2 + (T_{199} - s_{199})^2}{2}}$$

$$\text{SD 200-201-202} = \sqrt{\frac{(T_{200} - s_{200})^2 + (T_{201} - s_{201})^2 + (T_{202} - s_{202})^2}{3}}$$

$$\text{SD 262-263} = \sqrt{\frac{(T_{262} - s_{262})^2 + (T_{263} - s_{263})^2}{2}}$$

$$\text{SD 264-265-266} = \sqrt{\frac{(T_{264} - s_{264})^2 + (T_{265} - s_{265})^2 + (T_{266} - s_{266})^2}{3}}$$

$$\text{SD 198-199} = \sqrt{\frac{(T_{198} - s_{198})^2 + (T_{199} - s_{199})^2}{2}}$$

$$\text{SD 328-329-330} = \sqrt{\frac{(T_{328} - s_{328})^2 + (T_{329} - s_{329})^2 + (T_{330} - s_{330})^2}{3}}$$

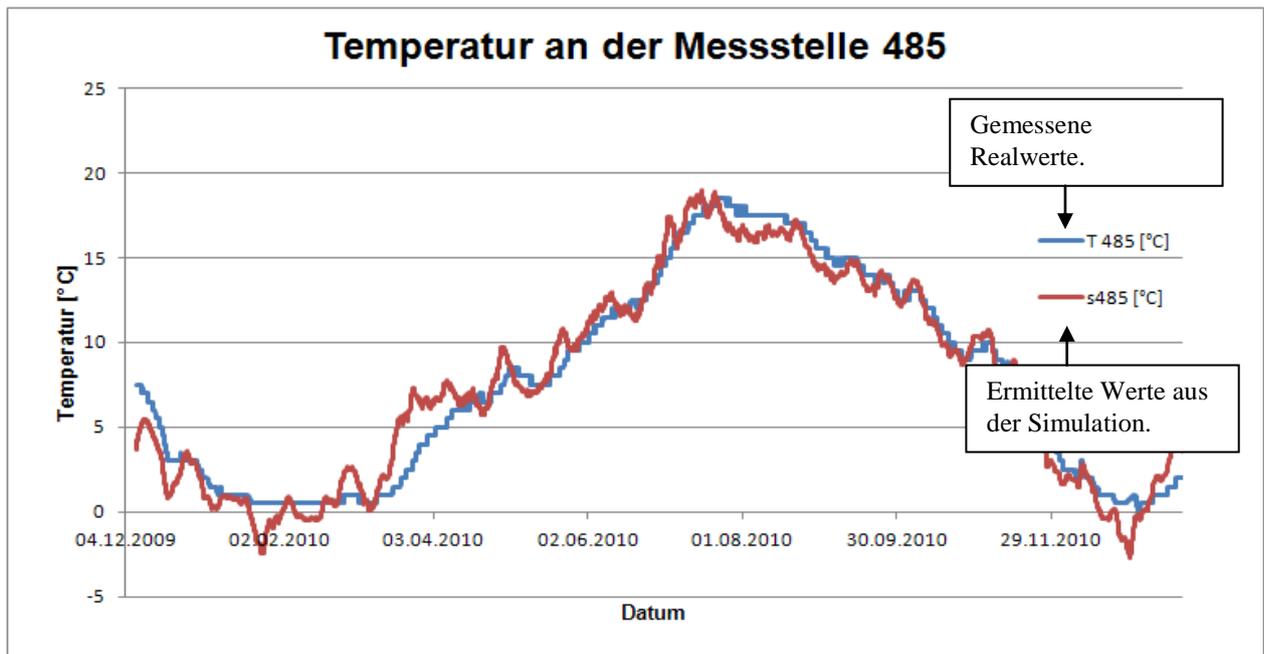
$$\text{SD 421-422-423} = \sqrt{\frac{(T_{421} - s_{421})^2 + (T_{422} - s_{422})^2 + (T_{423} - s_{423})^2}{3}}$$

$$\text{SD 454-455} = \sqrt{\frac{(T_{454} - s_{454})^2 + (T_{455} - s_{455})^2}{2}}$$

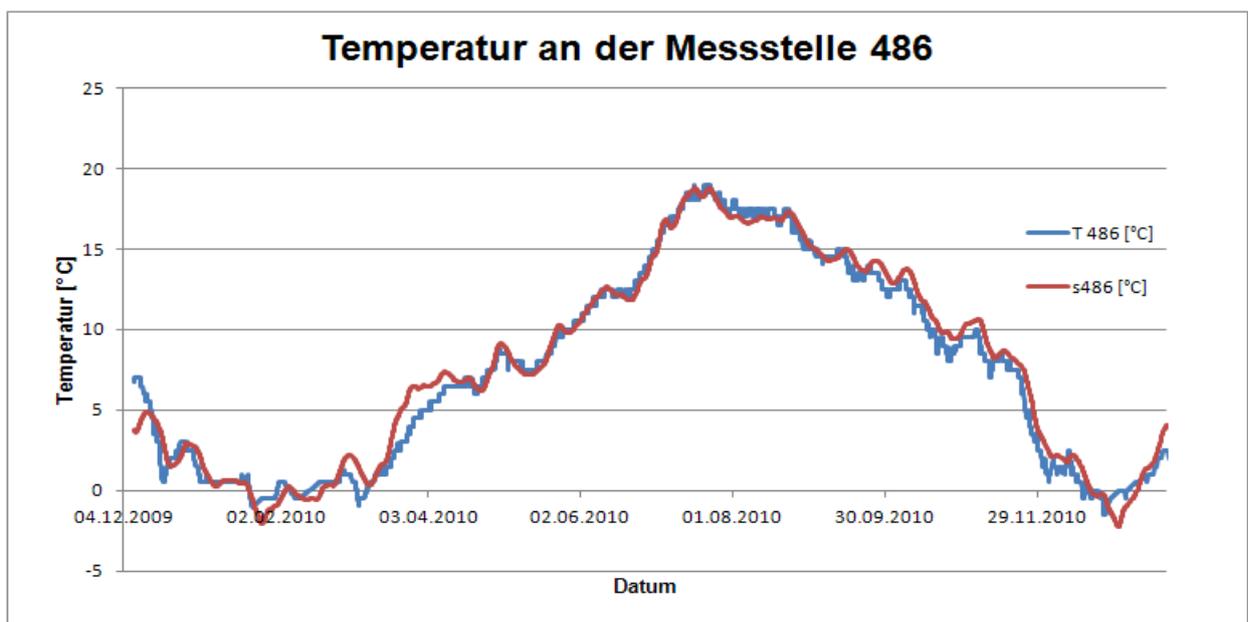
$$\text{SD 456-457-458} = \sqrt{\frac{(T_{264} - s_{264})^2 + (T_{265} - s_{265})^2 + (T_{266} - s_{266})^2}{3}}$$

$$\text{SD 549-550-551} = \sqrt{\frac{(T_{549} - s_{549})^2 + (T_{550} - s_{550})^2 + (T_{551} - s_{551})^2}{3}}$$

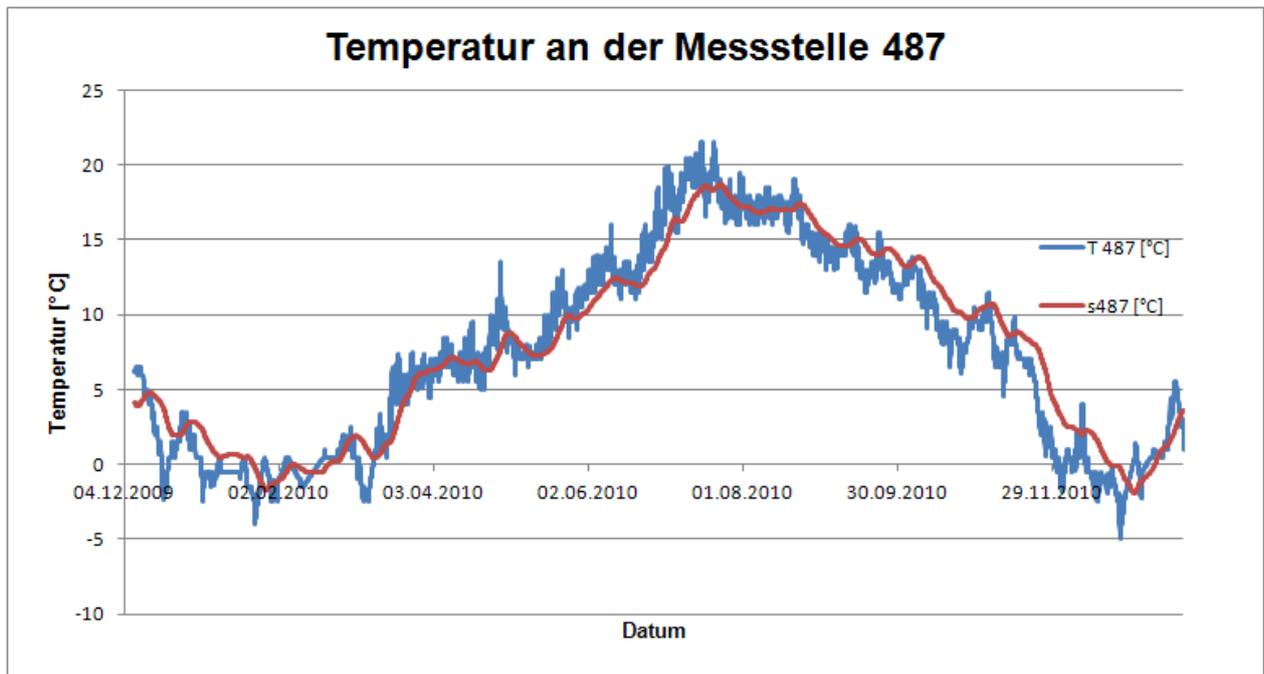
In den nachfolgenden Abbildungen sind exemplarisch einige Kurven an ausgewählten Messstellen dargestellt. Diese Messstellen befinden sich im Bereich der vertikalen Fugen zwischen Gewölbe und Flügelmauer, da die Fledermäuse dort ihr Winterquartier haben. Die berechneten Werte sind mit Suffix „S“ gekennzeichnet. Bei der Verifikation wurden die Parameter des Berechnungsmodells so angepasst, dass die ermittelten Simulationsmesswerte im Mittelwertbereich liegen.



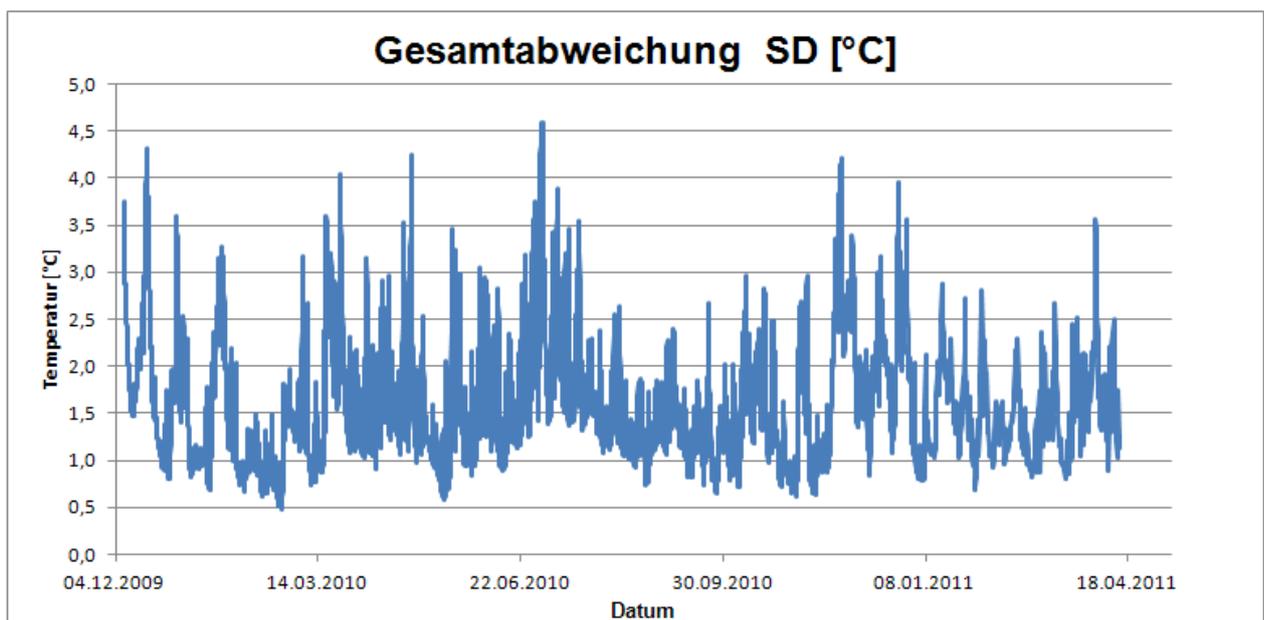
**Abbildung 43:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 485 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – Oberfläche, vgl. Abbildung 30)



**Abbildung 44:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 486 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 1 m, vgl. Abbildung 30)



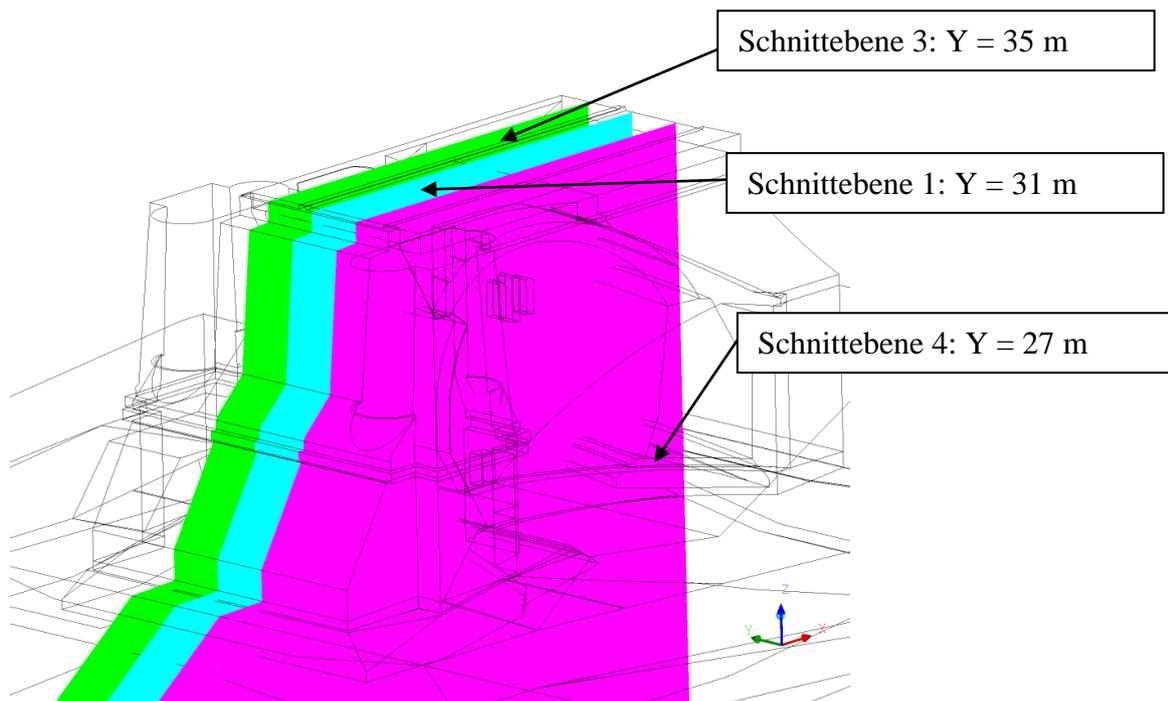
**Abbildung 45:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 487 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 2 m, vgl. Abbildung 30)



