

Komfort durch innovatives Fußboden- Heizsystem mit hoher Schalldämmung

Funktionsweise und technischer Hintergrund,
Vorteile und Nutzen

Autor:

Dr.-Ing. Klemens WESOLOWSKI
Technischer Geschäftsführer

METAWELL GmbH
Schleifmühlweg 31
86633 Neuburg a. d. Donau
Deutschland

Tel. +49 (0)8431/6715-0
info@metawell.com
<https://www.metawell.com>

INHALT

1.	Einleitung	Seite 3
2.	Vorteile einer elektrischen Fußbodenheizung in Leichtbauweise	Seite 3
3.	Anforderungen an den Aluminium-Sandwich-Fußboden	Seite 4
4.	Funktion und technische Daten des Heizsystems	Seite 6
5.	Zusatzfunktion Schalldämmung	Seite 12
6.	Referenzen	Seite 14
7.	Zusammenfassung	Seite 15
8.	Quellenverzeichnis	Seite 16

1. Einleitung

Der Komfort in modernen Schienenfahrzeugen trägt in wesentlichem Maße zur Akzeptanz des Verkehrsmittels Eisenbahn durch den Fahrgast bei. Im Folgenden wird ein innovatives Fußbodenheizsystem für elektrisch betriebene Fahrzeuge zur Personenbeförderung vorgestellt, das neben der Komfortsteigerung, wie es vor allem bei Fahrzeugen für längere und mittlere Distanzen gefordert wird, durch effiziente Integration von Komponenten und Funktion weitere Anforderungen wie Leichtbau, Schalldämmung und geringe LCC Kosten erfüllt.

2. Vorteile einer elektrischen Fußbodenheizung in Leichtbauweise

Die verschiedenen grundlegenden Anforderungen an Heizsysteme von Schienenfahrzeugen zur Personenbeförderung für Regional- und Fernzüge beeinflussen sich zum Teil gegenseitig und sind eng miteinander verzahnt:

- Hoher Komfort
- Niedrige Kosten
- Geringes Gewicht

Aus der sehr allgemeinen Anforderung „Hoher Komfort“ entsteht die Spezifikation einer behaglichen Zusatzheizung, die eine sehr gleichmäßige Wärmeverteilung ohne Zugluft mit sich bringt. Eine großflächige Heizung mit sehr gleichmäßiger Wärmeverteilung an der Oberfläche ermöglicht es, die Heizleistung pro Fläche relativ gering zu halten und erlaubt somit eine komfortsteigernde, geringe Differenz zwischen Umgebungstemperatur und Oberflächentemperatur der Heizung. Daher ist es auch unter dem Gesichtspunkt „Kosten“ naheliegend, bereits bestehende große Flächen wie Fußboden, Wand oder Decke als Oberfläche für eine Heizung zu verwenden.

Der Fußboden bietet sich ganz besonders als Hezelement an, da der Wirkungsgrad durch die natürliche Konvektion (die Wärme steigt nach oben) zusätzlich zur Strahlung von allen großen Flächen beim Boden am besten ist. Beim Fußboden kann somit auf weitere Aggregate zum Wärmetransport (Gebläse) verzichtet werden, was sich ebenfalls positiv auf Wartung und Instandhaltung (LCC-Kosten) auswirkt. Weiterer Vorteil einer Fußbodenheizung ist die beschleunigte Trocknung des Fußbodenbelags (Verringerung der Rutschgefahr) in den feuchten und kalten Jahreszeiten. Um den Wirkungsgrad der Heizung zu erhöhen, sollte das Material des Fußbodens eine sehr gute Wärmeleitung aufweisen.

In elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist elektrischer Strom am Fahrzeug als primäre Energie vorhanden. Daher ist in diesem Fall eine elektrische Heizung energetisch am effektivsten. Bei Verwendung einer ohmschen Widerstandsheizung wird 100% des Energieverlustes am Widerstand in Wärme gewandelt. Wenn diese Wärme gut an die umgebende Struktur abgeführt werden kann, wie es bei einem Fußbodenmaterial mit guter Wärmeleitung der Fall ist, erhält man ein Heizsystem mit sehr gutem Wirkungsgrad. Weiterer Vorteil einer reinen ohmschen Widerstandsheizung ist die Elektro-Magnetische-Verträglichkeit, so dass zusätzliche EMV-Schutzmaßnahmen (z. B. Installation einer Abschirmung) nicht erforderlich sind.

Die allgemeine Anforderung „Niedriges Gewicht“ ist häufig mit Kosten verbunden. Werden jedoch bereits vorhandene Strukturen als Heizfläche genutzt, wird nur wenig zusätzliches Gewicht für das eigentliche Hezelement benötigt. Auch daher bietet sich eine elektrische Fußbodenheizung ganz besonders als Zusatzheizung an. Die Anforderung der guten Wärmeleitung für das Fußbodenmaterial unter der Berücksichtigung „Niedriges Gewicht“ lässt sich ausgezeichnet mit einem Aluminium Leichtbau-Boden realisieren, der zur weiteren Gewichtsoptimierung in Sandwich-Bauweise ausgeführt wird.

Somit ergibt sich als ideale Komfort-Lösung für ein Zusatz-Heizsystem elektrisch betriebener Fahrzeuge zur Personenbeförderung ein Fußboden in Aluminium-Sandwich-Bauweise mit integrierter elektrischer Widerstandsheizung, siehe Abbildung 2.1.

Abbildung 2.1: **Vorteile der Fußboden-Widerstandsheizung in Alu-Sandwich-Bauweise**



3. Anforderungen an den Aluminium-Sandwich-Fußboden

Unabhängig von der Heizfunktion gibt es verschiedene technische Anforderungen an Fußbodenplatten, die zu beachten sind. Bei Fußbodensystemen mit Heizung ist diese zusätzlich gegen mechanische Beschädigung und gegebenenfalls andere Umwelteinflüsse zu schützen.

