

Schienenschweißen in Perfektion

Bedeutung und Besonderheiten des Thermit-Schweißens zur Herstellung lückenloser Gleise

DANIEL LIEBENTHAL

Das Thermit¹-Schweißen ist und bleibt das flexibelste, verfügbarste, zuverlässigste sowie wirtschaftlichste Schweißverfahren, um weltweit lückenlose Schienenverbindungen zu schaffen. Getrieben von gestiegenen Anforderungen, aber auch Möglichkeiten, wird das Verfahren optimiert und modernisiert. Die vor 125 Jahren entdeckte und patentierte Thermit-Reaktion bleibt dabei Grundlage. Weltweit voranschreitende Eisenbahnprojekte, die unsere Zukunft prägen werden, kommen nicht ohne Thermit-Schweißungen und Innovationen rund um Thermit aus. Thermit-Schweißen ist so aktuell wie die Schiene und hält den Anforderungen im Fahrbetrieb auch in Zukunft stand.

Die Thermit-Reaktion

Vor 125 Jahren, im Jahre 1895, wurde Herrn Professor Hans Goldschmidt das „Kaiserliche Patent Nummer 96317“ erteilt. Die darin beschriebene aluminothermische Reaktion, um reine Metalle aus deren Oxiden zu erzeugen, ist die Basis der Thermit-Reaktion. Was heutzutage täglich in Eisenbahnnetzen angewendet wird, um Schienen lückenlos zu verbinden, ist die aluminothermische Reaktion des Eisens (Abb. 1), z. B.:

¹Thermit ist eine eingetragene Marke der Elektro-Thermit GmbH & Co. KG – A Goldschmidt Company.



Abb. 1: Thermit-Prozess

Quelle: Elektro-Thermit GmbH & Co. KG



Dabei wird Eisenoxid durch Aluminium exotherm zu reinem Eisen reduziert und durch die dabei freigesetzte Wärme verflüssigt. Das entstehende Eisen wird sogar so überhitzt, dass es in der Lage ist, weiteres Metall (Legierungselemente, Schienenenden) aufzuschmelzen. Auf diese Weise kann man in kleinem Maßstab mit überschaubaren Mitteln flüssigen Thermit-Stahl erzeugen und im Zwischengussverfahren zwei Schienenenden miteinander verbinden (Abb. 2).

Geschichte

Die Erteilung des Patents auf die aluminothermische Reaktion im Jahr 1895 geschah zeitgleich mit zum Beispiel der Erfindung der Sicherheitsrasierklinge durch King Camp Gillette und des Benzinomnibus durch Carl Benz oder auch der Entdeckung der Röntgenstrahlen durch Wilhelm Conrad Röntgen. Schienen, genauer Straßenbahnschienen, wurden erstmals 1899 in Essen mit Thermit verschweißt (Abb. 3). Nach diesen ersten Erfolgen wurde Thermit-Schweißen bald auch an anderen Orten angewendet. Es kam zur Gründung von Goldschmidt-Gesellschaften in anderen Ländern, auch auf anderen Kontinenten, sodass

bereits in den 1920er Jahren ein weltweites Vertriebs- und Fertigungsnetzwerk bestand. Als hervorzuhebendes Beispiel wurde 1919 die Elektro-Thermit GmbH, der inzwischen weltgrößte und modernste Thermit-Produzent mit nun 100 Jahren Geschichte, in Berlin gegründet. Im Jahre 1928 führte die Deutsche Reichsbahn das Thermit-Schweißen als Regelschweißverfahren ein. In der Zeit bis nach dem 2. Weltkrieg folgten fast alle weiteren Eisenbahngesellschaften der Welt.

Heute umfasst die Goldschmidt-Gruppe 24 Einzelunternehmen. Dank der engen Vernetzung der Gesellschaften und weltweiten Partner bedient die Goldschmidt-Gruppe damit erfolgreich den internationalen Wachstumsmarkt der schienengebundenen Verkehrsinfrastruktur.

Ausführen einer Thermit-Schweißung

Thermit-Schweißen ist auch heute noch das Standardschweißverfahren, mit dem lückenlose Gleise hergestellt werden. Neben der hohen Zuverlässigkeit sind es die wenigen dafür notwendigen Ausrüstungsbestandteile des Verfahrens, die es so wirtschaftlich und vor allem so flexibel einsetzbar machen.

i

Thermit-Schweißung

1. Lücke herstellen

Die für das Zwischengussverfahren notwendige Lücke (ca. 25 mm) zwischen den beiden zu verschweißenden Schienenenden wird eingestellt. Dabei wird auf den Spannungszustand des ggf. herzustellenden lückenlosen Gleises geachtet und dieser berücksichtigt.