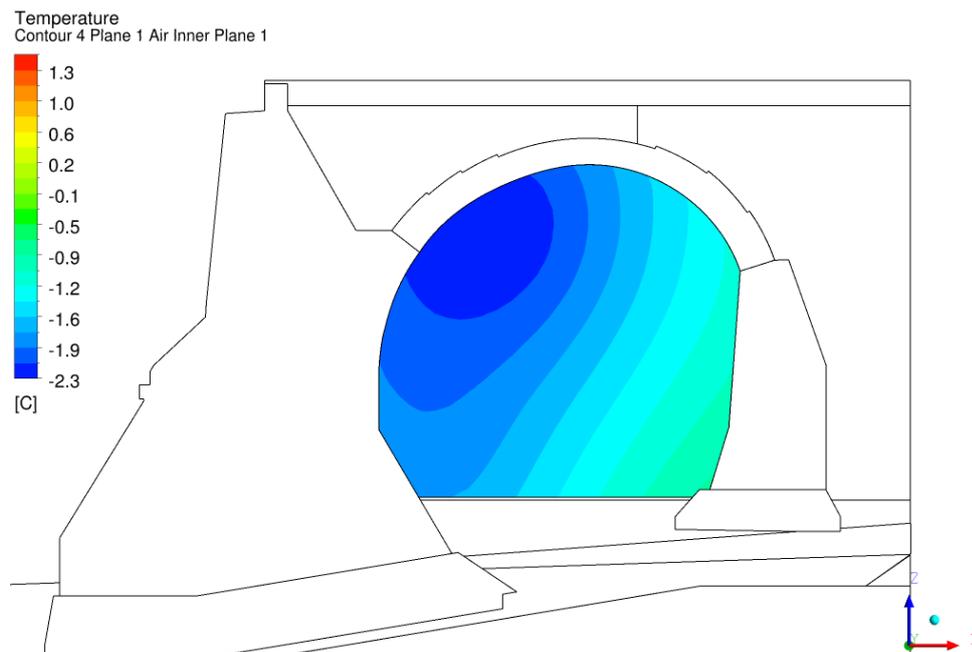
**Abbildung 46:** Abweichung über alle Messstellen (gemittelt)

## 8.1 Temperaturverteilung

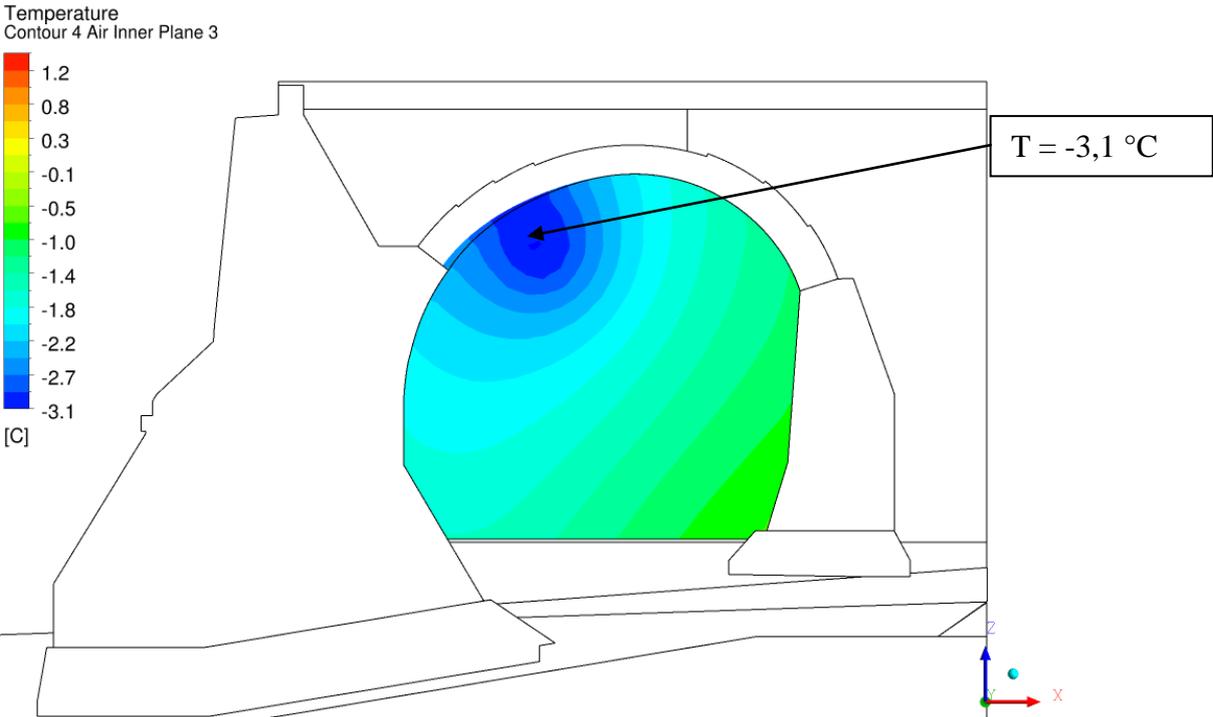
Laut der vorliegenden Messdaten trat die niedrigste Temperatur am **29.12.2010 um 11:00 Uhr** auf. Für diesen Zeitpunkt werden in neun Schnittebenen die Temperaturverteilungen dargestellt.



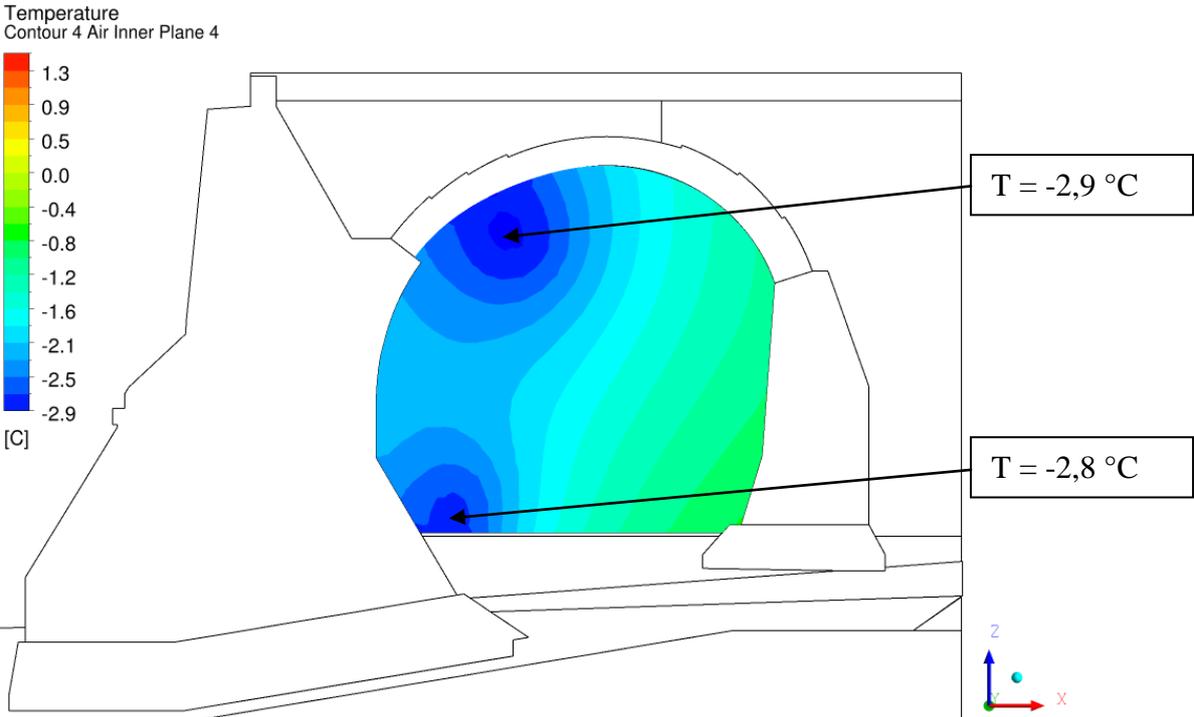
**Abbildung 47:** Schnittebenen 1, 3 und 4 für die Auswertung



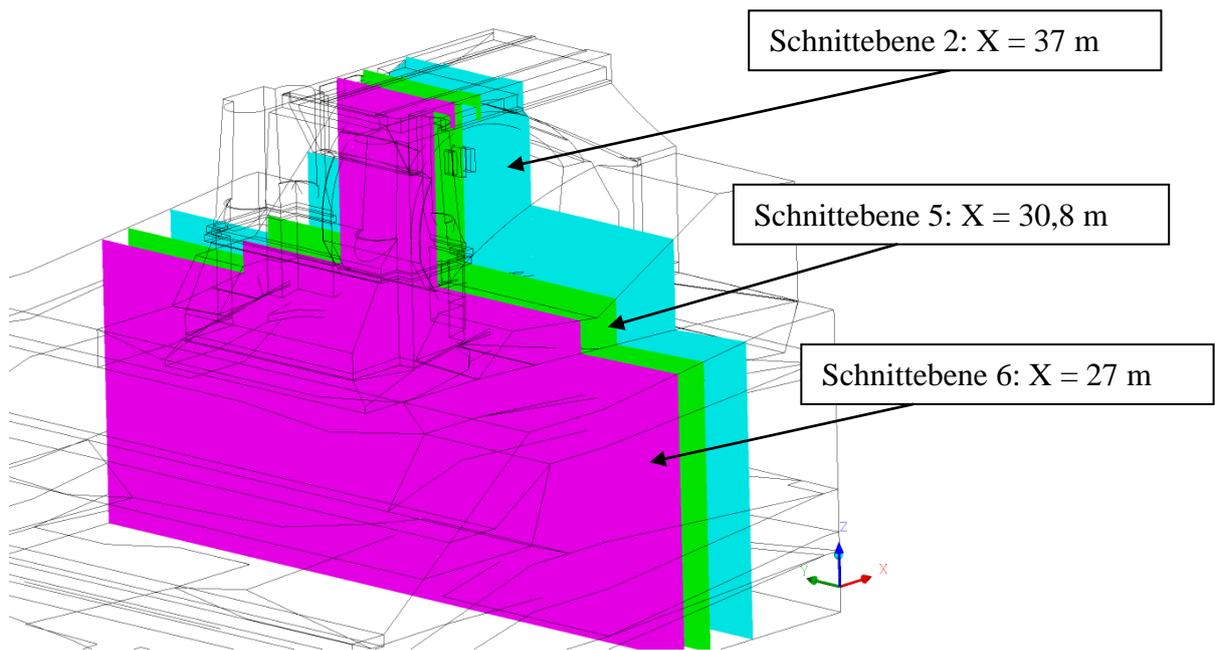
**Abbildung 48:** Schnittebene 1: Temperaturverteilung [°C]



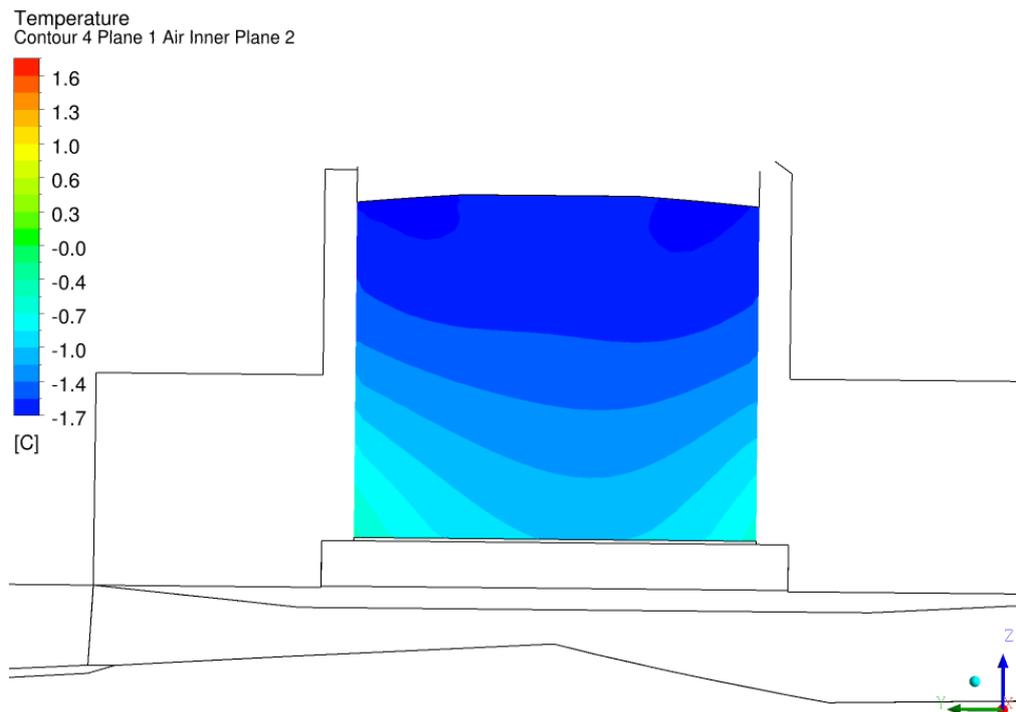
**Abbildung 49:** Schnittebene 3: Temperaturverteilung [°C]



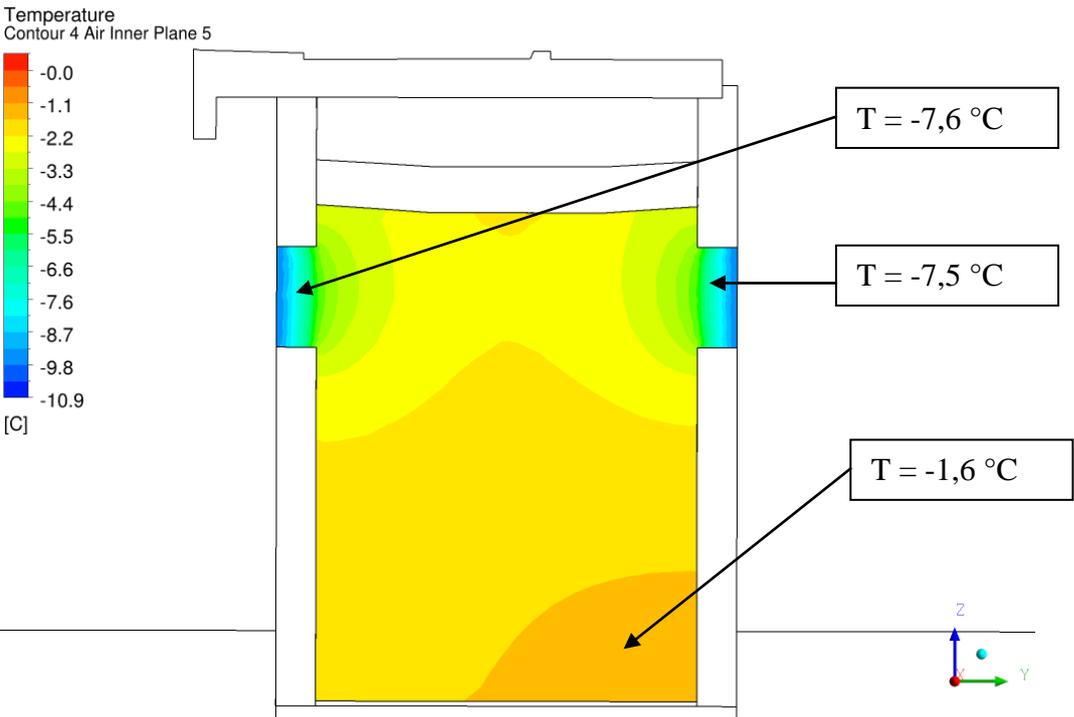
**Abbildung 50** Schnittebene 4: Temperaturverteilung [°C]



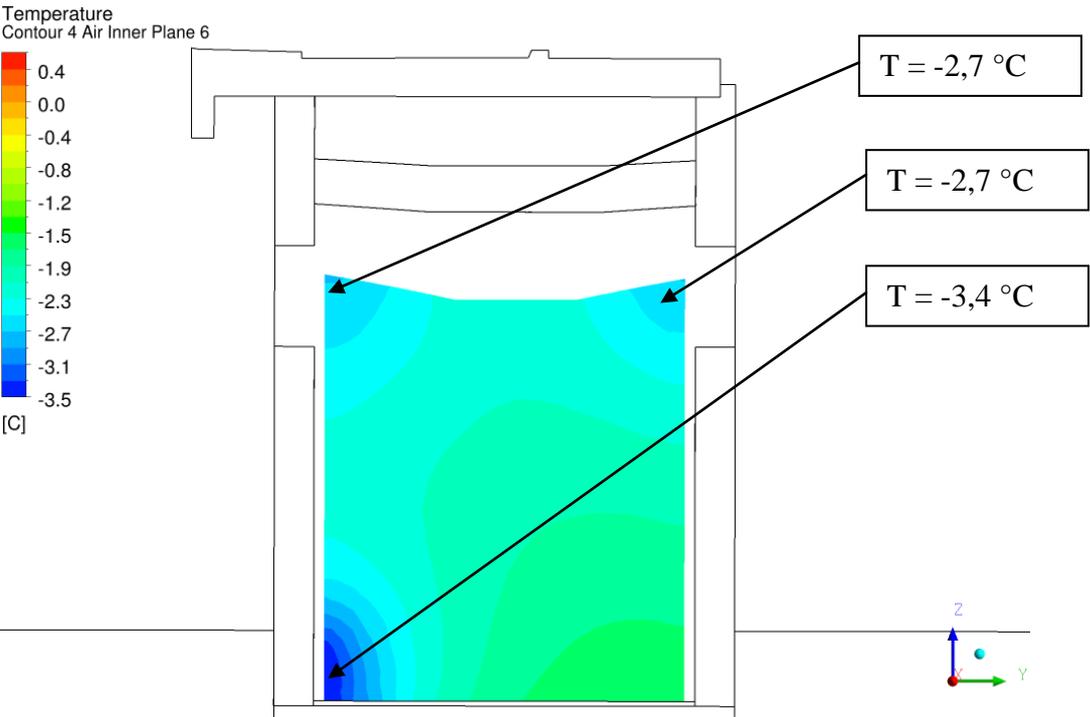
**Abbildung 51:** Schnittebenen 2, 5 und 6 für die Auswertung