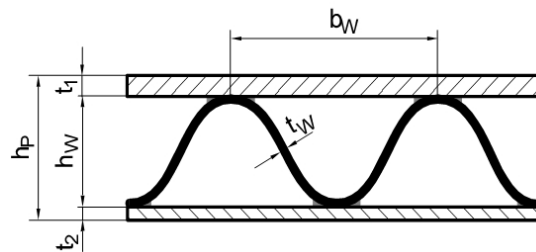
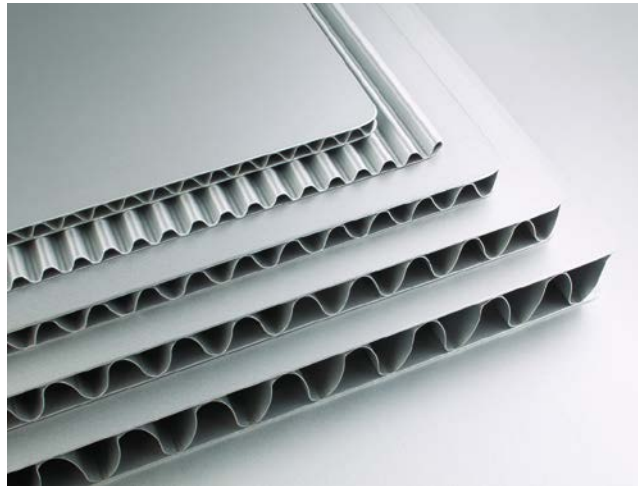
- **Statik:**
 - Biegesteifigkeit: geringe Durchbiegung bei großen Stützabständen
 - Flächenlasten: 350 bis 770 kg/m² ohne bleibende Verformung, kein Kriechen bei langen statischen Lasten
 - Punktlasten: Hohe Lasten auf sehr kleiner Fläche durch High-Heels oder Kofferrollen

Die statischen Anforderungen gelten auch unter ständiger Temperaturbelastung durch das Heizsystem. Aluminium-Sandwichplatten können die geforderte Statik bei geeigneter Verklebung und entsprechender Kernstruktur auch bei geringem Gewicht erfüllen.

- **LCC**
 - Haltbarkeit des Fußbodens: Lifetime (> 30 Jahre)
 - Korrosionsbeständigkeit: Einsatz korrosionsbeständiger Materialien
 - Dauerfestigkeit: Ständige Lastwechsel vor allem im Einstiegsbereich
 - Refurbishment: Ausreichende Festigkeit gegen Zerstörung der Bodenplatte und des Heizsystems beim Belagswechsel

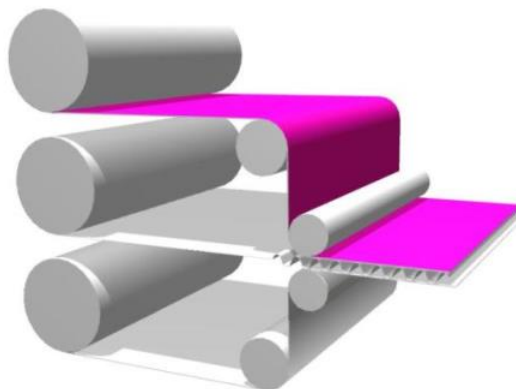
Die Metawell[®] Aluminium-Sandwichplatte eignet sich durch ihren speziellen Aufbau mit einem sinusförmigen Kernmaterial (Abbildung 3.1) ganz besonders als tragfähige Fußbodenplatte mit sehr langer Lebensdauer. Die harmonische, nahezu kerbfreie Anbindung des Kernmaterials an die Deckbleche steht für eine hohe Dauerfestigkeit.

Abbildung 3.1: Grundsätzlicher Aufbau der Metawell® Aluminium-Sandwichplatte



Die Herstellung der Metawell® Platte erfolgt in einem kontinuierlichen Produktionsverfahren (Abbildung 3.2), in dem zwei Aluminiumdeckschichten mit einem zur Sinuswelle umgeformten Kernmaterial zertifiziert nach DIN 6701-2 (Klasse A1) zu einer „Endlos-Platte“ verklebt werden, die anschließend kunden-/projektspezifisch abgelängt wird. Das kontinuierliche Verfahren und die Blechstärken erlauben den Einsatz besonders korrosionsgeschützter Aluminiumbänder, die im Coilcoating-Verfahren [1] mit einem Korrosionsschutz-Primer versehen werden, der eine dauerhafte Verklebung gewährleistet. Seewasserbeständige Aluminiumlegierungen [2] hoher Festigkeit (EN AW-5754 H48 / EN AW-5182 H48 [3]) der eingesetzten Bleche gewähren einen hohen Korrosionswiderstand auch an blanken Stellen und Schnittkanten.

Abbildung 3.2: Prinzip des kontinuierlichen Produktionsverfahrens der Metawell® Platte



4. Funktion und technische Daten des Heizsystems

Als Heizelement für die gut wärmeleitenden Aluminium-Sandwich-Fußbodenplatten eignen sich elektrische Widerstandsheizungen wegen der Elektro-Magnetischen-Verträglichkeit ganz besonders. Für Fußbodenheizungen bieten sich grundsätzlich drei Systeme von Widerstandsheizungen an, deren Vor- und Nachteile kurz dargestellt werden.

4.1 Auswahl der Heizelemente

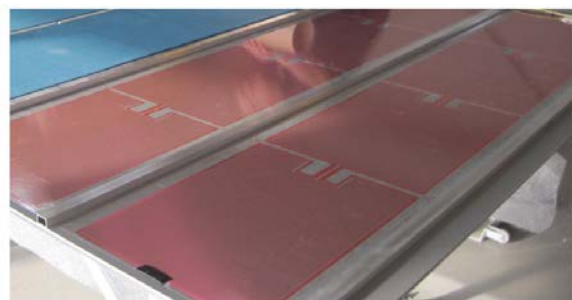
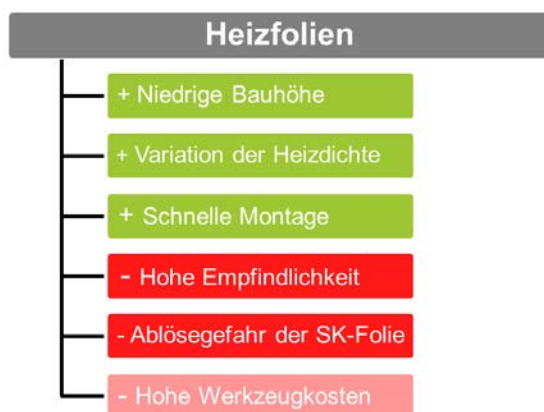
4.1.1 Heizfolien

Eine Möglichkeit, die Fußbodenplatten zu beheizen, ist die Verwendung von Heizfolien. Das Widerstandsmaterial wird in einer sehr dünnen Schicht auf ein dünnes Trägermaterial (häufig dünne Kunststoff-Folien) aufgebracht. Durch die Anordnung der Widerstandsschleifen kann die Heizdichte mit der Werkzeuggestaltung relativ frei variiert werden. Allerdings bedingt eine Varianz der Fußbodenplattengröße und Geometrie je nach Verfahren entsprechend vielen Werkzeugen und kann daher projektbezogen entsprechend hohe Werkzeugkosten verursachen.