2. Ausrichten

Die Schienenenden werden so ausgerichtet, dass nach Bearbeitung der Schweißung die geometrischen Toleranzen eingehalten werden können.

3. Gießform montieren:

Es werden Gießformen an der Schweißlücke montiert und abgedichtet.

4. Vorwärmung:

Die Gießformen und das Abdichtmedium werden mittels Vorwärbrenner getrocknet, die Schienenenden werden gleichzeitig vorgewärmt.

5. Thermit-Reaktion:

Die Thermit-Reaktion wird im Reaktionstiegel gestartet.

6. Einguss:

Der flüssige Thermit-Stahl läuft nach Ablauf der Reaktions- und Beruhigungszeit (insgesamt ca. 30 Sekunden) in die Gießformen. Der Verschlussstößel des Reaktionstiegels öffnet zuvor automatisch. Während und nach dem Eingießen werden beide Schienenenden durch den zwischengegossenen Thermit-Stahl angeschmolzen und im Anschluss miteinander verschweißt.

7. Abarbeitung:

Nachdem der Thermit-Stahl erstarrt ist, werden Schweißgutüberstände abgearbeitet. Nach 30 Minuten kann die Thermit-Schweißung bereits mit reduzierter Geschwindigkeit überfahren werden.

8. Feinschliff:

Nach Abkühlung der Thermit-Schweißung auf annähernd Umgebungstemperatur kann der Feinschliff erfolgen (Abb. 4). Nach abgeschlossenen Oberbauarbeiten kann der Fahrbetrieb aufgenommen werden.