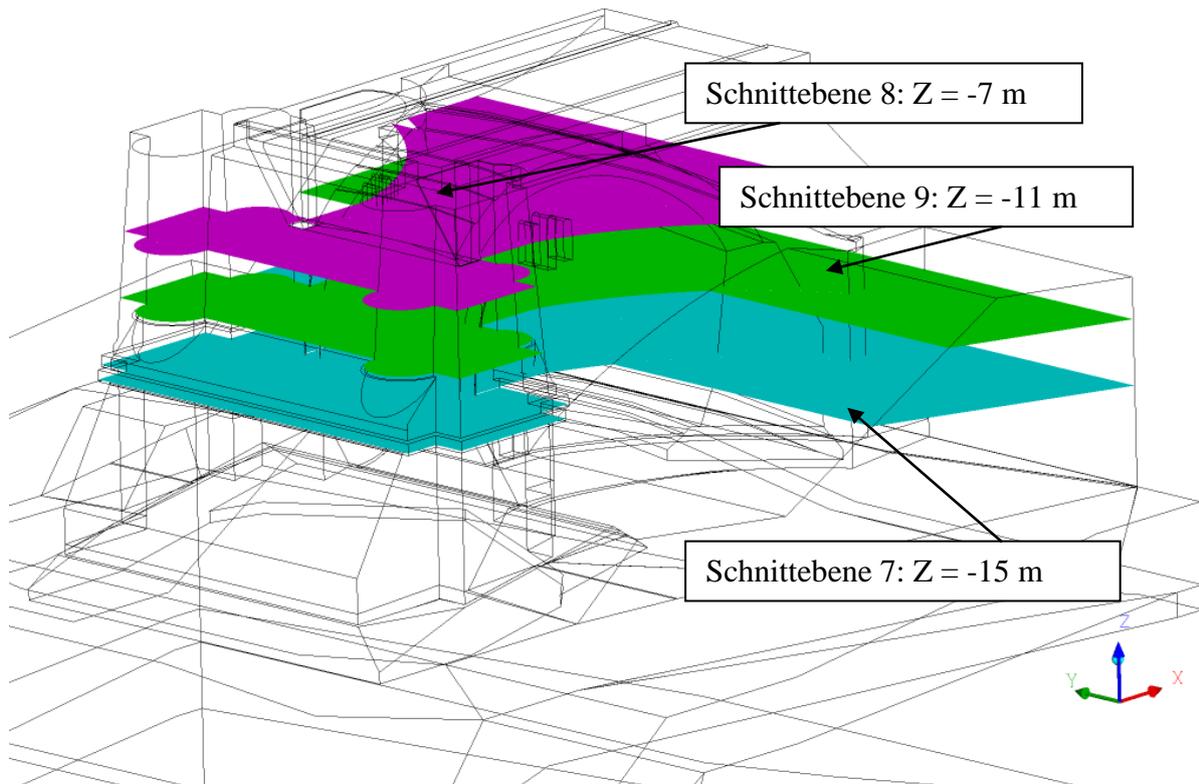
**Abbildung 52** Schnittebene 2: Temperaturverteilung [°C]



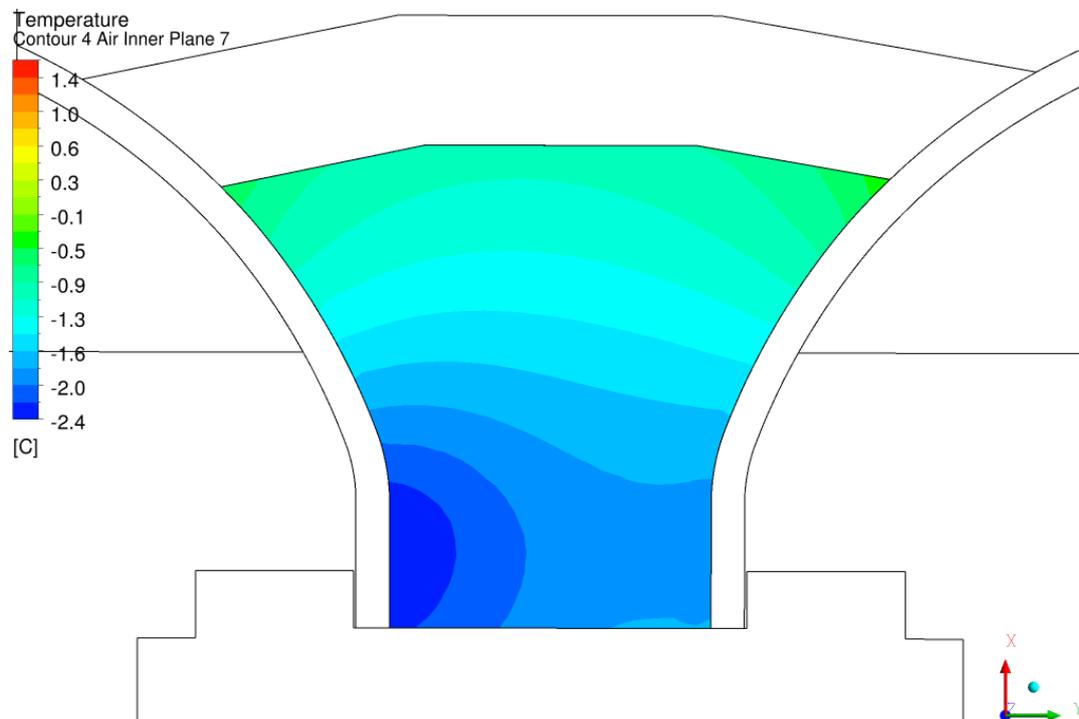
**Abbildung 53:** Schnitt Ebene 5: Temperaturverteilung [°C]



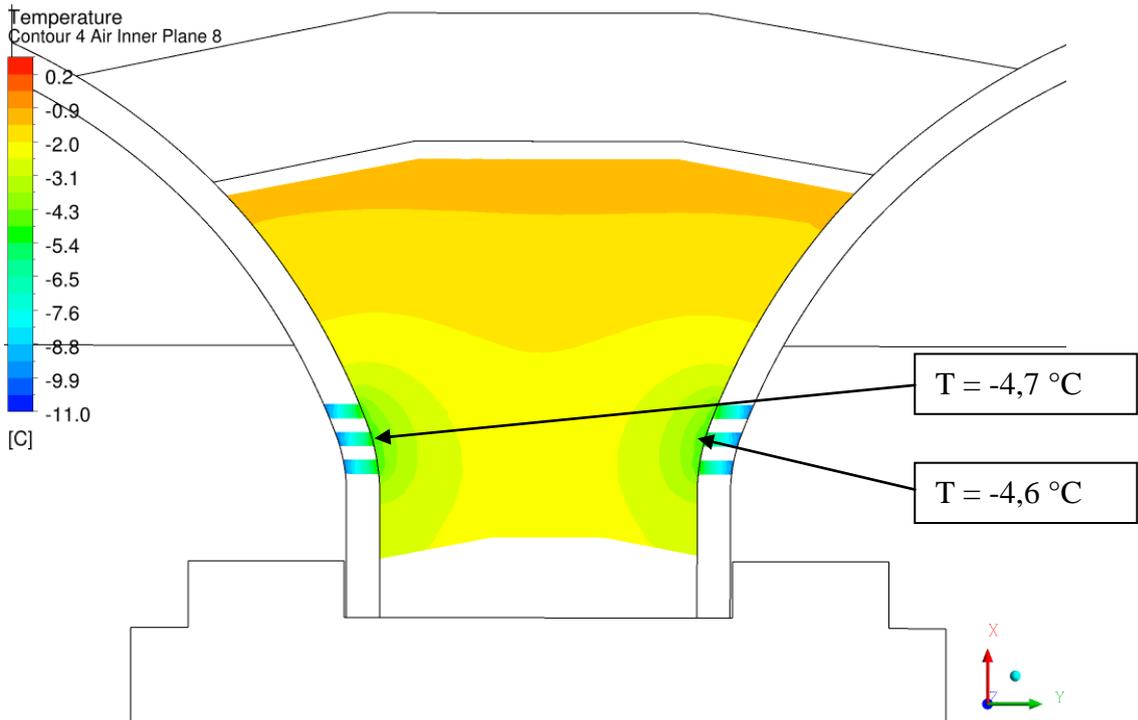
**Abbildung 54:** Schnitt Ebene 6: Temperaturverteilung [°C]



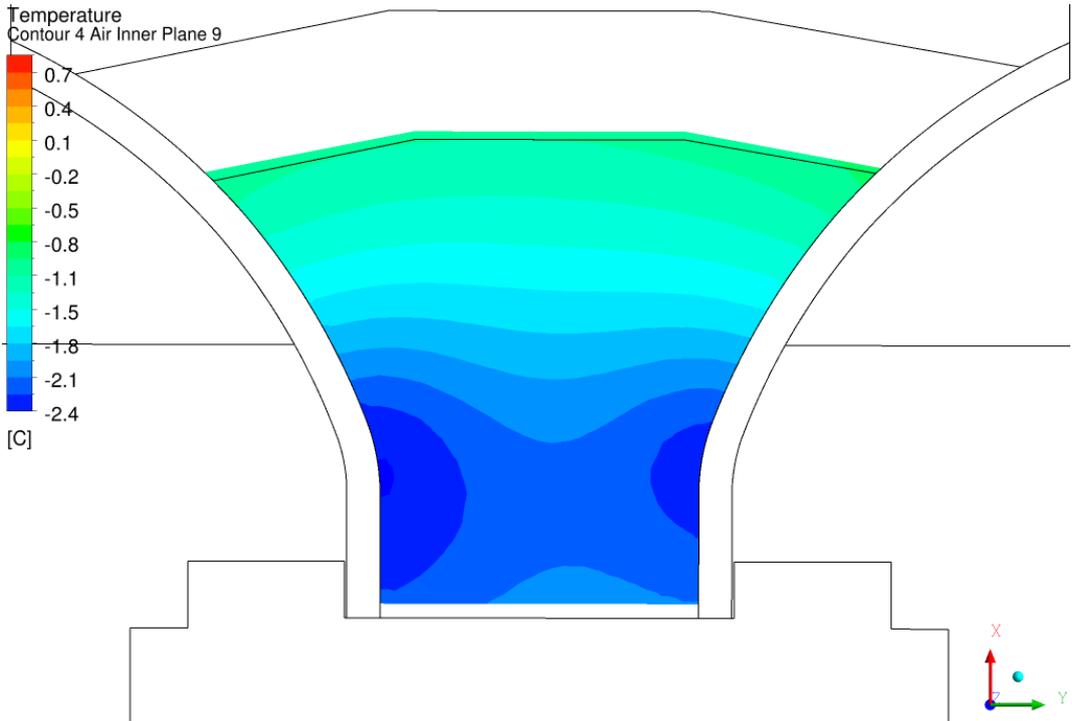
**Abbildung 55:** Schnittebenen 8, 9 und 7 für die Auswertung



**Abbildung 56:** Schnittebene 7: Temperaturverteilung [°C]



**Abbildung 57:** Schnitt Ebene 8: Temperaturverteilung [°C]



**Abbildung 58:** Schnitt Ebene 9: Temperaturverteilung [°C]

## **9. Zwischenresümee Teil I**

Im ersten Teil des Simulationsprojektes wurde ein Berechnungsmodell aufgebaut, berechnet und mit den vorliegenden Messwerten verifiziert. Temperaturabweichungen zwischen den Realmesswerten und den ermittelten Simulationsmesswerten wurden minimiert. Bestehende Abweichungen sind auf die unvermeidliche Idealisierung innerhalb des Berechnungsmodells zurückzuführen. Somit wurde eine mathematische Grundlage für nachfolgende Änderungen (Modifizierungen) im Bereich der Fahrbahn und des darunter liegenden Bereiches erzielt. Die Simulationsmesswerte aus Teil 1 und Teil 2 werden dann in Teil III in Relation verglichen und beurteilt.

## 10. Schritt 2: Berechnung der modifizierten Struktur mit einer thermischen Abschottung

Wie im Kapitel 2 bereits erwähnt, wurde im Berechnungsschritt 2 das verifizierte Berechnungsmodell entsprechend den Vorentwurfsplänen der Ingenieurgesellschaft WKC-Anwika (Stand 12/2013) angepasst und berechnet. Durch die geänderte Beschaffenheit des Aufbaus (verringerte Gewölbeüberdeckung) und der Schichtenfolge der Gewölbeüberschüttung (zusätzliche Wärmedämmung und Schutzbeton) ist mit einer geänderten Temperaturverteilung zu rechnen. Diese ist zu bestimmen und zu bewerten.