Die Heizfolien werden häufig selbstklebend auf der Unterseite der Aluminium-Sandwichplatte angebracht. Vorteil ist eine schnelle Montage und die geringe Bauhöhe. Nachteil ist der nur geringe Schutz gegen Beschädigung und die Gefahr des Ablösens der Selbstklebe-Folie über Lifetime, insbesondere im Bereich der Anschlüsse. Zusätzlich können Auflager unterhalb der Platte, die die Wärmeabfuhr der Heizfolie lokal verändern und weiterhin zu einer Druckbelastung führen, sogenannte „Hotspots“ auslösen, die zu einer Zerstörung des Heizkreises führen können. Hotspots können auch durch lokales Ablösen der Folie von der Trägerplatte entstehen.

Alternativ können Heizfolien auch zwischen oberem Deckblech und Kernmaterial des Aluminium-Sandwichs angebracht werden. In diesem Fall werden sie als statisch tragende Komponente verwendet, die die Schubkräfte vom Deckblech auf den Kern dauerhaft übertragen muss. Im Falle eines Bodenbelagwechsels wird die Festigkeit bei dieser Bauform gegenüber Abschälen des oberen Deckblechs auch durch die innere Festigkeit der Heizfolie bestimmt.

Abbildung 4.1: Heizfolien: Vor- und Nachteile



4.1.2 Silikonheizmatten

Eine andere Variante der Applikation des Heizsystems auf der Unterseite der Fußbodenplatte ist die Applizierung eines Widerstandsheizdrahts in einer Silikonmatte. Der Widerstandsdraht wird individuell nach geforderter Leistungsdichte auf der ersten Silikonschicht verlegt und anschließend mit der zweiten Schicht vulkanisiert. Dadurch ist eine sehr hohe Flexibilität ohne die Herstellung jeweils neuer Werkzeuge gegeben. Allerdings ist die Herstellung mit dem Vulkanisierungsprozess recht aufwendig (Kosten).

Die Silikonheizmatten werden in der Regel selbstklebend auf der Unterseite der Aluminium-Sandwichplatte angebracht. Auch hier ist die schnelle Montage von Vorteil bei einer etwas größeren Materialstärke der Silikonmatte. Durch das relativ große Gewicht besteht ohne zusätzliche mechanische Fixierung bei Überkopf-Anwendung die Gefahr des Ablösens über Lifetime. Diese Gefahr kann durch zusätzliche mechanische Fixierungen (Integration von Befestigungspunkten im Vulkanisierungsprozess) gemindert werden. Das relativ hohe Eigengewicht der Heizmatte bringt mit der hohen Elastizität des Silikons als positiven Nebeneffekt eine Verbesserung der Schalldämmung mit sich. Die Gefahr des Hotspots ist bei Silikonmatten wesentlich geringer als bei Heizfolien.

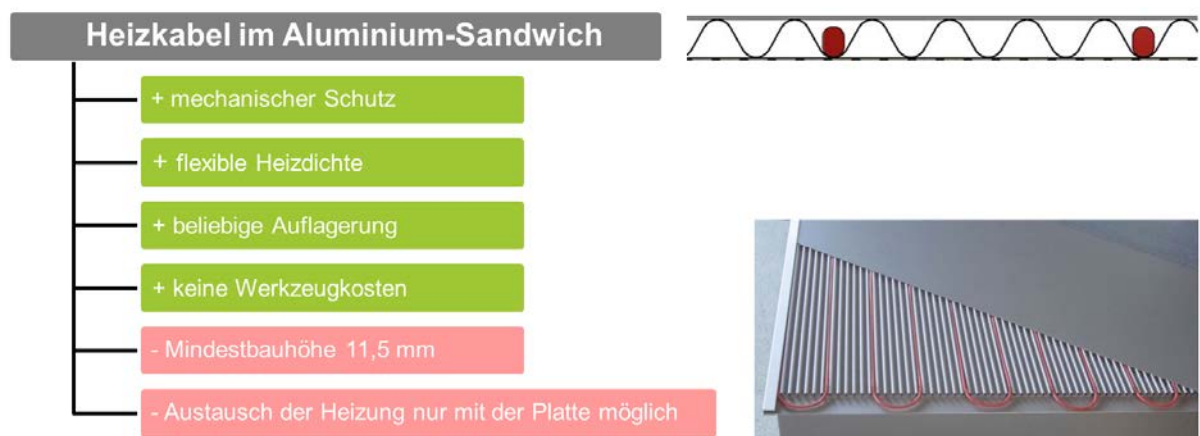
Abbildung 4.2: **Silikonheizmatten: Vor- und Nachteile**



4.1.3 Widerstandsheizkabel integriert in der Metawell® Sandwichplatte

Die Metawell® Sandwichplatte ermöglicht zusätzlich zu Heizfolien oder Silikonheizmatten die Verwendung eines Heizkabels, das durch die Wellenkanäle geführt wird. Bei entsprechendem Aufbau und geometrischer Anpassung des Kabels an den offenen Wellenquerschnitt stellt sich über die geführte Berührung zwischen Heizkabel und Wellenkanal ein sehr guter Wärmeübergang ein, der auch dauerhaft erhalten bleibt.

Abbildung 4.3: **Integriertes Heizkabel: Vor- und Nachteile**



Entscheidende Vorteile dieser Bauform sind der perfekte Schutz des Heizkabels durch die umgebenden Deckbleche sowie eine hohe Flexibilität in der Leistungsdichte durch Variation des belegten Wellenkanalabstands. Werkzeugkosten sind nicht erforderlich. Die Auflagerung der Sandwichplatte auf der Unterkonstruktion kann völlig unabhängig von der Position der Heizung erfolgen, da das eigentliche Heizelement durch das untere Deckblech geschützt wird. Ebenso ist die Gefahr des Ablösens des Heizelements durch Schwerkraft von der Fußbodenplatte nicht gegeben, da das Heizkabel durch den Wellenkanal mechanisch fixiert ist.

Der Heizdraht selbst ist durch eine elastische Schutzschicht und durch ein zusätzliches Edelstahlgeflecht, das gleichzeitig zur Erdung verwendet werden kann, gegen eventuelle scharfe Aluminiumkanten geschützt. Dadurch ergibt sich ein Mindestdurchmesser des Heizkabels, der wiederum eine Mindestbauhöhe der Sandwichplatte von 11,5 mm bedingt. Dies könnte bei sehr engen Bauraumverhältnissen eventuell ein Nachteil sein.