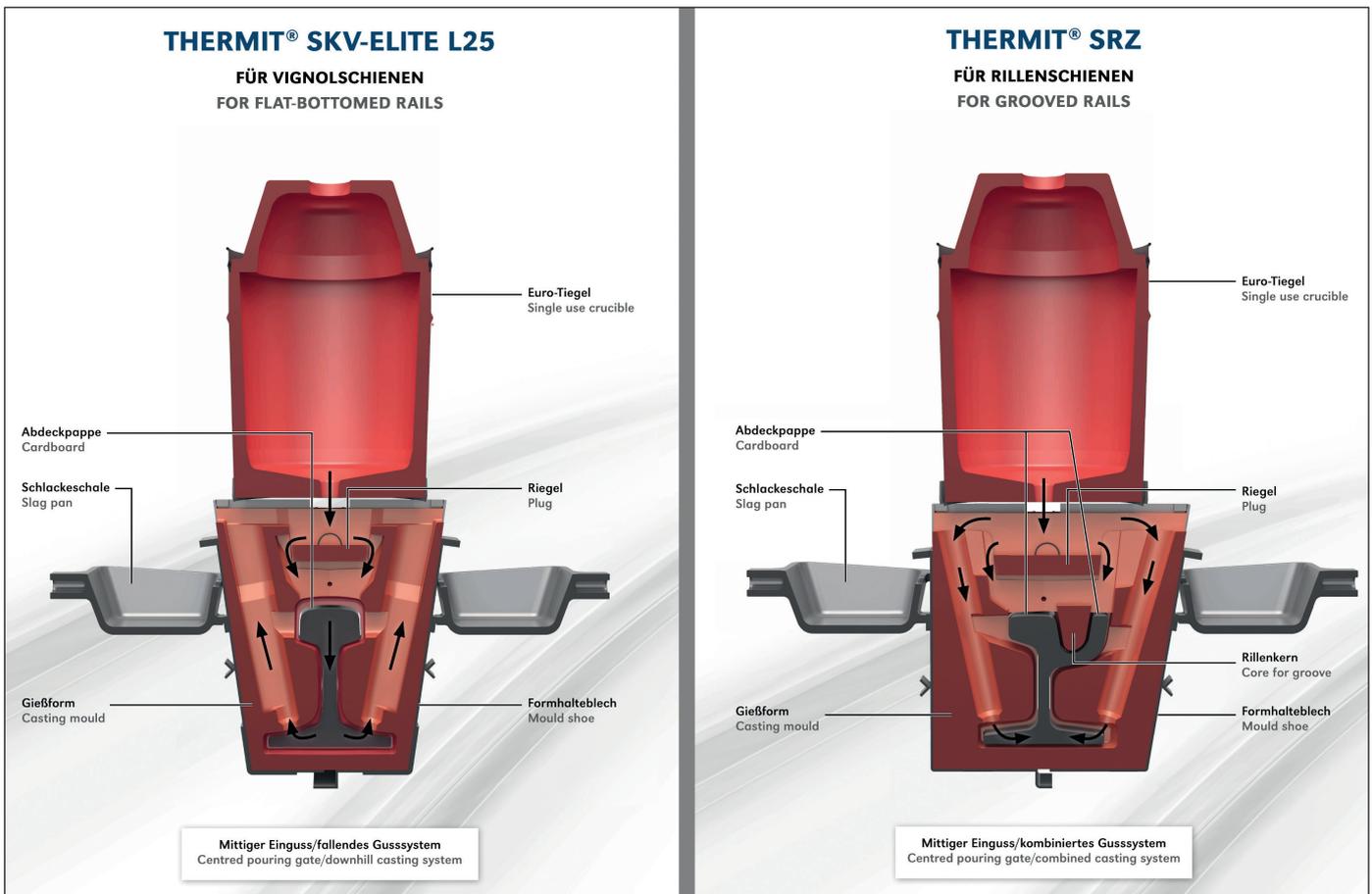


Abb. 2: Gießschemata von Thermo-Schweißverfahren

Quelle: Elektro-Thermit GmbH & Co. KG

Mit speziellen Anforderungen der jeweiligen Eisenbahninfrastrukturbetreiber haben sich nunmehr zahlreiche Verfahrensvarianten etabliert. Die Prozessschritte sind aber nahezu gleich (Infokasten).

Sicherheit und Komfort

Die nahtlosen Schienenverbindungen, die mit Thermo möglich sind, haben den Komfort und die Geschwindigkeit bei Bahnreisen deutlich gesteigert. Das früher charakteristische Tack, tack, tack ... ist kaum noch zu hören. Stattdessen gleiten Züge ruhig und gleichmäßig dahin. Zusammen mit dem Komfort und der Geschwindigkeit ist auch die Sicherheit des Bahnverkehrs deutlich gestiegen. Lückenlos geschweißte Gleise weisen inzwischen kaum noch Schwachstellen auf. In Ländern wie Deutschland oder Japan, die höchste Standards für Training und Qualität der Schweißausführung etabliert haben, ist die Anzahl fehlerhafter Thermo-Schweißungen so gering, dass sie in den Statistiken zwar erscheinen, aber kaum mehr von Relevanz sind.

Eine große Herausforderung liegt heutzutage in der Instandhaltung des Gleissystems. Gestiegene Belastungen durch deutlich engere Zugtaktungen in Verbindung mit gestiegenen Geschwindigkeiten (300 km/h oder mehr) lassen nur sehr geringen zeitlichen Spielraum für notwendige Wartungsarbeiten. Müssen Schienen trotz kurzer Sperrpausen ausgetauscht werden,

wird in der Regel auf das Thermo-Schweißen zurückgegriffen. Aufgrund seiner Mobilität, schnellen Einsatzbereitschaft und Anpassungsmöglichkeiten, z.B. Schweißen von Altschienen an Neuschienen, sind Schienenwechsel von routiniertem Personal schnell mit der notwendigen Sicherheit und Qualität ausgeführt.

Standardisierung und Qualität

Historisch gewachsen haben sich bei Bahnen und Bahnbehörden individuelle Zuständigkeiten, Prozesse und Anforderungen für die Zulassung von Thermo-Schweißverfahren, aber auch für die Qualifizierung und Zertifizierung von Thermo-Schweißern und ausführenden



Abb. 3: Thermo-Schweißen von Rillenschienen in Graz vor 1914

Quelle: Goldschmidt Thermit GmbH

Betrieben, entwickelt. Seit der Jahrtausendwende gibt es Bestrebungen, diese Vielfalt zu vereinheitlichen und europaweit sowie weltweit zu standardisieren. Das Inkrafttreten der europäischen Norm EN 14730-1/-2 (Alumino-thermisches Schweißen von Vignolschienen) war ein wichtiger Schritt, um die Qualität von Thermit-Schweißungen zu sichern und auf eine Standardisierung hinzuwirken. Vor kurzem ist zudem die Norm EN 16771 (Alumino-thermisches Schweißen von Rillenschienen) erschienen. Aktuell beschäftigen sich Arbeitsgruppen mit dem Ausarbeiten einer weltweit geltenden ISO-Norm.