### 10.1 Schritt 2: Modellierungsunterlagen

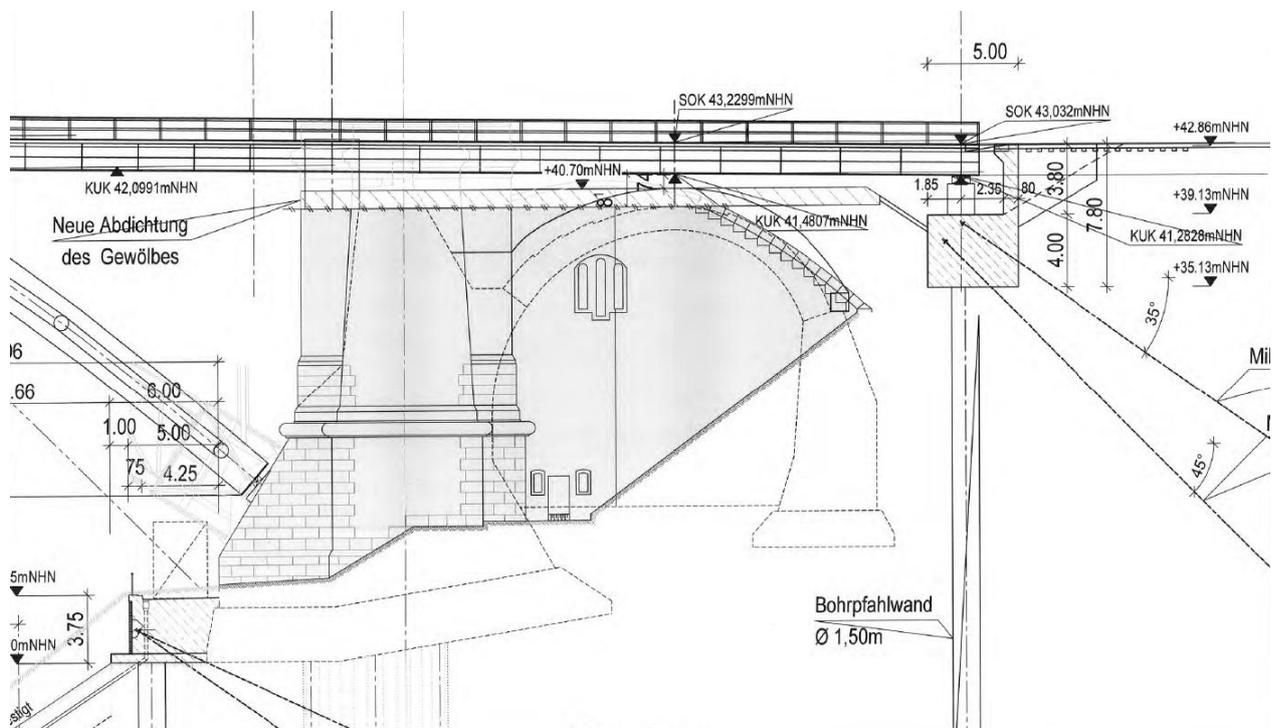
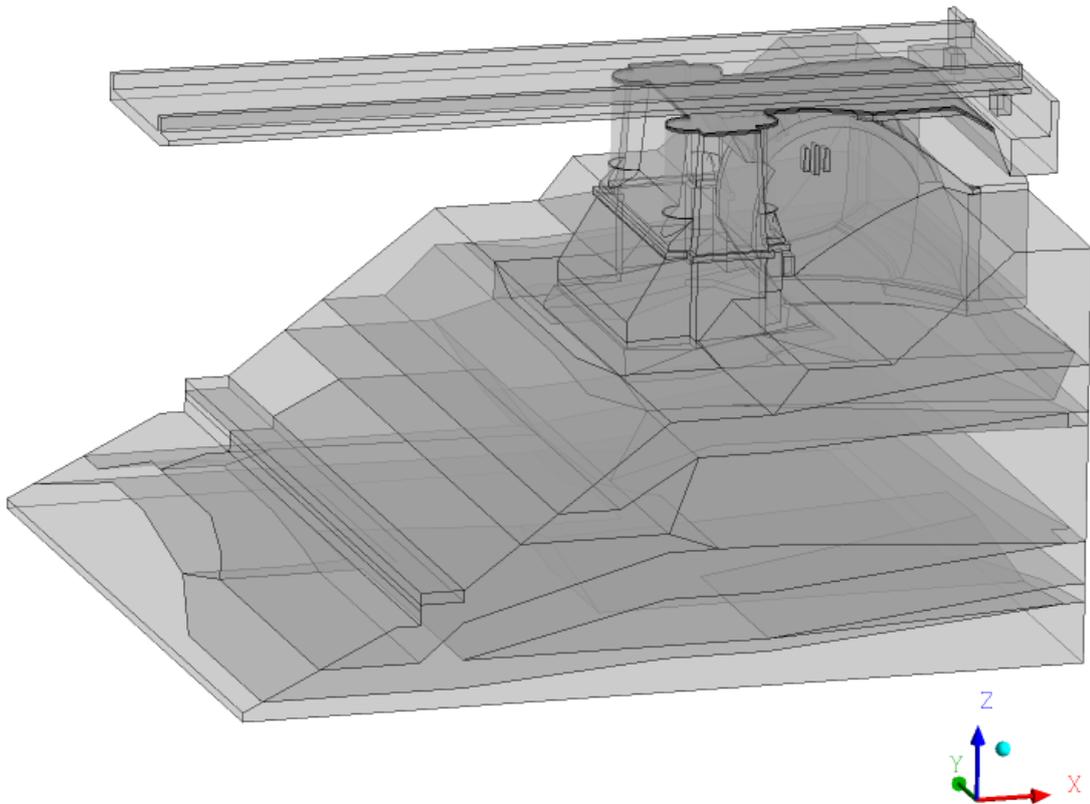
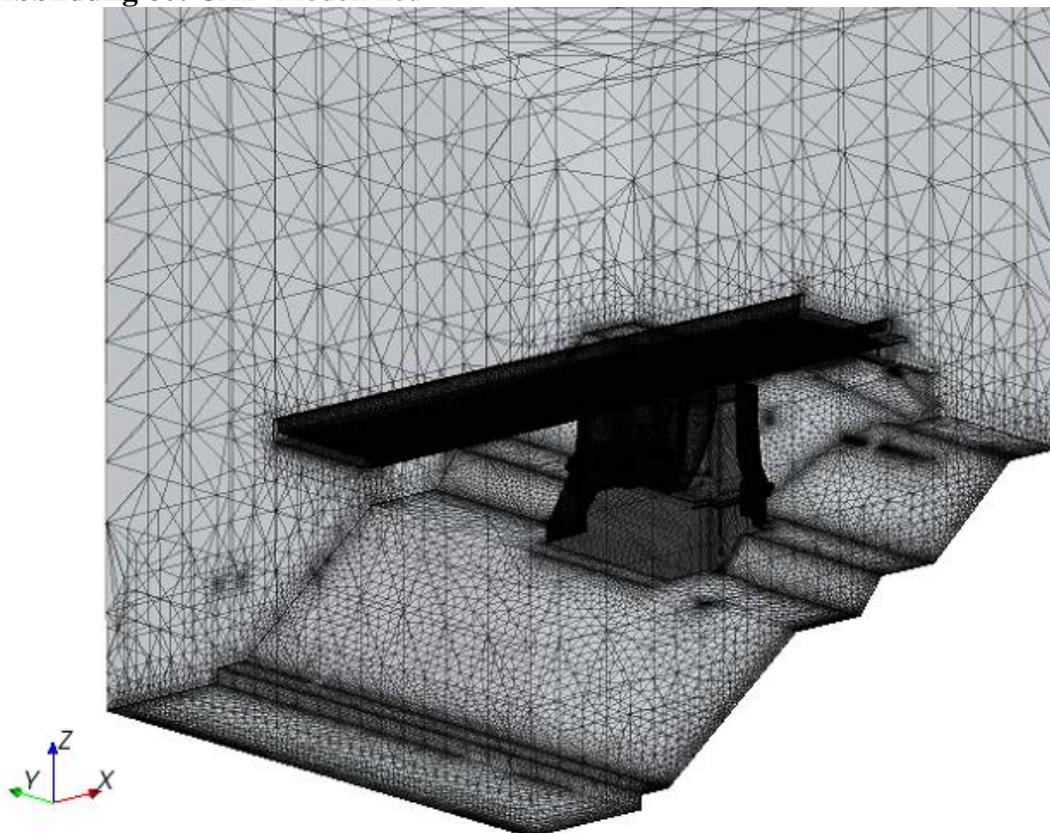


Abbildung 59: modifizierte Geometrie<sup>20</sup> (Skizze)

<sup>20</sup> [modifizierte Skizze]



**Abbildung 60:** CAD-Modell neu



**Abbildung 61:** Berechnungsmodell Strömungsanalyse global

## 10.2 Materialeigenschaften

In der nachfolgenden Tabelle sind die in dem neuen Aufbau verwendeten Materialeigenschaften zusammengestellt.

	Bereich / Material	Dichte [kg·m <sup>3</sup> ]	spez. Wärmekapazität [J/kgK]	Wärmeleitfähigkeit [W/(m·K)]
1	Schaumglas	130	1000	0,045
2	Schutzbeton	2500	1080	2,1

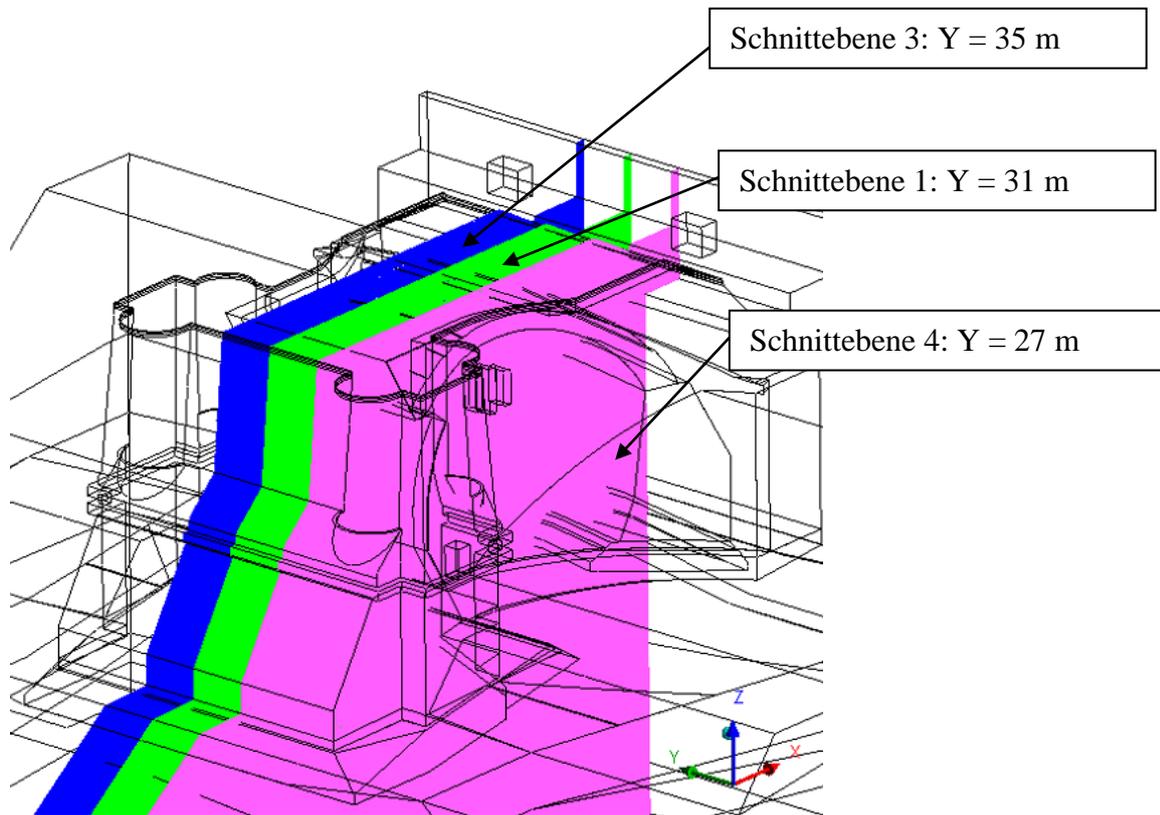
**Tabelle 6:** Materialeigenschaften gem., DIN-EN 13167

Neuer Aufbau (von oben nach unten):

- 10 cm Schutzbeton C 20/25
- 14 cm Schaumglas Druckfestigkeit  $\geq 600$  kPa
- 1 cm dreilagige Abdichtung aus Bitumen
- 15 cm Schutzbeton C 20/25

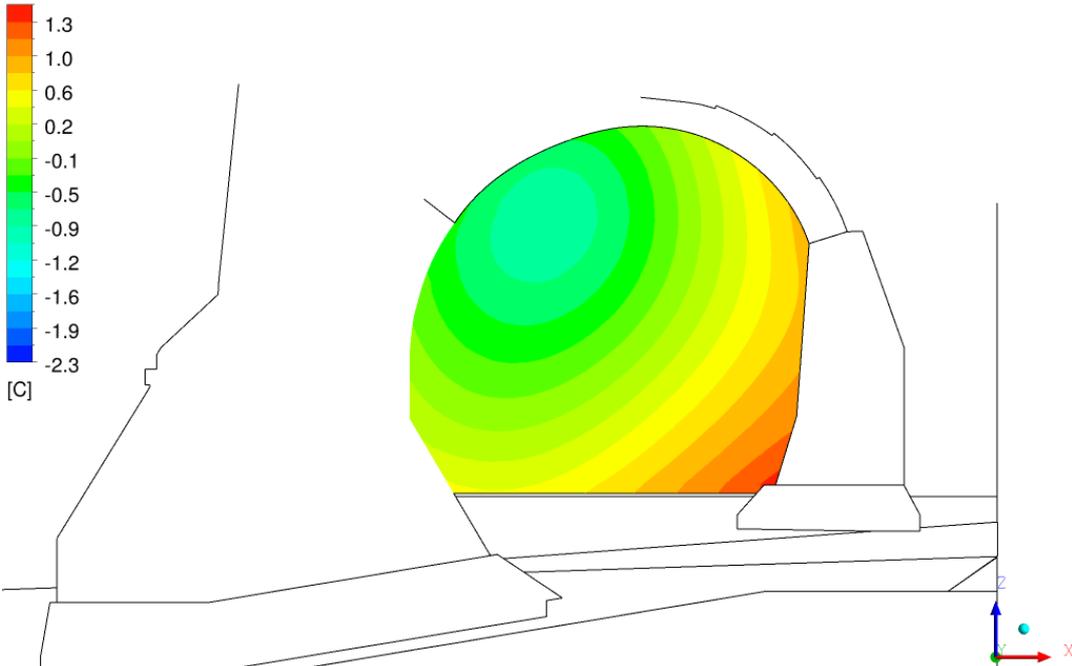
### 10.3 Berechnungsergebnisse Temperaturverteilung

Die Temperaturverteilungen werden für den **29.12.2010 / 11:00 Uhr** dargestellt. Dieser Zeitpunkt entspricht der minimalen auftretenden Temperatur im simulierten Zeitraum. Die Schnittebenen sind in den nachfolgenden Abbildungen abgebildet.



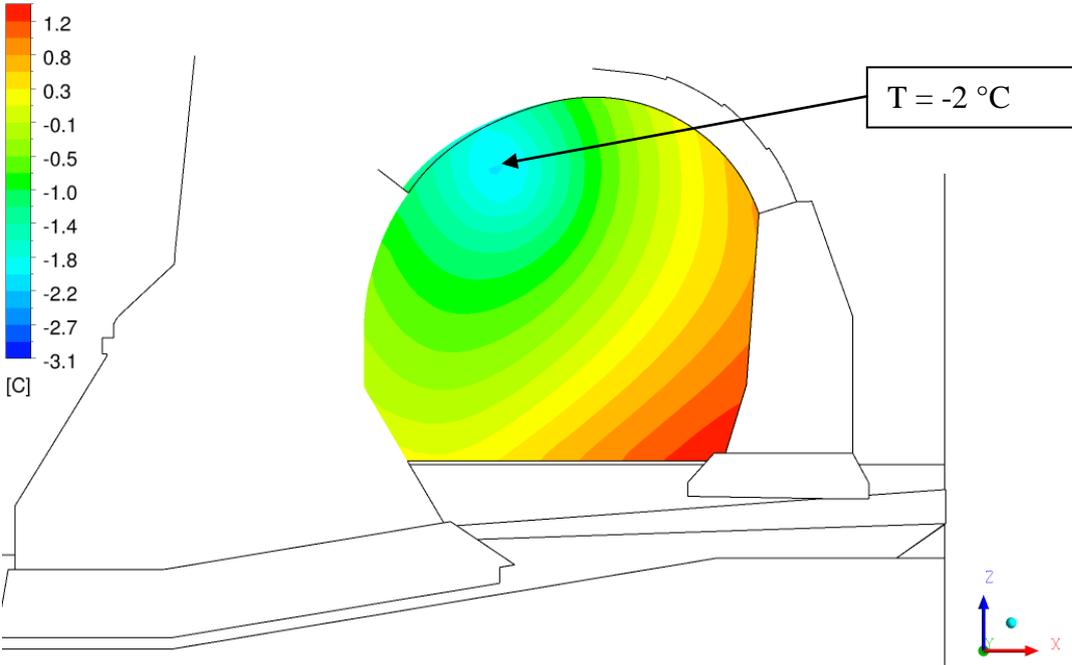
**Abbildung 62:** Schnittebenen 1, 3 und 4 für die Auswertung