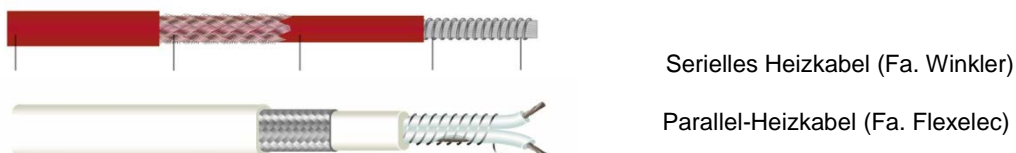
Ein weiterer Nachteil könnte sein, dass bei einem Ausfall des Heizwiderstands die gesamte Fußbodenplatte getauscht werden muss. Da der Ein- und Ausbau einer Fußbodenplatte inklusive Demontage partieller Inneneinrichtungskomponenten und der Wechsel des Bodenbelags auch bei Ausfall einer Heizfolie oder Silikonheizmatte erforderlich wird, relativiert sich dieser Nachteil bei Betrachtung der Kostenanteile Material zu Montage- und Stillstandzeit sehr schnell, zumal die Ausfallwahrscheinlichkeit des mechanisch gut geschützten Heizkabels geringer als die einer Heizfolie ist.

Nach interner Bewertung aller Vor- und Nachteile, von Investitionskosten, LCC und RAMS (Ausfallrisiko) setzt Metawell auf die Lösung mit einem in der Sandwichplatte integrierten Heizkabel. Falls der Bauraum die Integration eines Heizkabels nicht zulässt, werden andere Heizsysteme unter der Sandwichplatte fixiert.

Aufbau des Heizkabels

Der grundsätzliche Aufbau der Heizkabel zur Integration in der Metawell® Platte besteht aus einem Widerstandsheizdraht, der spiralförmig um ein zugfestes Trägermaterial gewickelt wird. Durch diese Wickelform wird eine axiale Zugbeanspruchung des eigentlichen Heizelements grundsätzlich ausgeschlossen. Um den Heizdraht herum kommt eine Isolationsschicht (Silikon, aus Brandschutzgründen) und darüber eine metallische Abschirmung (Edelstahl, zur Vermeidung von Korrosion). Diese metallische Abschirmung schützt zum einen den Heizleiter gegen mechanische Beschädigung, zum anderen kann sie direkt zur Erdung unmittelbar am Heizelement verwendet werden. Bei Silikonmatten oder Heizfolien würde im Schadensfall die Erdung nur über die Fußbodenplatte erfolgen können, beim integrierten Heizkabel gibt es damit eine zusätzliche Sicherheitsstufe. Um die Abschirmung herum ist in der Regel noch eine weitere Silikonschutzschicht.

Abbildung 4.4: **Aufbau der Widerstandsheizkabel mit spiralförmiger Wicklung**



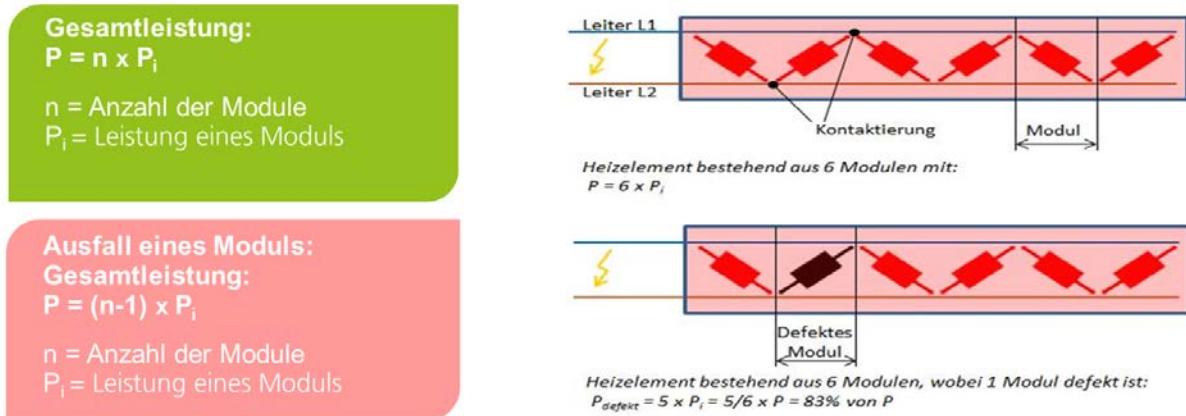
Der Vorteil des Seriellen Heizkabels liegt im kleineren Außendurchmesser, das somit eine insgesamt niedrigere Bauhöhe der Fußbodenheizung zulässt. Die Mindestbauhöhe der beheizten Fußbodenplatte beträgt beim Seriellen Heizkabel 11,5 mm. Nachteilig ist die geringere Flexibilität von Heizleistung und Länge, da für jede elektrische Gesamtleistung des Heizkabels ein eigenes Kabel hergestellt werden muss.

Die hohe Flexibilität ist ein entscheidender Vorteil beim Parallel-Heizkabel. Der zugfeste Träger besteht hier aus zwei stärkeren Litzen, an die der Heizdraht in regelmäßigen Abständen angeschlossen wird. So entstehen parallelgeschaltete, identische Widerstände. Der Abschnitt zwischen zwei Kontaktstellen wird als „Modul“ bezeichnet. Die elektrische Gesamtleistung des Heizkabels entspricht der Summe der Modul-Einzelleistungen. Das Heizkabel kann von der Rollenware in der geforderten Gesamtleistung (mit einer Varianz von maximal +/- der halben Modulleistung) abgelängt werden. Nachteilig ist der größere Kabelquerschnitt, der eine Mindestbauhöhe von 15 mm für die Fußbodenplatte erfordert.

Ein weiterer Vorteil des Parallel-Heizkabels ist die eingebaute Redundanz für den Widerstandsdraht, siehe Abbildung 4.5. Sollte einmal ein Widerstandsdraht durchbrennen oder brechen, sind die benachbarten Parallelwiderstände davon nicht beeinflusst. Die Gesamtleistung des Heizkabels

reduziert sich lediglich um die Leistung eines Moduls. Aufgrund der guten Wärmeleitung der Aluminium-Sandwichplatte würde der Ausfall eines Moduls praktisch kaum Einfluss auf den Komfort haben.

Abbildung 4.5: Redundanz für den Heizwiderstand im Parallel-Heizkabel

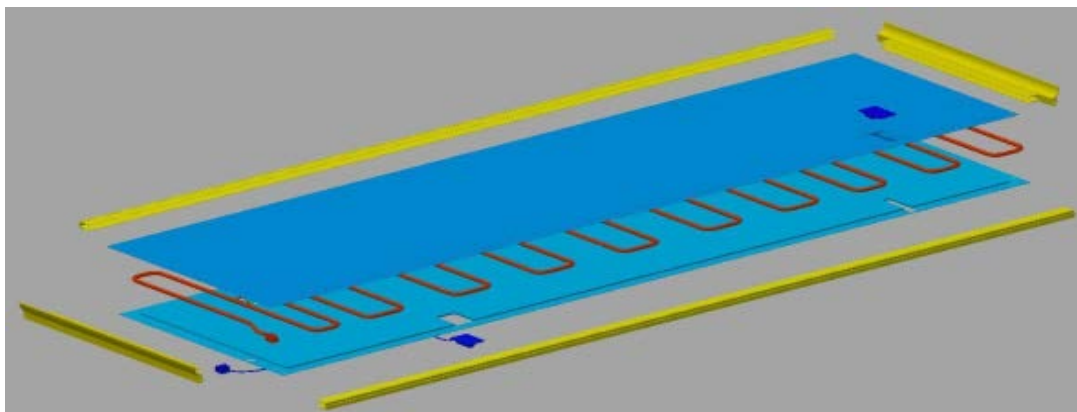


4.2 Systemlösung der beheizten Fußbodenplatte von Metawell

4.2.1 Aufbau und technische Parameter

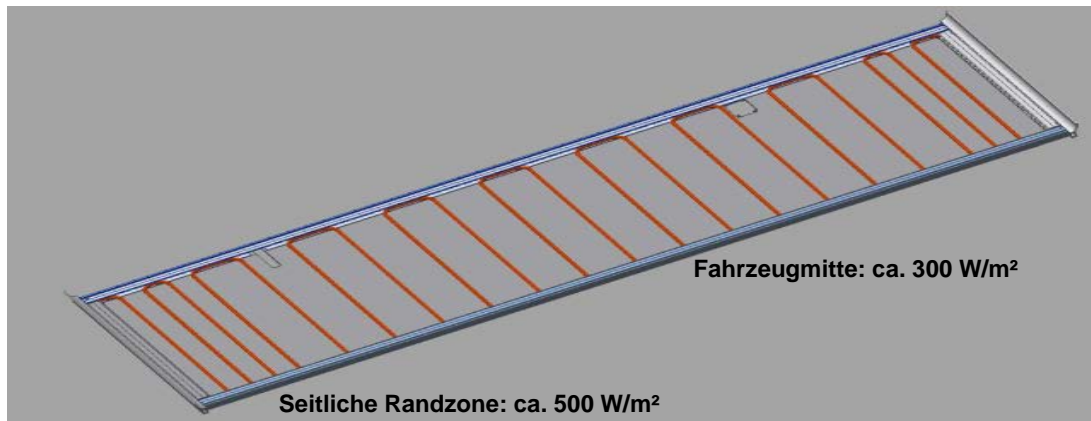
Der grundsätzliche Aufbau einer beheizten Metawell® Aluminium-Sandwich-Fußbodenplatte unterscheidet sich praktisch kaum von einer unbeheizten Platte. Damit ergibt sich die Möglichkeit, die **Heizung als Option** anzubieten oder nur bestimmte Bereiche zu beheizen, bei sonst einheitlicher Bauweise. Die Fußbodenplatte wird in der Regel allseitig von Profilen eingefasst, wobei die Profile als seitlicher Randabschluss zur Seitenwand oder zur Verbindung mit der Nachbarplatte benutzt werden können (entsprechende Profilquerschnitte sind vorhanden oder können projektbezogen hergestellt werden). Soll die Platte beheizt werden, wird im Herstellungsprozess vor dem Verkleben der Profile das Heizkabel in die Wellenkanäle eingezogen (Abbildung 4.6 und 4.7.).

Abbildung 4.6: Funktionsprinzip der beheizten Metawell® Fußbodenplatte



Betriebsspannung: 100 bis 400 Volt AC oder DC
Heizleistung: 150 bis 600 W/m²

Abbildung 4.7: Lokale Anpassung der Heizleistungsdichte



Die Länge des Heizkabels wird durch die geforderte Gesamtleistung vorgegeben und wird in der Regel durch die maximal zulässige Stromaufnahme der Steckverbindung, der Zuleitung oder der Regelungseinheit begrenzt sowie durch Leitungsverluste in den Litzen des Heizkabels.

Bei einem maximal zulässigen Strom von z. B. 8 Ampere beträgt die Leistung bei 230 Volt maximal 1840 Watt. Die üblichen Heizleistungen einer Fußbodenheizung liegen um die 350 Watt pro Quadratmeter, somit ergibt sich unter den genannten Bedingungen eine maximale Plattengröße von ca. 5 Quadratmetern bei einem Kabelanschluss. Größere Plattenabmessungen lassen sich durch weitere Kabelanschlüsse realisieren. Neben der elektro-technischen Begrenzung der maximalen Plattenabmessung spielen andere Parameter – wie maximales Plattengewicht (Arbeitsschutz) oder das Handling beim Einbau (die Platte muss ja auch ins Fahrzeug!) – eine entscheidende Rolle. Die größten Fußbodenplatten, die Metawell bisher in einem Stück realisiert hat, sind über 40 m² groß, die kleinsten unter 1 m².

Der Temperaturunterschied zwischen Umgebungsluft und Fußbodenoberfläche hängt neben der Flächenleistung (W/m²) unter anderem vom Fußbodenbelag, der Isolation unter der Platte und der Wärmeableitung an andere Baugruppen ab. Als grobe Richtlinie kann bei einem Glattbelag eine Temperaturdifferenz von etwa 30 K bei 350 W/m² angesetzt werden.

4.2.2 Temperaturerfassung und Regelung

Die Temperaturerfassung kann durch Sensoren erfolgen, die als NTC oder PTC Widerstandsthermometer ausgeführt werden. Je nach Position des Sensors – nahe an der Oberfläche oder auf der Unterseite der Platte (oberhalb der Isolation) wird der Sensor eine mehr oder weniger große Differenz zur Oberfläche des Bodenbelags anzeigen. Das Temperatursignal des Sensors kann zur Regelung der Fußbodenheizung herangezogen werden, wenn diese Differenz entsprechend berücksichtigt wird.