Temperature  
Contour 4 Plane 1 Air Inner Plane 1

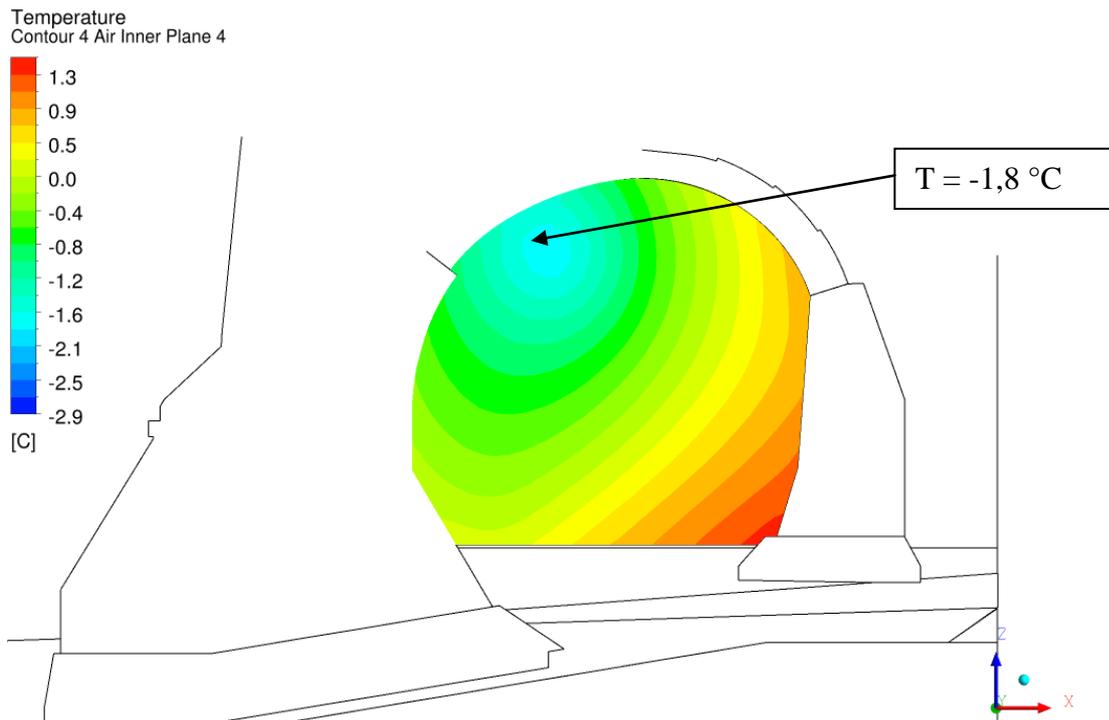


**Abbildung 63:** Schnitt Ebene 1: Temperaturverteilung [°C]

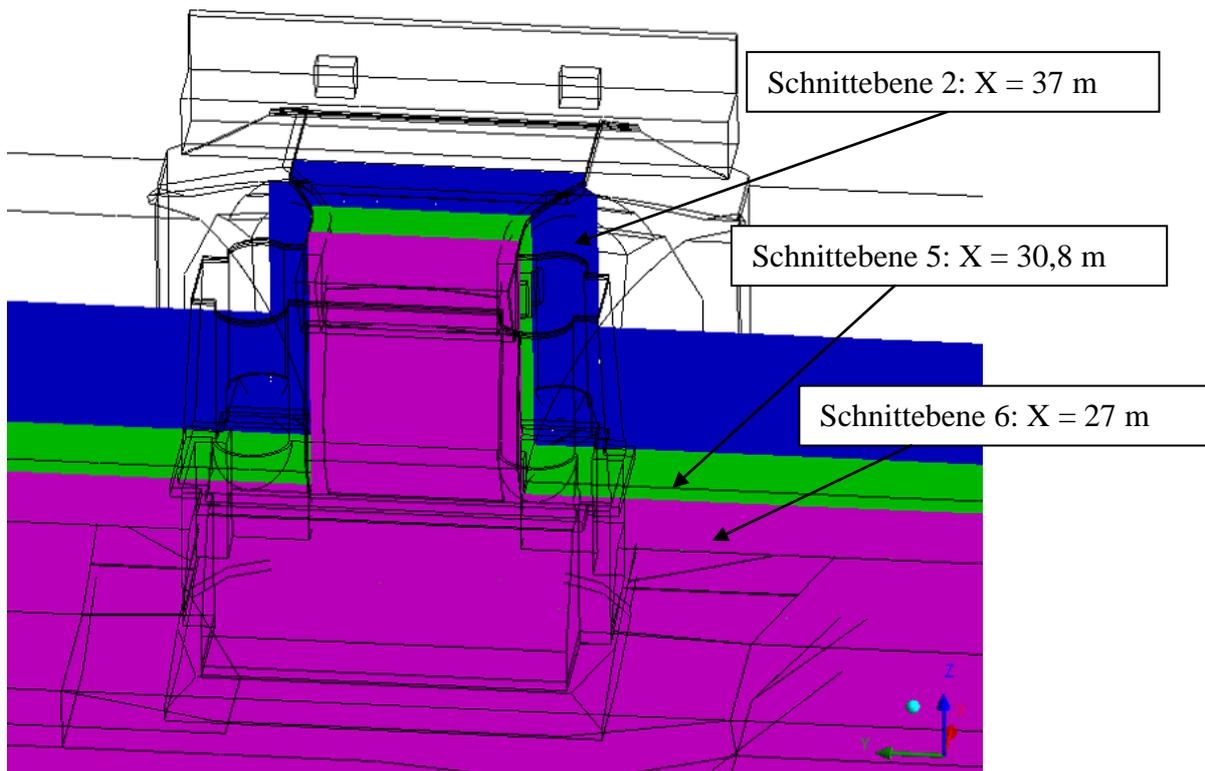
Temperature  
Contour 4 Air Inner Plane 3



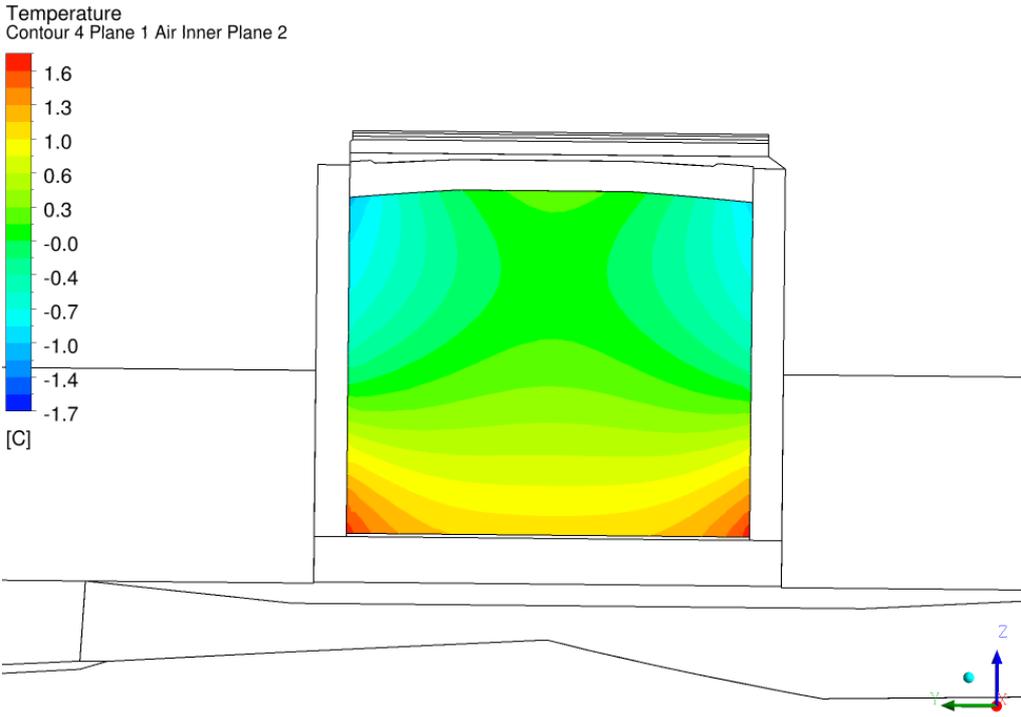
**Abbildung 64:** Schnitt Ebene 3: Temperaturverteilung [°C]



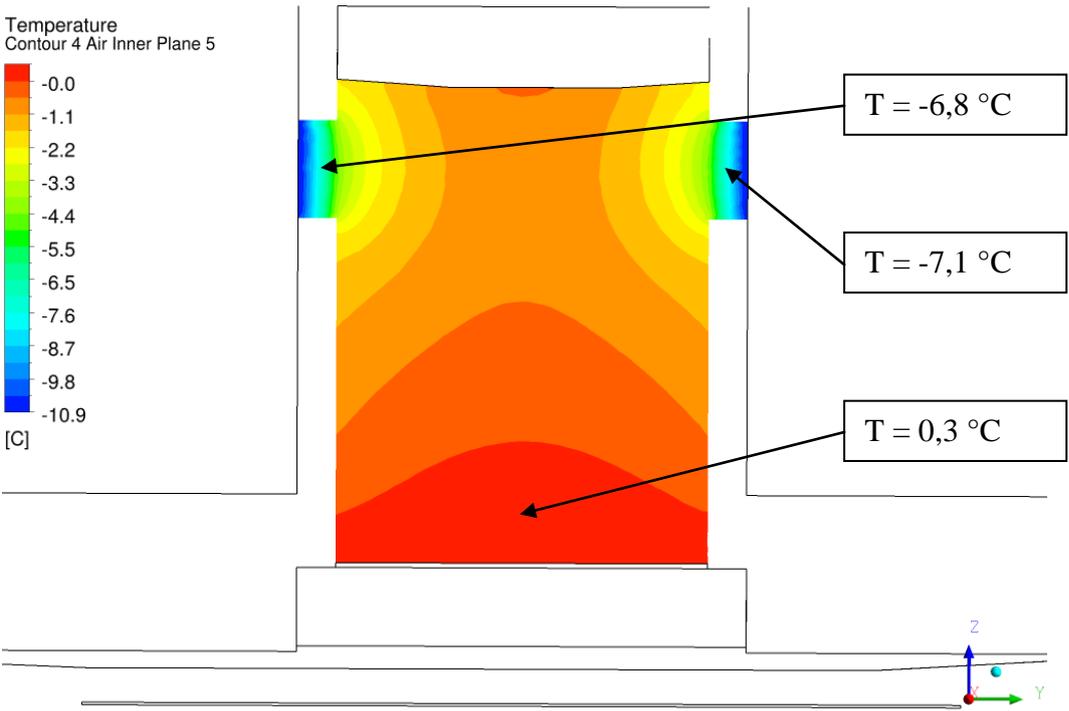
**Abbildung 65** Schnittbene 4: Temperaturverteilung [°C]



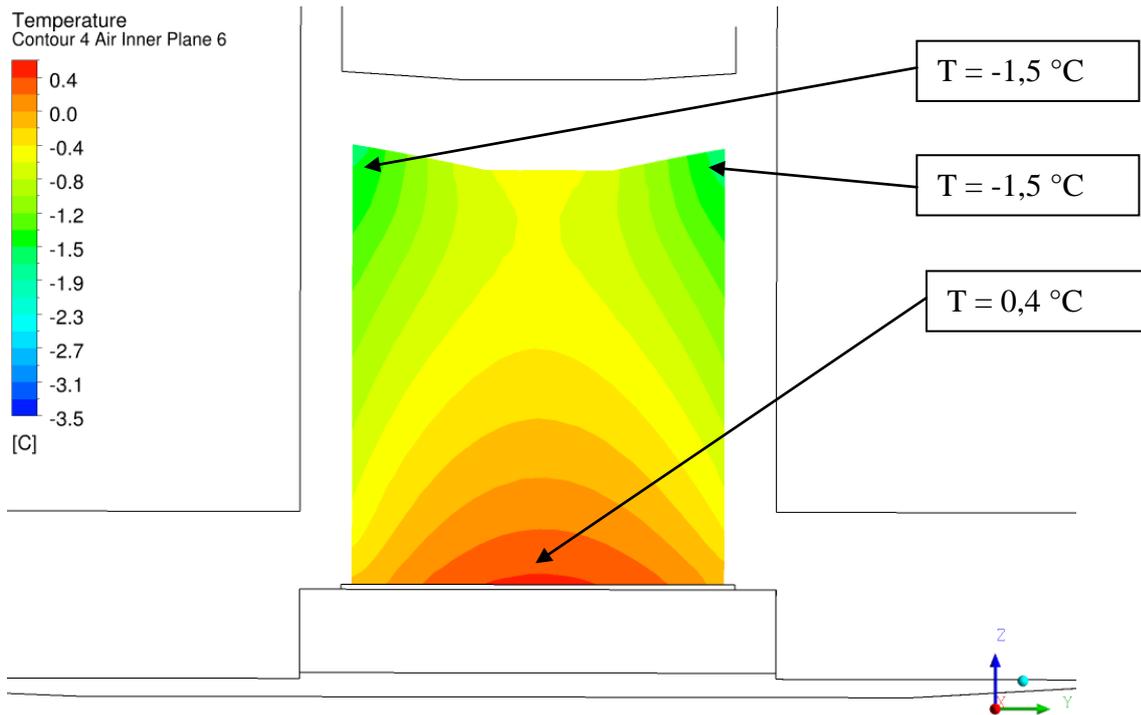
**Abbildung 66:** Schnittebenen 2, 5 und 6 für die Auswertung



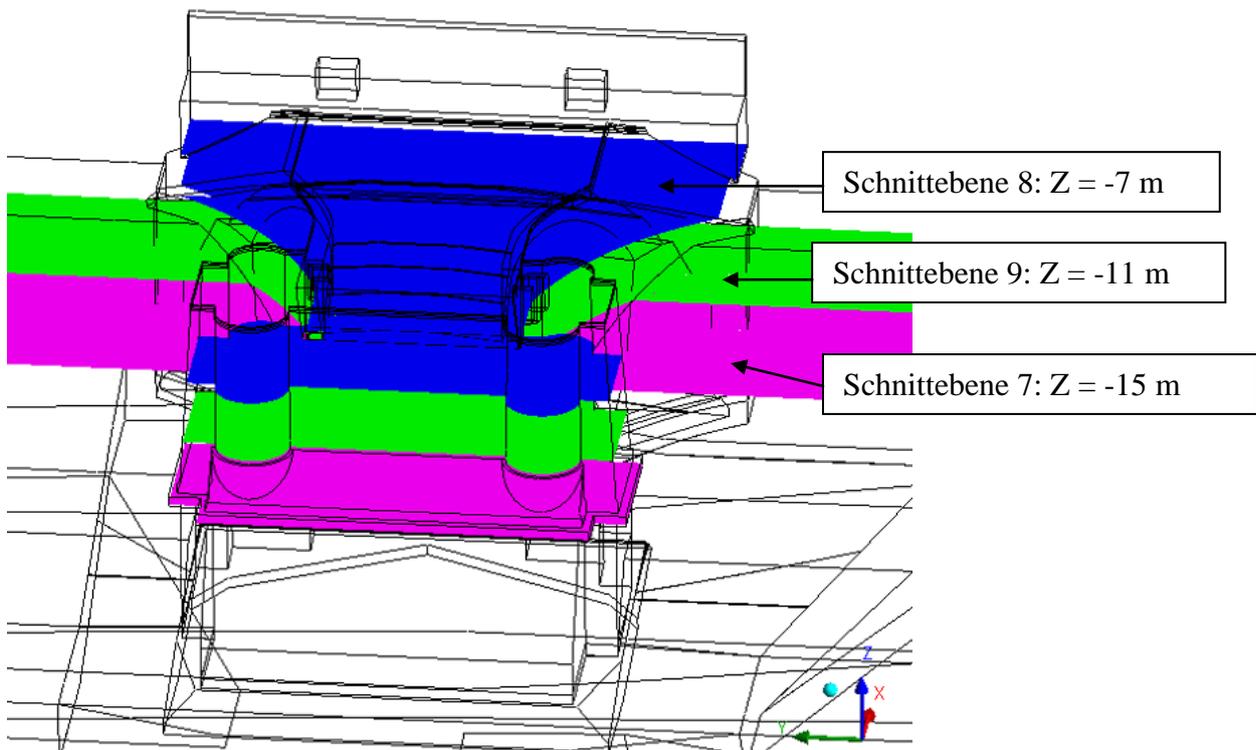
**Abbildung 67** Schnittebene 2: Temperaturverteilung [°C]



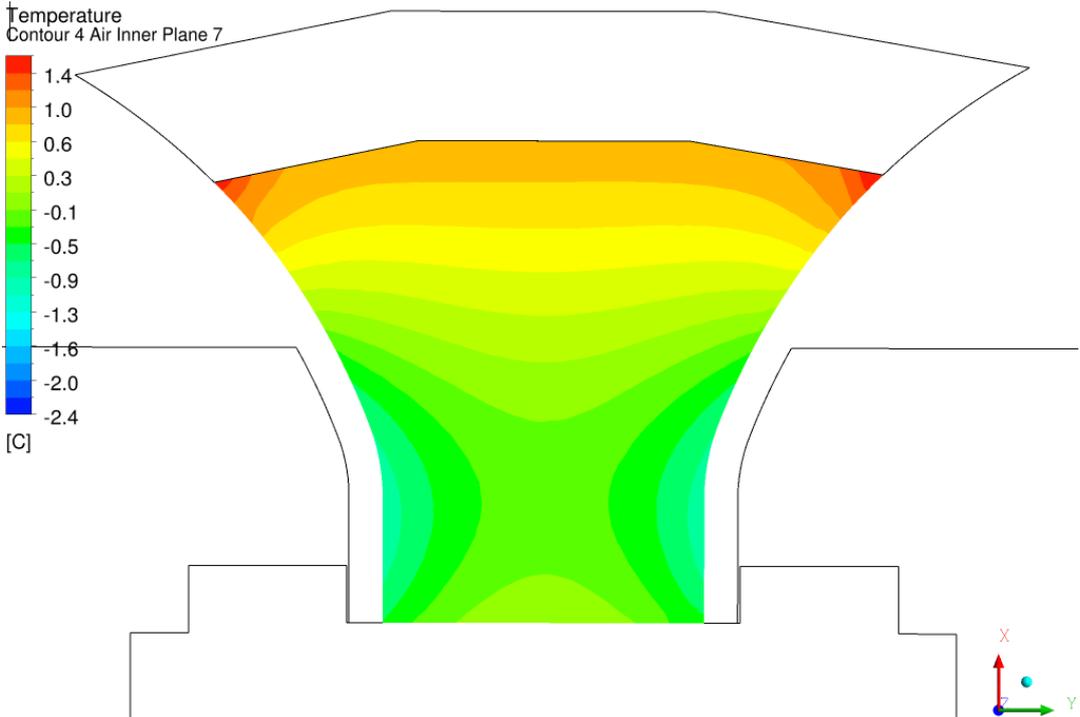
**Abbildung 68:** Schnittebene 5: Temperaturverteilung [°C]