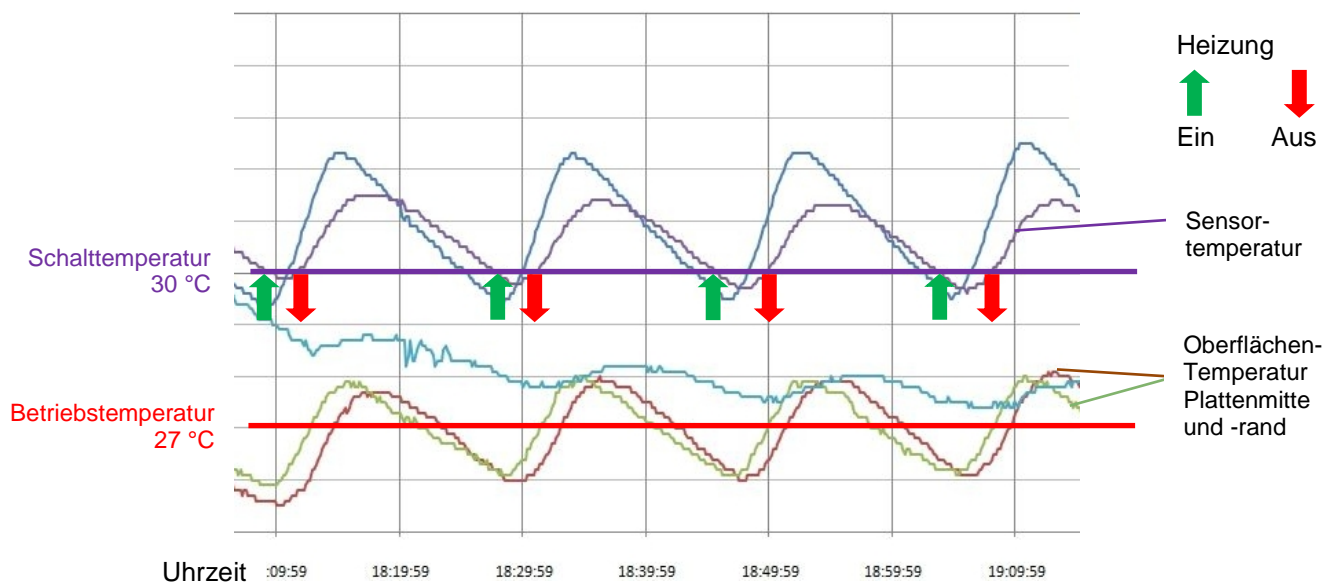
Die maximale Oberflächentemperatur der Fußbodenheizung liegt im Wohlfühlbereich allgemein zwischen 27 und 32 °C (Wohlfühlbereich = Betriebstemperatur). Eine mögliche Regelungsart wäre, die Heizung bei Erreichen der Betriebstemperatur auszuschalten und nach 1 Minute erneut einzuschalten (volle Leistung ein – aus – volle Leistung ein – aus)

Aufgrund der spezifischen Wärmekapazität / Trägheit kommt es immer zu einem Überschwingen der Temperatur, so dass die Temperatur an der Oberfläche nach dem Ausschalten weiter ansteigt und nach 1 Minute möglicherweise noch über der Betriebstemperatur liegt. Für die Regelung sollte daher eine Schalttemperatur (Messung kommt vom Sensor) verwendet werden, die wegen des Überschwingens so gewählt wird, dass die maximale Betriebstemperatur unter Berücksichtigung der Trägheit nur unwesentlich überschritten wird. Wird diese Schalttemperatur in der Aufheizphase erreicht, so wird die Heizung abgeschaltet. In festen Zeitintervallen (z.B. im Minutentakt) wird mit der Sensortemperatur überprüft, ob die Schalttemperatur unterschritten ist. Bei Unterschreitung wird die

Heizung wieder eingeschaltet, bis die Schalttemperatur erneut erreicht wird. Dann startet die Hysterese von vorne.

Die Beispielmessung in Abbildung 4.8 zeigt eine solche Schalthysterese am Beispiel einer Betriebstemperatur von 27 °C an der Oberfläche. Die Sensortemperatur wird als Messsignal zum Ein- und Ausschalten der Heizung verwendet. Die Schalttemperatur wurde am Sensor mit 30 °C ermittelt. Unterschreitet die Sensortemperatur die 30 °C, wird die Heizung eingeschaltet bis der Sensor erneut 30 °C meldet. Dann wird die Heizung wieder abgeschaltet. Obwohl in dieser Messreihe die Heizung aufgrund der Trägheit jeweils über 15 Minuten ausgeschaltet blieb, schwankt die Oberflächentemperatur an den beiden Messstellen nur um 27 °C +/- 1 K.

Abbildung 4.8: **Beispielmessung mit Schalthysterese**



Selbstverständlich kann neben der einfachen Ein – Aus – Regelung auch eine andere Regelungsart gewählt werden.

4.2.3 Sicherheitsschaltung

Zusätzlich zur Regelung wird meist kundenspezifisch ein Sicherheitssystem gefordert, das sicherstellt, dass bei Ausfall der Regelung eine maximal zulässige Oberflächentemperatur nicht überschritten wird. Dies wird häufig über Bi-Metall-Schalter (Limiter) gelöst. Hierbei sollte zwischen Bi-Metall-Schaltern unterschieden werden, die im Heizkreis sitzen und denen, die in einem Steuerkreis integriert sind.

Bi-Metall-Schalter im Heizkreis

Wird der Bi-Metall-Schalter in den Heizkreis eingebaut, muss zur Sicherheitsüberwachung jeder Heizkreis mit einem Bi-Metall-Schalter versehen werden. Durch den Bi-Metall-Schalter fließt derselbe hohe Strom wie durch den Heizkreis. Auf ein zusätzliches Schaltschütz im Schaltschrank kann verzichtet werden. Aufgrund der Verfügbarkeit und Haltbarkeit kann daher der Bi-Metall-Schalter die Leistungs-begrenzende Komponente sein und die maximale Leistung des Gesamtsystems muss eventuell gegenüber den unter 4.2.1 genannten Parametern weiter reduziert werden.

Bei Wechselspannung kommt es durch den periodischen Nulldurchgang der Spannung im Schaltfall des Bi-Metall-Schalters zur schnellen Unterbrechung eines möglichen Lichtbogens. Bei Gleichspannung könnte der Lichtbogen womöglich nicht unterbrochen werden und würde dann den

Schaltkontakt zerstören. Bi-Metall-Schalter für Gleichspannung (DC) sind daher nur im Niederspannungsbereich erhältlich. Somit ist die Anwendung von Bi-Metall-Schaltern im Heizkreis bei DC-Heizsystemen mit hoher Leistung nicht möglich.

Bi-Metall-Schalter im Steuerkreis

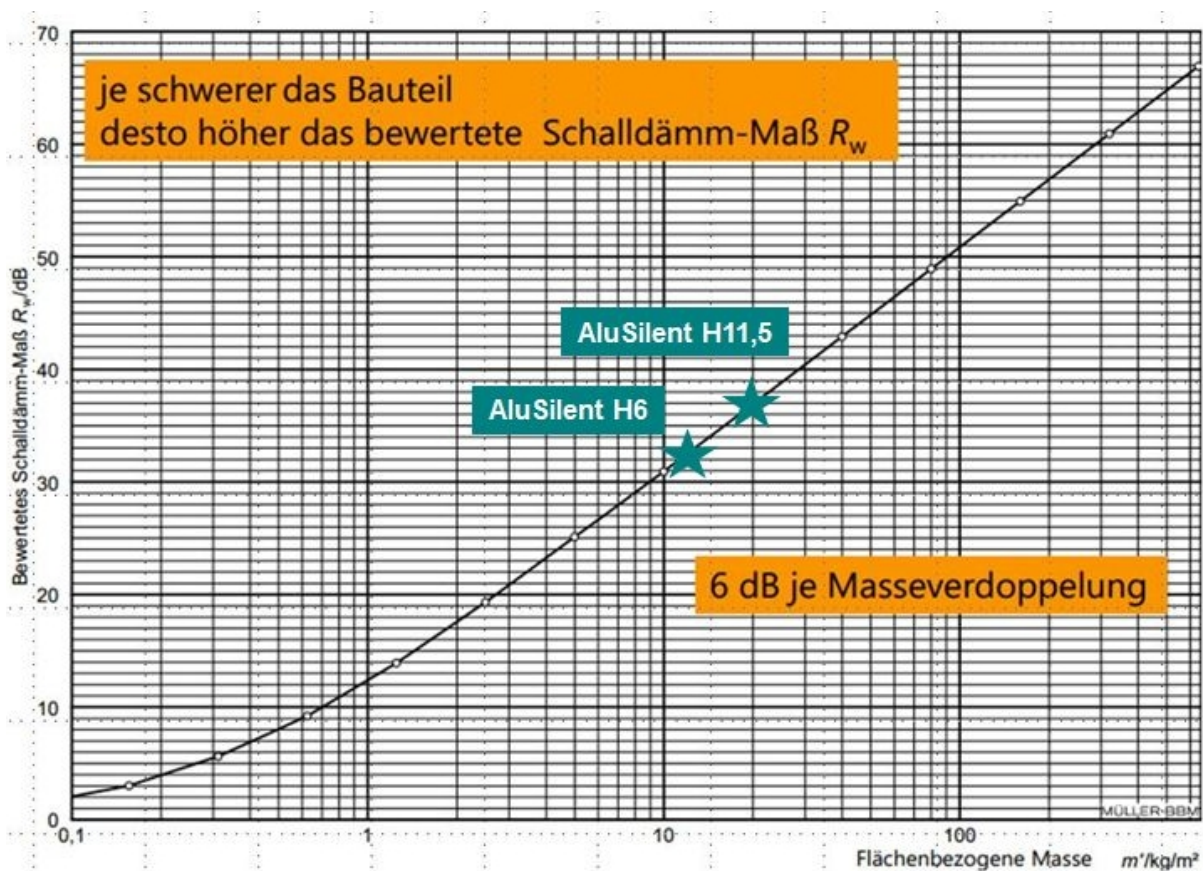
Bei Verwendung eines Bi-Metall-Schalters im Steuerkreis wird ein zusätzliches Schaltschutz benötigt. Die Vorteile liegen vor allem in der Unabhängigkeit des Bi-Metall-Schalters von den Strömen und Spannungen des Heizkreises (also geeignet für AC und DC Heizsysteme) und dass mit einem Bi-Metall-Schalter mehrere Heizplatten gemeinsam überwacht werden können, wenn sie gemeinsam versorgt werden. Wird bei gemeinsamer Versorgung aufgrund einer fehlerhaften Regelung eine Platte ohne Bi-Metall-Schalter zu warm, werden die anderen, gemeinsam versorgten Platten ebenfalls zu warm, der Schalter einer anderen Platte spricht an und das Schaltschutz unterbricht den Stromkreis.

Da die Steuerspannung in der Regel im Niedrigvolt-Bereich liegt (z. B. 24 Volt), sind auch die Kosten für solch einen Bi-Metall-Schalter geringer als für einen im Heizkreis liegenden mit hoher Spannung (IP-Schutzart).

5. Zusatzfunktion Schalldämmung

Die Kundenanforderungen „Schalldämmung“ und „Leichtbau“ lassen sich aufgrund der Physik leider nicht so ganz einfach vereinbaren. Zur Schalldämmung ist vor allem Masse erforderlich. Abbildung 5.1 zeigt den Idealfall des reinen Massegesetzes. Demnach kann bei einem Gewicht von 10 kg/m² bestenfalls ein bewertetes Schalldämmmaß [4] von $R_w = 31$ dB erreicht werden.

Abbildung 5.1: Reines Massegesetz der Physik



Quelle [5]: Müller-BBM GmbH Robert-Kochstr. 11 82152 Planegg bei München

Um an die theoretisch bestmöglichen Werte für das bewertete Schalldämmmaß heran zu kommen, sollte es dem Idealfall einer schweren Membran entsprechen: Schwer – und keine Steifigkeit!

Eine Fußbodenplatte sollte jedoch möglichst eine hohe Steifigkeit aufweisen, damit die Durchbiegung bei hohen Stützabständen und hoher Flächenlast möglichst gering ist. Daher kann die Schalldämmung einer steifen Fußbodenplatte selbst mit viel Masse eigentlich nicht ohne besondere Maßnahmen an das theoretisch mögliche bewertete Schalldämmmaß heran kommen. Beispielhaft werden zwei Massiv-Aluminiumplatten genannt, deren ermitteltes, bewertetes Schalldämmmaß R_w mit dem reinen Massegesetz (Abbildung 5.1) verglichen wird:

Alu-Platte	Gewicht	Schalldämmmaß Massegesetz	ermitteltes Schalldämmmaß [6]
6 mm	16,2 kg/m ²	$R_w = 35$ dB	$R_w = 31$ dB
8 mm	21,6 kg/m ²	$R_w = 37$ dB	$R_w = 31$ dB

Beide Platten liegen mit den ermittelten Werten weit unter denen des reinen Massegesetzes. Obwohl die 8 mm Platte deutlich schwerer als die 6 mm Platte ist, macht sich die zusätzliche Masse wegen der erheblichen Steifigkeitszunahme nicht bemerkbar (die Biegesteifigkeit geht mit der 3. Potenz der Höhe ein: $8^3 / 6^3 >$ Faktor 3000)!

Masse bedeutet in der Regel aber auch eine höhere Wärmekapazität und damit eine größere Trägheit beim Heizen oder Kühlen.

Um dennoch eine bestmögliche Schalldämmung für steife Fußbodenplatten zu bekommen, hat die Fa. Metawell ihre leichten Aluminium-Sandwichplatten mit einem schweren Material ohne Eigensteifigkeit kombiniert. In einem besonderen Verfahren wird ein spezieller Bruchsand in die Wellenkanäle der Metawell® Platten verfüllt und verdichtet. Anschließend werden die offenen Kanten mit einer Dichtmasse verschlossen.