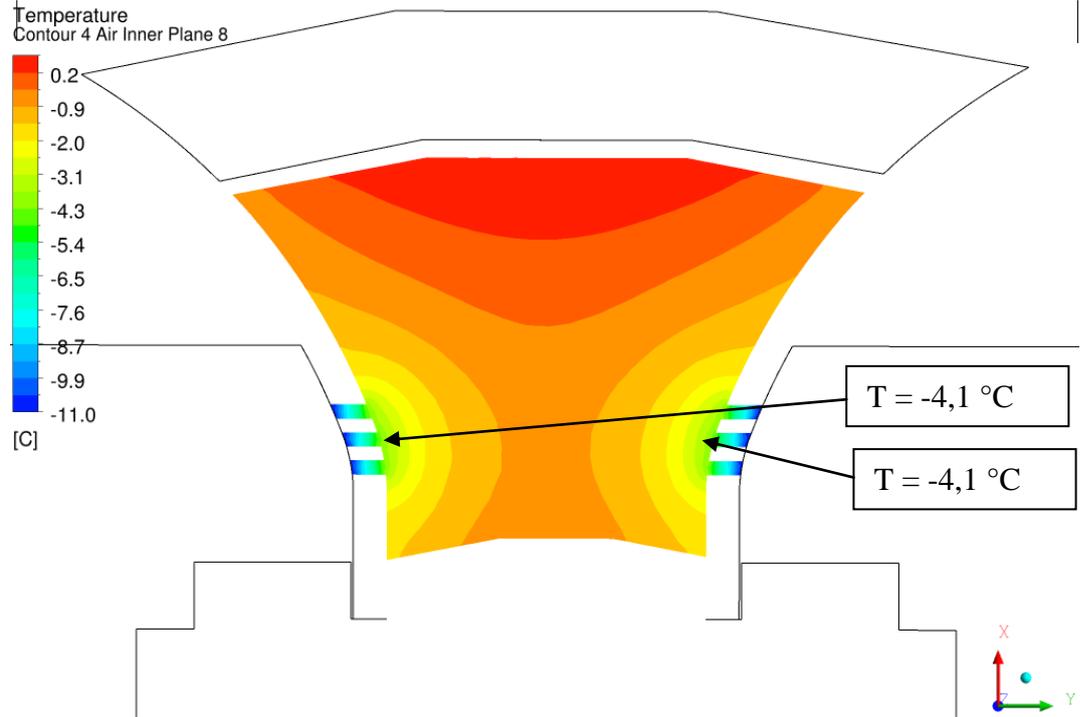
**Abbildung 69:** Schnittebene 6: Temperaturverteilung [°C]



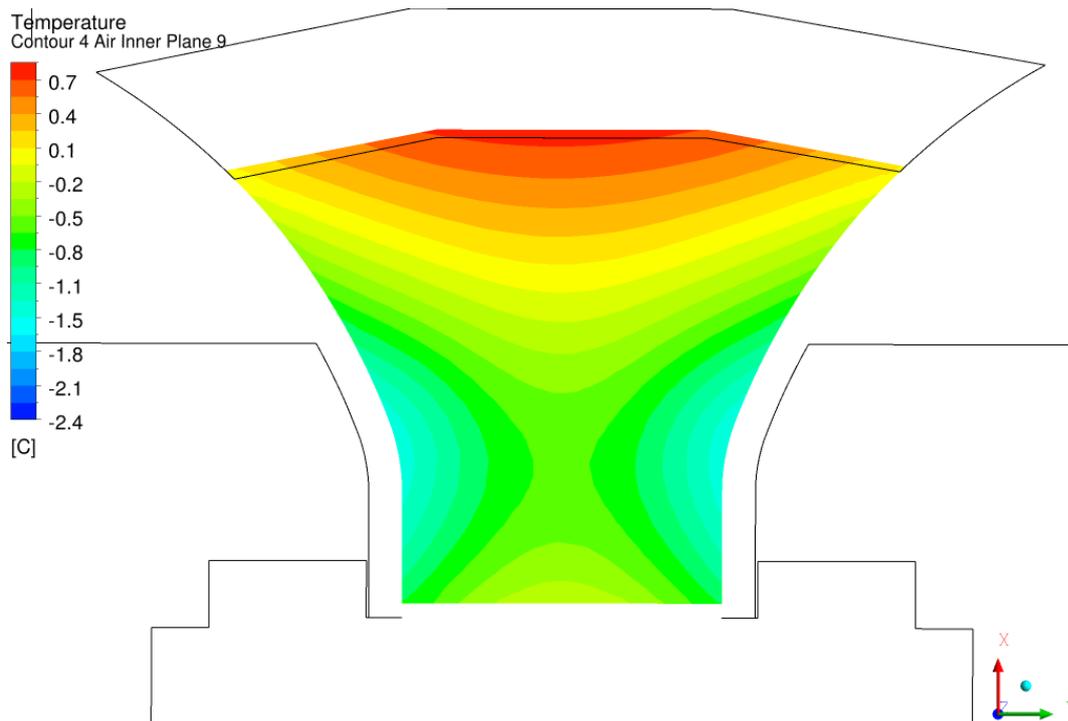
**Abbildung 70:** Schnittebenen 7, 8 und 9 für die Auswertung



**Abbildung 71:** Schnitt Ebene 7: Temperaturverteilung [°C]



**Abbildung 72:** Schnitt Ebene 8: Temperaturverteilung [°C]



**Abbildung 73:** Schnittebene 9: Temperaturverteilung [°C]

## 11. Zwischenresümee Teil II

Im zweiten Teil des Simulationsprojektes wurde ein modifiziertes Berechnungsmodell aufgebaut, das dem neuen Aufbau entspricht. Ein visueller Vergleich der Berechnungsergebnisse deutet auf eine äußerst geringfügige Abweichung der Temperatur im Gewölbe hin. Für eine genaue Aussage werden die Temperaturwerte an den Auswertestellen aus der ersten und der zweiten Analyse in Teil III miteinander verglichen werden.

## 12. Schritt 3: Vergleich Teil I und Teil II

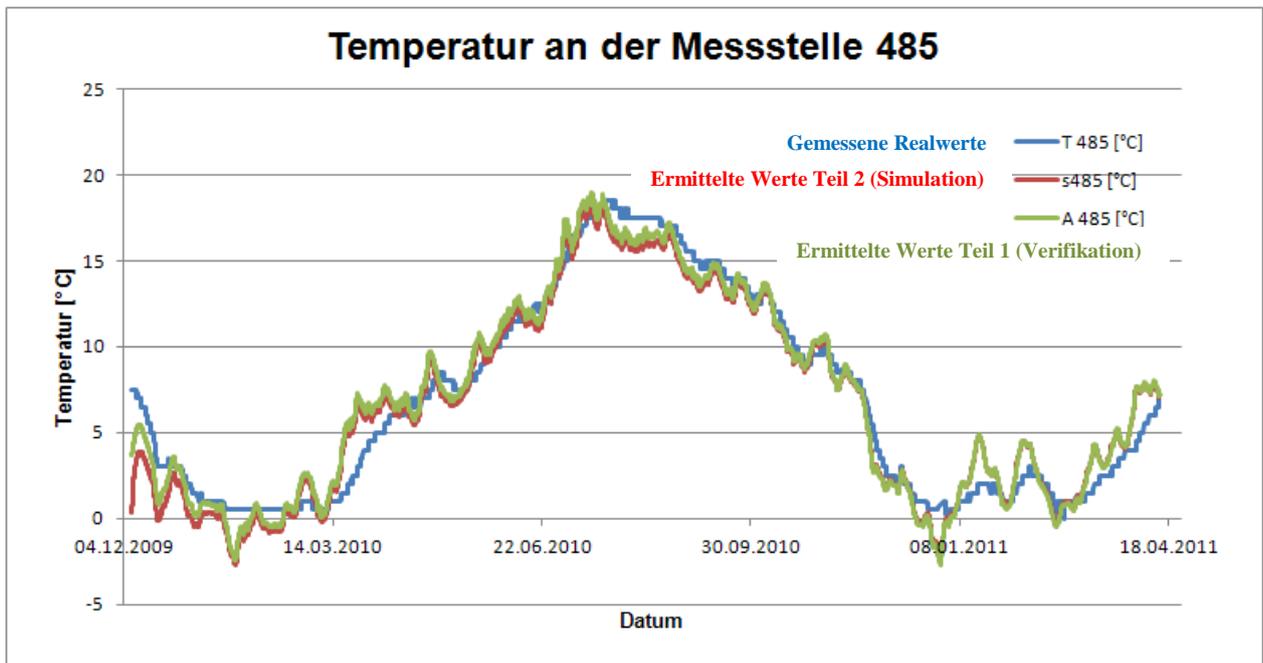
Da sich die Winterquartiere der Fledermäuse in den vertikalen Fugen zwischen Gewölbe und Flügelmauern befinden, werden in den nachfolgenden Abbildungen Temperaturverlaufskurven im Gesamtzeitraum und in der Kältephase an ausgewählten Messstellen im Bereich dieser vertikalen Fugen dargestellt.

1. Reale Temperaturmessungen von Chirotec - blau
2. Verifizierte Simulationsdaten am Bestand – grün (Teil I)
3. Ermittelte Simulationsdaten nach Geometrieangepassung (= Ersatzneubau) – rot (Teil II)

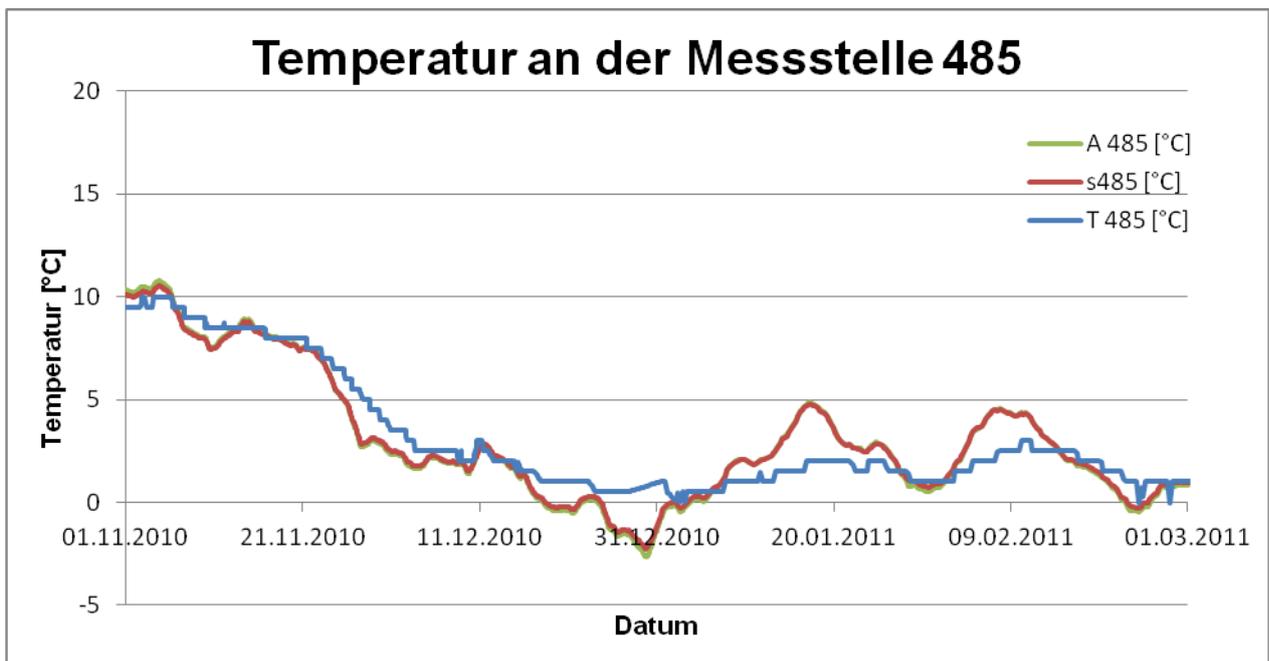
Somit werden die relativen Veränderungen der Simulation Schritt I und Schritt II aufgeführt und vergleichbar.

Anmerkung:

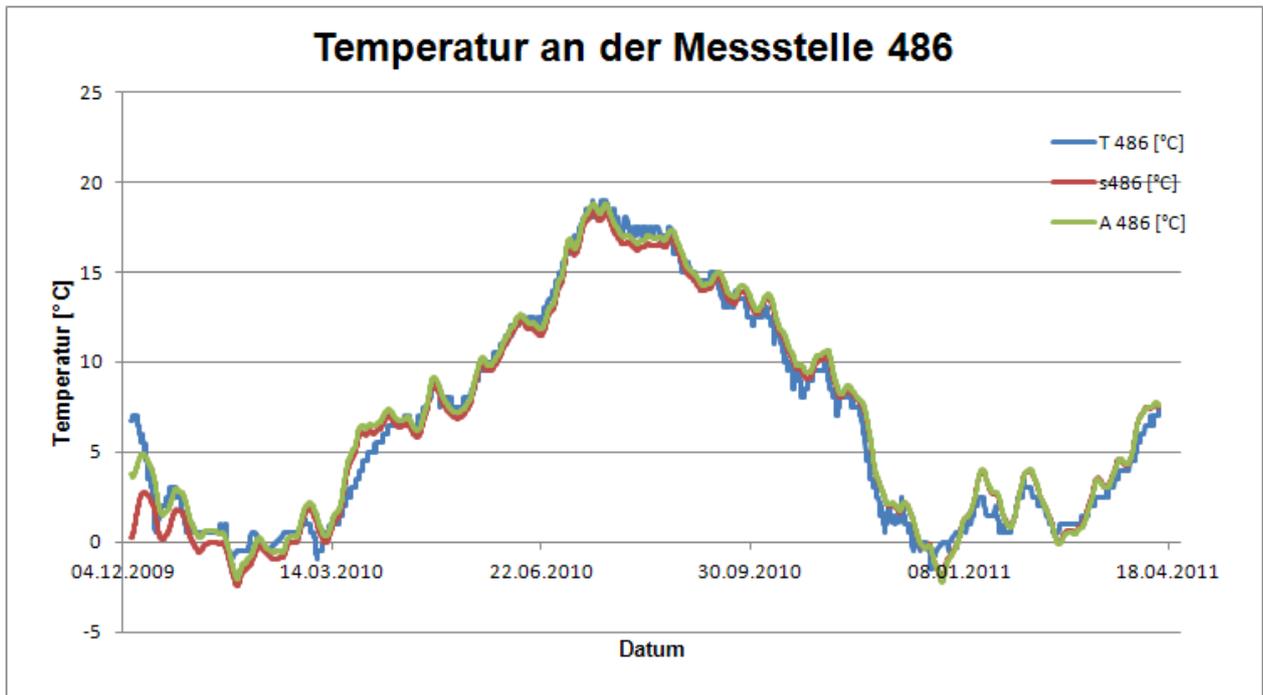
In den Gesamtverlaufskurven ist zu sehen, dass die Temperaturverlaufskurven auf der y-Achse in abweichenden Temperaturbereichen beginnen. Diese lokalen Abweichungen können während der Modellinitialisierung bei iterativen Berechnungen entstehen und sind nicht zu vermeiden. Ziel war es, die Gesamtabweichungen zu minimieren. Auf Grund dessen sind die lokalen Abweichungen, insbesondere zu Beginn der zeitlichen Gesamtperiode, zu vernachlässigen.



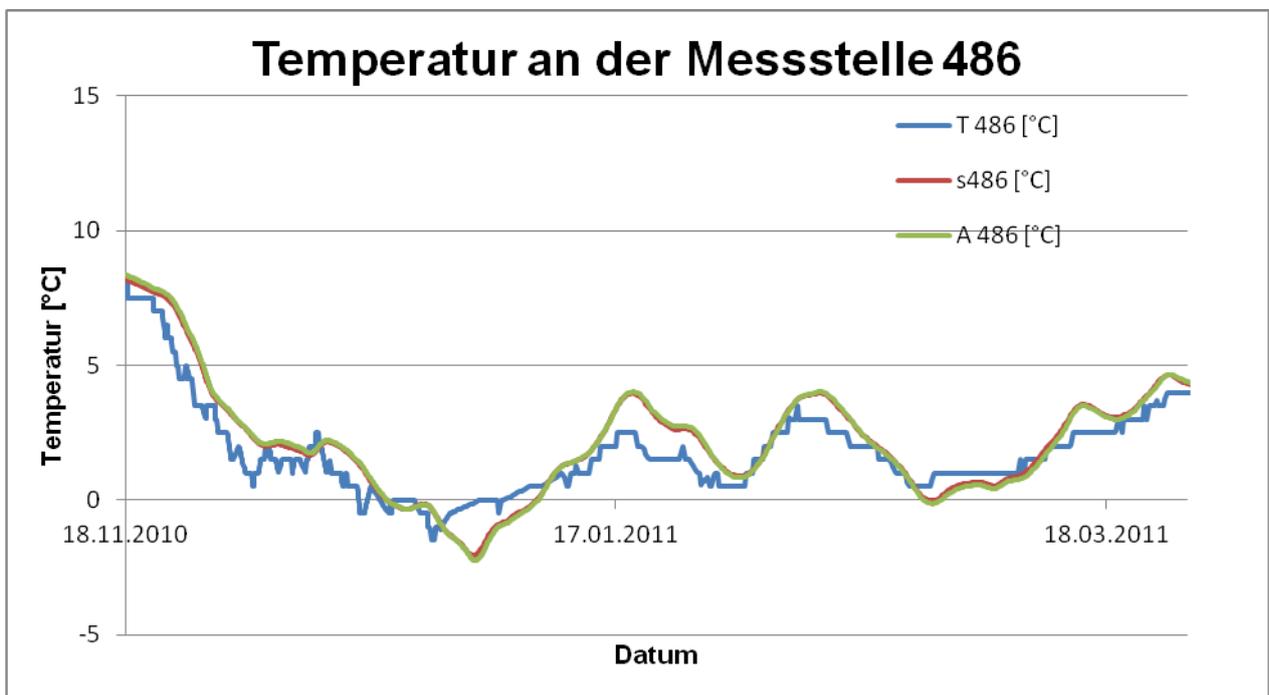
**Abbildung 74:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 485 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt - Oberfläche), vgl. Abbildung 30



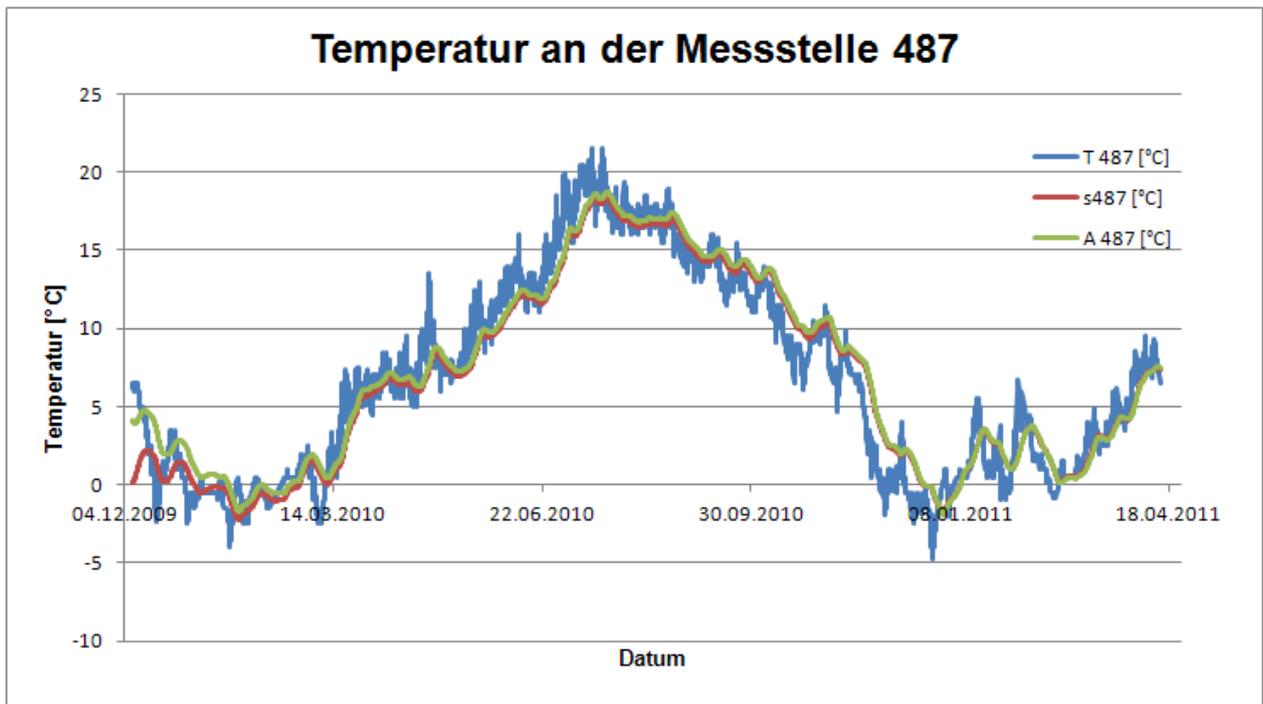
**Abbildung 75:** Messstelle 485 - **Kälteperiode** (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt - Oberfläche), vgl. Abbildung 30



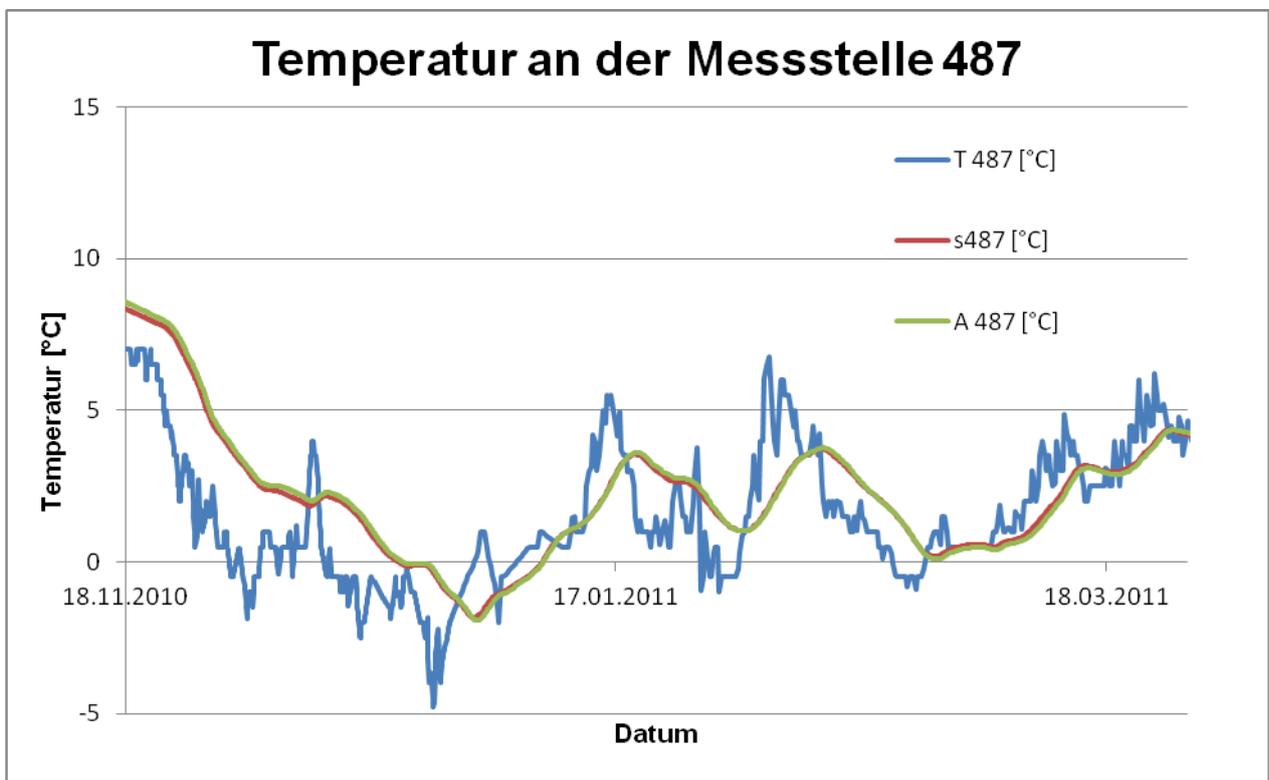
**Abbildung 76:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 486 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 1 m), vgl. Abbildung 30



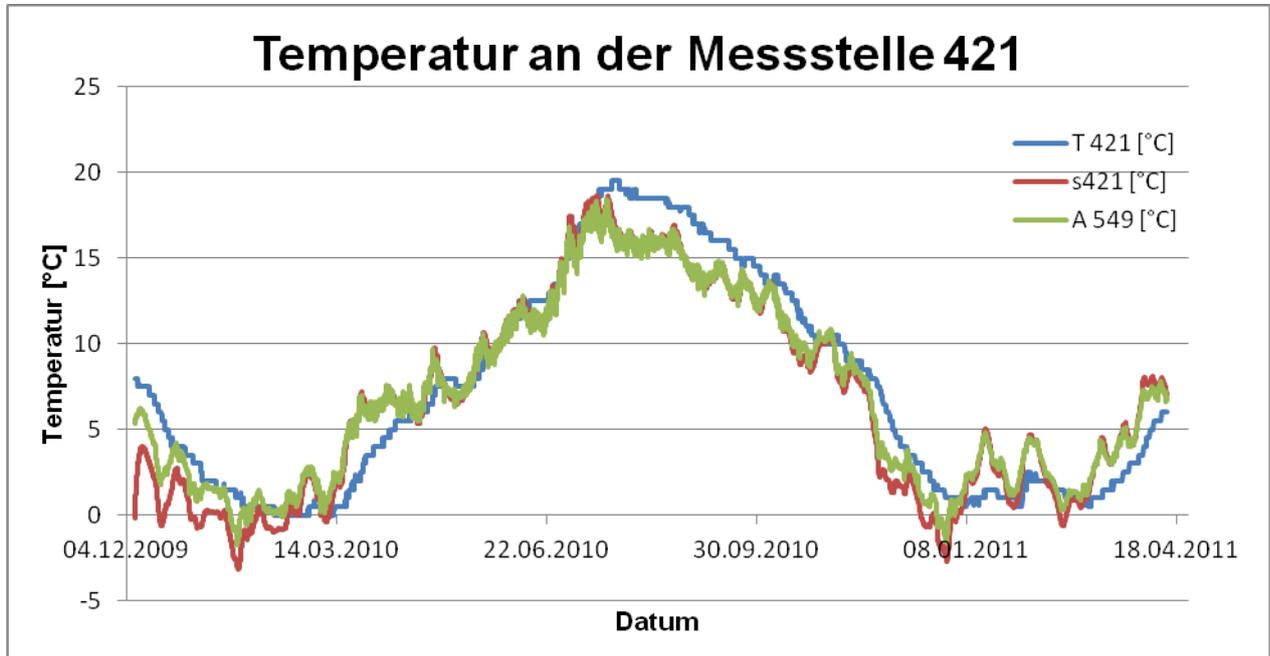
**Abbildung 77:** Messstelle 486 – Kälteperiode (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 1 m), vgl. Abbildung 30



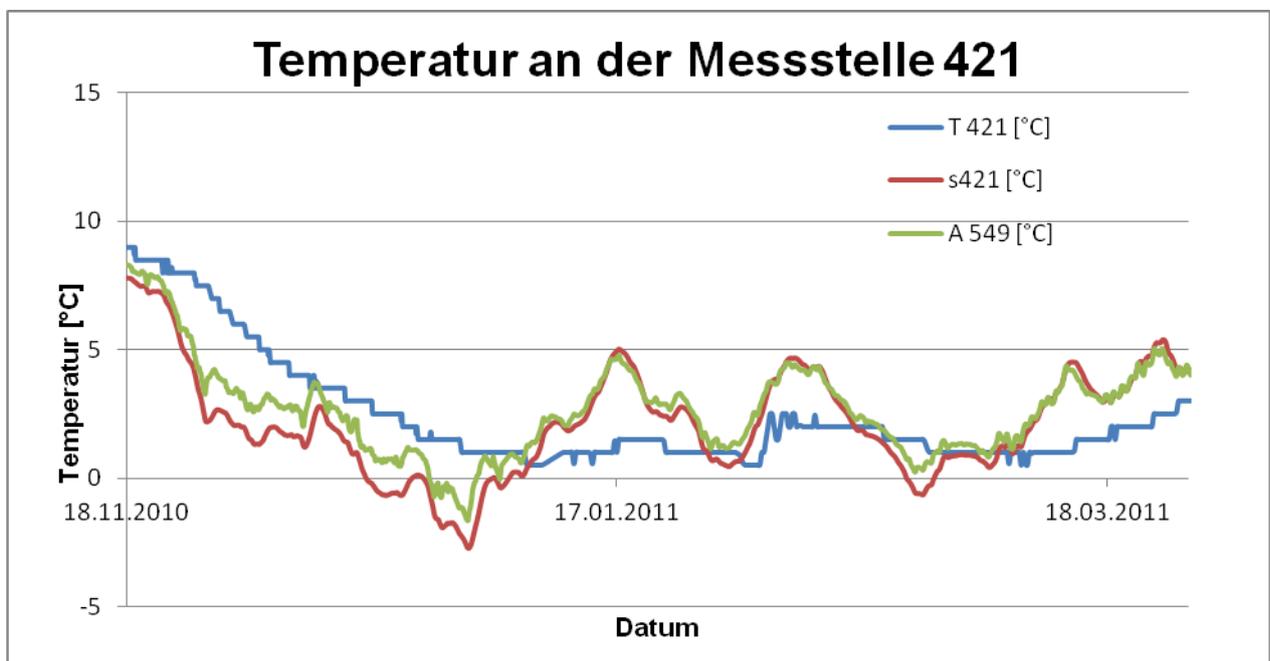
**Abbildung 78:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 487 (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 2 m), vgl. Abbildung 30



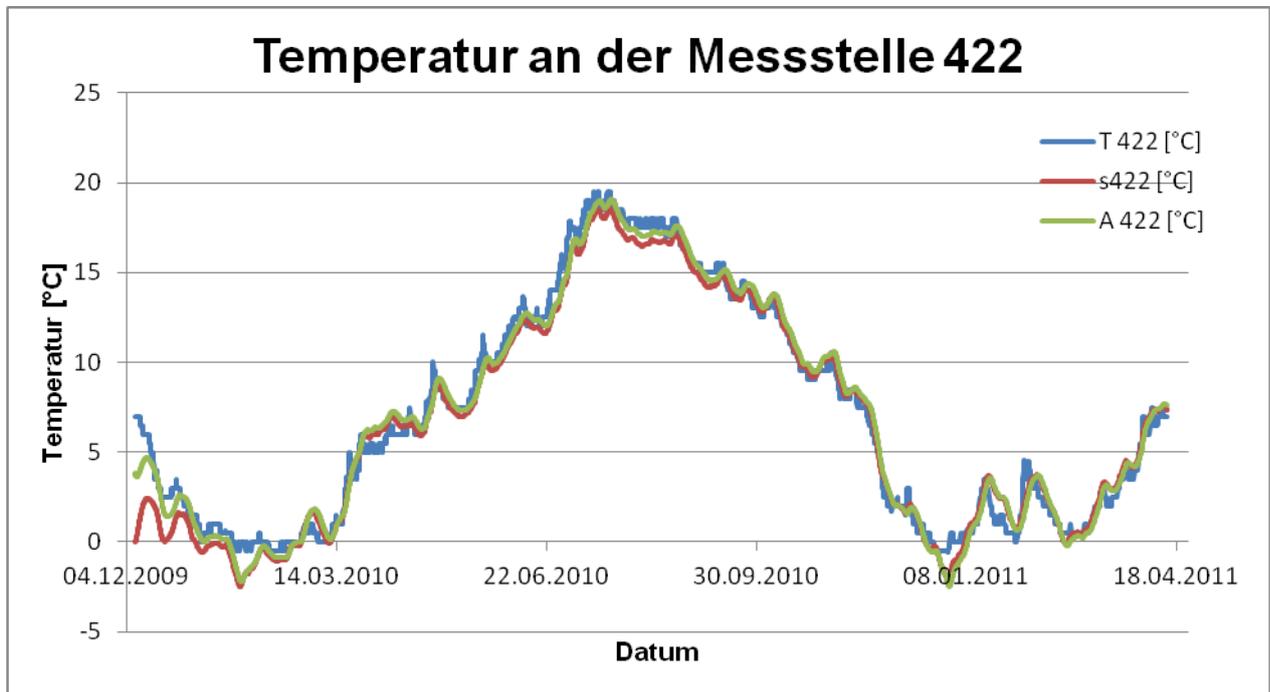
**Abbildung 79:** Messstelle 487 – Kälteperiode (Ostseite – Decke – Kanalseite – Spalt – 2 m), vgl. Abbildung 30