Abbildung 5.2: **Aufbau der Schalldämm-Platte „Metawell® Alu-Silent“**



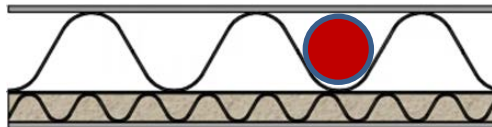
Durch diese geschickte Material-Kombination ergibt sich eine steife Sandwichplatte, die in ihren Schalldämmeigenschaften auf der Linienkurve des reinen Massegesetzes liegt. Mehr Schalldämmung ist bei diesem Flächengewicht physikalisch nicht möglich.

In Abbildung 5.1 sind exemplarisch zwei sandgefüllte Plattentypen ins Diagramm eingetragen worden: Metawell® Alu-Silent H6 und Metawell® Alu-Silent H11.5 (Sandwichplatten der Gesamtstärke 6 mm bzw. 11,5 mm).

Ein weiterer Vorteil der Metawell® Alu-Silent Platten ist, dass sie optional mit Schalldämmung ausgerüstet werden kann. So kann es für bestimmte Anwendungen sinnvoll sein, die gleiche Fußbodenplatte beispielsweise über dem Drehgestellbereich mit Sand zur Schalldämmung zu befüllen und im Einstiegsbereich zu beheizen. Eine Befüllung mit Sand und Bestückung mit Heizkabel im selben Plattenabschnitt ist allerdings nicht möglich.

Werden in Bereichen sowohl Heizung als auch Schalldämmung benötigt, gibt es die Möglichkeit, eine Heizplatte mit einer Sandplatte zu kombinieren.

Abbildung 5.3: **Kombination einer Metawell® Heizplatte mit Metawell® Alu-Silent**



Heizplatte, Metawell® Platte mit Heizkabel

Sandplatte, Metawell® Alu-Silent

In einem konkreten Projekt wurde für den Heizboden ein bewertetes Schalldämmmaß von $R_w = 36$ dB gefordert. Nach dem reinen Massegesetz ist dazu ein Mindestgewicht von 18 kg/m^2 erforderlich. Mit der Kombination aus Heizplatte und Metawell® Alu-Silent konnte die Anforderung mit einer Gesamtstärke von 22 mm und einem Flächengewicht von 20 kg/m^2 erfüllt werden. Um die Unterkonstruktion und das Gesamtkonzept für das komplette Fahrzeug verwenden zu können, wurden aus Gewichtsgründen nur die Fußbodenplatten mit Sand befüllt, die in Bereichen mit hoher Schallanforderung liegen (ca. 2/3 des Bodens).

6. Referenzen

Bevor das beheizte Fußbodensystem von Metawell im Markt vorgestellt wurde (Innotrans 2010), wurden umfangreiche Untersuchungen (wie Brandprüfungen, Vibrationstest, Klimakammertests, Überlasttest, etc.) erfolgreich abgeschlossen.

Die erste Serienanwendung wurde 2011 mit der Beheizung des Führerstandbodens der Bombardier Traxx Lokomotiven eingeführt. Zum Einsatz kommt ein Serielles Heizkabel mit Sicherheitsschaltung im Heizkreis. Mittlerweile werden alle Lokomotiven der Traxx-Familie damit ausgerüstet.

Im Regionalverkehr werden seit 2012 die Triebzüge „Regio Panter“ von Škoda Transportation im Einstiegsbereich mit integriertem Seriellem Heizkabel in der Metawell® Platte ausgestattet. Gerade der Fußboden im Einstiegsbereich erfährt besonders häufig Lastwechsel und erhebliche Korrosionsbelastung durch aggressive Medien.

Erstes großes Projekt im hochklassigen Fernverkehr ist die Ausstattung des kompletten Fußbodens des EC 250 Giruno mit einem Heizboden, größtenteils mit zusätzlicher Schalldämmung.

Abbildung 6.1: **EC 250 Giruno, Stadler Rail AG [7]**



Etwa 2/3 aller Heizplatten im Fahrgastbereich sowie alle Heizplatten im Führerstand sind zur Verbesserung der Schalldämmung zusätzlich sandgefüllt. Das Heizkabel im Fahrgastbereich und im Führerstand ist als Parallel-Heizkabel ausgeführt. Die Sicherheitsschaltung erfolgt über Bi-Metall-Schaltblöcke mit 2 Sicherheitsstufen (45 und 60 °C), die in einem Niederspannungs-Steuerkreis geschaltet sind. So können mit einem Bi-Metall-Schaltblock mehrere Heizplatten überwacht werden.

Abbildung 6.2: EC 250 Giruno, Stadler Rail AG, Fahrgastbereich und Parallelheizkabel



Im Einstiegsbereich werden aus Bauraumgründen die Rampen aus Massivblech mit Silikonmattenheizung ausgerüstet. Die Fußbodenplatten zwischen den Einstiegsrampen werden als Metawell® Platte mit integrierten Seriellen Heizkabeln ausgestattet. Insgesamt werden in jedem EC 250 Giruno über 2,5 km Heizkabel in Metawell® Platten verbaut.

7. Zusammenfassung

Eine elektrische Zusatzheizung, ausgeführt als beheizte Fußbodenplatte in Aluminium-Sandwich-Bauweise bietet erhebliche Vorteile in Bezug auf Komfort, Kosten und Gewicht in modernen Regional- und Fernzügen. Durch Integration eines Widerstandheizkabels in den Wellenkanälen der Metawell® Fußbodenplatte können weitere Systemvorteile in Kombination mit einer hohen Schalldämmung generiert werden. Die Funktionsweise der Systeme wird erläutert und mit technischen Daten hinterlegt.

Summary

An additional electric heating, designed as a heated aluminium sandwich floor panel, offers considerable advantages in terms of comfort, cost and weight in modern regional and long distance trains. By integrating a resistance heating cable in the corrugated ducts of the Metawell® floor panel, further system advantages can be generated in combination with a high sound insulation. The functioning of the systems is explained and stored with technical data.

8. QUELLENVERZEICHNIS

- [1] www.ecca.de, European Coil Coating Association Deutschland e.V. (Zugriff am 04.07.2017)
- [2] HESSE, Werner: Aluminium-Schlüssel, Key to Aluminium Alloys, (2011, 6. Auflage)
- [3] DIN EN 1396:2015 Aluminium und Aluminiumlegierungen – Bandbeschichtete Bleche und Bänder für allgemeine Anwendungen – Spezifikationen
- [4] DIN EN ISO 717-1: Akustik - Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen - Teil 1: Luftschalldämmung. 2006-11
- [5] Müller-BBM GmbH Robert-Kochstr. 11 82152 Planegg bei München
- [6] DIN EN 12354-1: Bauakustik. Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen. 2000-12, Anhang B
- [7] Stadler Bussnang AG, Ernst-Stadler-Strasse 4, CH-9565 Bussnang