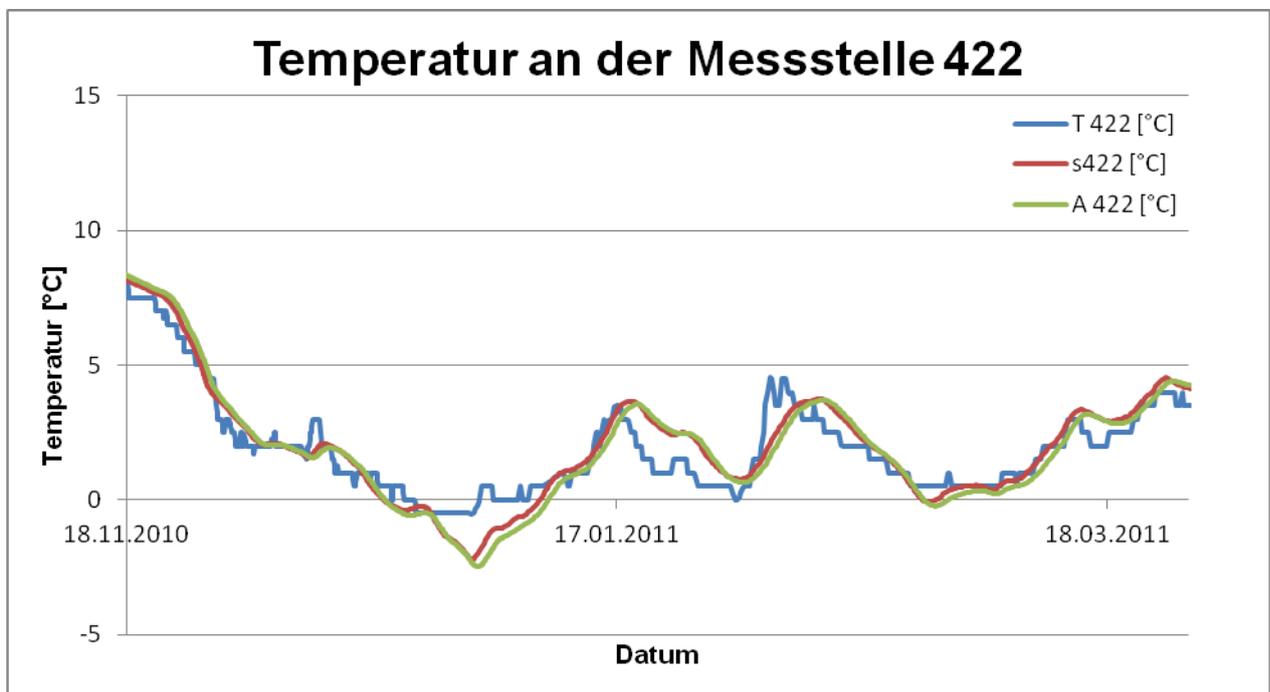
**Abbildung 80:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 421 (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt), vgl. Abbildung 31



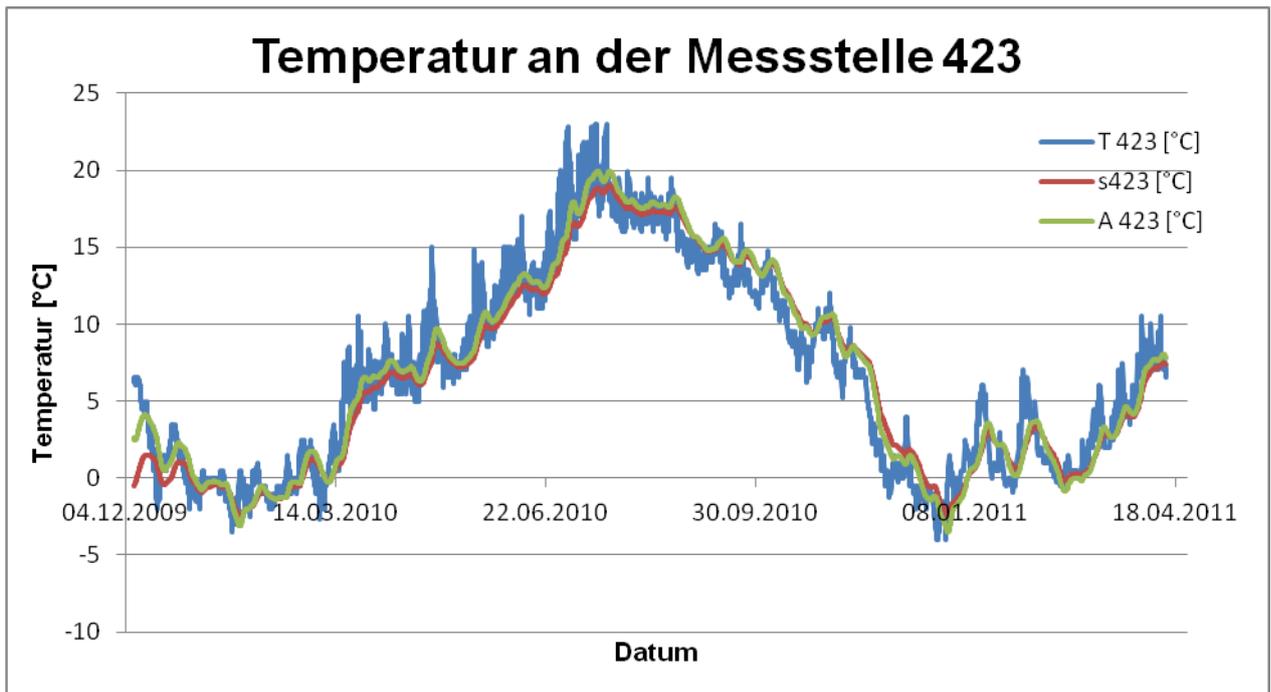
**Abbildung 81:** Messstelle 421 – Kälteperiode (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt), vgl. Abbildung 31



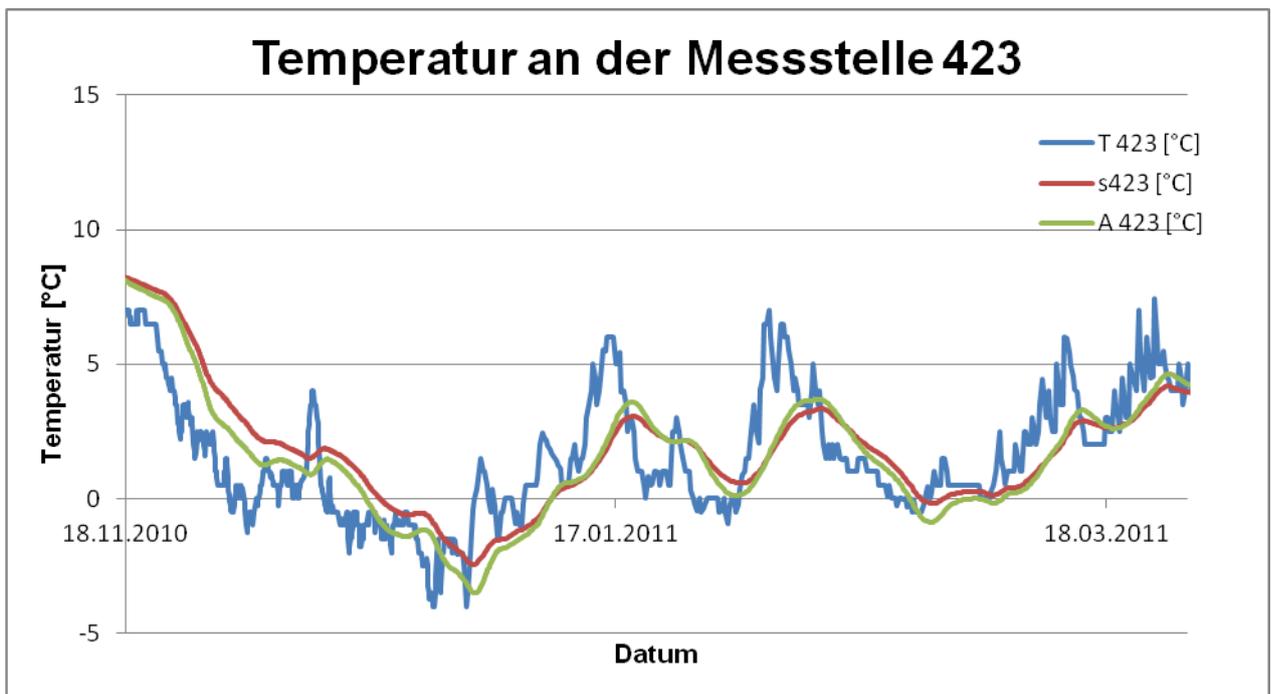
**Abbildung 82:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 422 (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt – 1 m), vgl. Abbildung 31



**Abbildung 83:** Messstelle 422 – Kälteperiode (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt – 1 m), vgl. Abbildung 31



**Abbildung 84:** Gemessene und berechnete Temperatur für die Messstelle 423 (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt – 2 m), vgl. Abbildung 31



**Abbildung 85:** Messstelle 423 - Kälteperiode (Ostseite – Decke – Fenster – Spalt – 2 m), vgl. Abbildung 31

### 13. Resümee

Die vorliegende Simulation diene der Ermittlung des Temperaturfeldes in der südlichen Gewölbekammer des Widerlagers der Hochbrücke Levensau I zum Zwecke des Artenschutzes.

Hierzu wurde ein Simulationsmodell aufgebaut und mit den vorliegenden Messwerten verifiziert. Im weiteren Verlauf des Simulationsprojektes wurde die bauphysikalische Beschaffenheit des Widerlagers, insbesondere im oberen Aufbau, geändert. Daraufhin wurde die instationäre Temperatursimulation erneut durchgeführt, um den Temperaturverlauf unter den geplanten Baumaßnahmen zu ermitteln und somit die relative Veränderung der Messwerte vergleichen zu können.

Für die Detailauswertung (Temperaturverlaufskurven) wurden die Messstellen 421 - 423 (Ostseite, Fenster Decke und Spalt, vgl. Abbildung 31) und 485 – 487 (Ostseite, Decke und Spalt, kanalseitig, vgl. Abbildung 30) für den Gesamtzeitraum sowie für eine Kälteperiode (November 2010 – März 2011) herangezogen, da sich die Winterquartiere der Fledermäuse in den vertikalen Fugen zwischen Gewölbe und Flügelmauern befinden.

Wie am Beispiel der Temperaturmesspunkte 485 - 487 (Abbildung 62 – 67) ersichtlich, entstehen durch die bauphysikalischen Veränderungen nur marginale Temperaturschwankungen im Bereich der Deckenspalten.

Etwas anders gestaltet sich die Situation an den Messstellen 421 – 423. Bei der Betrachtung des Gesamtzeitraumes, sind die Temperaturunterschiede im Mittel ebenfalls sehr geringfügig. In den Kälteperioden (Abbildung 69, 71 und 73) sind Schwankungen von etwa 1°C zu beobachten. An der Deckenoberfläche liegen die Temperaturen während eines Kältepeaks etwa 1°C unter der Temperatur zum aktuellen Baubestand (Abbildung 69). An den Messstellen 422 und 423 ist zu erkennen, dass die Temperatur tendenziell um etwa 1°C steigt im Vergleich zum jetzigen Baubestand.

Die Simulation zeigt, dass die Temperaturbedingungen in den untersuchten Bereichen, nach der Durchführung der Baumaßnahmen von den bereits gemessenen IST-Zuständen nur geringfügig um etwa 1°C abweichen. Tendenziell ist anzunehmen, dass die Temperatur, insbesondere in einer Kältephase, mit Umsetzung der bauphysikalischen Maßnahmen in den Spalten marginal ändert.

**Anmerkung:**

Die Inhalte des Resümeees beruhen auf der Beurteilung des simulativ ermittelten Temperaturfeldes sowie der Bauphysik. Eine Beurteilung hinsichtlich zukünftiger artenschutzrechtlicher Gesichtspunkte erfolgt im Rahmen einer Stellungnahme zu den Sanierungsarbeiten am Widerlager Süd im Zuge des Ersatzneubaus der Alten Levensauer Hochbrücke durch den Biologen Dr. Dietz (vgl. Unterlage 4-4-3).

## 14. Quellenverzeichnis

### Internetlinks:

[http://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d\\_1568.html](http://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html)

<http://www.klimadiagramme.de>

### Bücher:

[Matthes, 1973] - MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers, Lehrbuch der Hydrogeologie, Band 2, Verlag Gebrüder Borntraeger Berlin, Stuttgart

[Hölting, 1984] - HÖLTING, B. (1984): Hydrogeologie, Einführung in die allgemeine Hydrogeologie, Enke Verlag, Stuttgart

[Kappelmeyer, 1961] - KAPPELMEYER, O. (1961): Geothermik; Lehrbuch der angewandten Geologie, Enke Verlag, Stuttgart

### Durch den Auftraggeber (WKC, Hamburg) erhaltene Daten und Informationen:

[Langzeit-Temperaturmessreihen] - Daten erhalten am 14.03.2013

[Dokument 3D-CAD-Modell-Widerlager] – Dokument erhalten am 28.05.2013

[Dokument Baugrund] – Dokument erhalten am 28.05.2013

[CAD-Modell] – CAD-Modell erhalten am 14.05.2013

[Schnitt Grundriss der Gewölbekammer] – Abbildung erhalten am 14.05.2013

[Schnitt 1 der Gewölbekammer im Bestand] – Abbildung erhalten am 14.05.2013

[Schnitt 1 der Gewölbekammer nach Umbau] - Abbildung erhalten am 14.05.2013

[Schnitt 2 der Gewölbekammer im Bestand] - Abbildung erhalten am 14.05.2013

[Schnitt 2 der Gewölbekammer nach Umbau] - Abbildung erhalten am 14.05.2013

[Längsschnitt zur Brückenachse] – Bild erhalten am 15.10.2013

[Messwerteübersicht] – erhalten am 15.02.2013

[Gutachten GhK Kassel] - GhK Kassel, Untersuchungsbericht 2046-98 vom 29.05.1998, erhalten am 23.05.2013

[wärmeschutztechnische Rechenwerte] - Katalog für wärmeschutztechnische Rechenwerte von Baustoffen und Bauteilen, Österreichisches Normungsinstitut, Ausgabe 1. Dezember 2001 / Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7: Tabellierte wärmeschutztechnische Bemessungswerte, ÖNORM B 8110-7, Ausgabe 2012-11-15, Ergänzung durch WKC am 26.05.2014

[modifizierte Skizze] – erhalten am 31.10.2013

Bearbeitet im Auftrag des Wasser- und Schifffahrtsamtes Kiel-Holtenau:

Willich, den 21.08.2014



Dipl.-Ing. Viktor Schmidt

invenio Technical Simulations GmbH

**invenio**  
ENGINEERING SOLUTIONS

INVENIO TECHNICAL SIMULATIONS GMBH  
HALSKESTRASSE 3-5 · 47877 WILLICH  
FON +49 2154 8874-0 · FAX +49 2154 8874-25