Anwendung und Abgrenzung

Mit dem Thermit-Schweißverfahren können Verbindungsschweißungen an Vignol-, Rillen-, Kran- und Stromschienen selbst mit Profil- und Stahlsortenübergängen hergestellt werden. Im Vergleich zu Lichtbogenschweißverfahren ist Thermit-Schweißen anwenderunabhängiger und schneller. Es garantiert zudem eine bessere Schweißwulstgeometrie. Ein großer Vorteil gegenüber mobilem Abbrennstumpfschweißen bzw. auch Gaspressschweißen oder anderen in der Erprobung befindlichen Schweißverfahren wie Reibschweißen liegt in den deutlich geringeren Investitionskosten für Equipment und Verbrauchsstoffe und der Möglichkeit, den Spannungszustand im lückenlosen Gleis einzustellen, da Schienen beim Schweißvorgang nicht verbraucht werden und somit deren Lage und Länge nicht verändert werden. Deshalb wird fast ausschließlich Thermit beim Einschweißen von Weichen und zur Herstellung von lückenlosen Gleisen verwendet.

Mit der im Wesentlichen gleichen Ausrüstung kann eine Vielzahl von unterschiedlichen Schienenschweißaufgaben unter Auswahl der richtigen Thermit-Verbrauchsstoffe erbracht werden, und das in relativ kurzer Zeit. Damit ist das Thermit-Schweißen mobil, flexibel und wirtschaftlich, insbesondere wenn nur wenige Schweißungen, z. B. bei Instandhaltungsmaßnahmen, auszuführen sind. Auch in beengten Verhältnissen, wie sie beim Einschweißen von Weichen vorliegen, eignet sich das Thermit-Verfahren besonders. Zudem ist der Thermit-Prozess so zuverlässig, dass Thermit-Schweißungen den Anforderungen im Fahrbetrieb genügen und die Liegedauer der Schienen überdauern.

Neuerungen und Chancen

Gerade die lange Geschichte des Thermit lässt erkennen, dass es sich bei diesem Schweißverfahren um einen ausgereiften und etablierten Schweißprozess handelt. Allerdings treiben gestiegene Anforderungen und neue technische Möglichkeiten sowie der Anspruch, das Thermit-Schweißen noch anwenderfreundlicher zu gestalten und aktuell zu halten, Neuerungen an.

Verbesserter Thermit-Stahl

Es gibt zahlreiche Einflussfaktoren, die die Lebensdauer einer Thermit-Schweißung be-



Abb. 4: Feingeschliffene Thermit-Schweißung

Quelle: Elektro-Thermit GmbH & Co. KG

einflussen. Äußere Einflussfaktoren, wie die Eigenschaften des Oberbaus und der Belastungen durch Befahrung, sind komplex und müssen von der Thermit-Schweißung ebenso ertragen werden wie von der Schiene. Die Materialien, also Schienen wie auch der Thermit-Stahl, können dann an ihre Belastungsgrenze geraten. Als Ergebnis des Rad-Schiene-Kontakts bestimmt derzeit vor allem die Rollkontaktermüdung als Rissinitiator die Lebenszeit von Schiene und Schweißung. Um dem entgegenzuwirken war es notwendig, die Eigenschaften des Thermit-Stahles zu optimieren. Generell gilt, dass ein verbesserter Stahl theoretisch ein für den Anwendungsfall ideales Streckgrenzenverhältnis aufweisen soll, sodass er möglichst spät plastisch verformt und dabei ausreichend duktil bleibt. Gleichzeitig soll der Stahl eine Mikrostruktur aufweisen, die den Belastungen des Rad-Schiene-Kontaktes trotz und eine hohe Zugfestigkeit bzw. Härte hat, um Verschleiß möglichst gering zu halten. Die

Thermit-Schweißungen diesbezüglich zu optimieren ist eine Herausforderung, da es sich zudem um ein „Gussstück“ handelt.

Bisher bekannte Optimierungsmethoden des Thermit-Stahls, wie Möglichkeiten zur Kornfeinerung oder Nutzungen von bekannten Legierungskonzepten (Kohlenstoff, Mangan, Chrom, Vanadium ...) sowie Schweißprozessvarianten, die beim Einguss nur den Schienenkopf aufliegen, geraten jedoch schnell an ihre Grenzen. In einem aufwendigen Entwicklungsprojekt ist es jedoch gelungen, ein innovatives Legierungskonzept, das in einem engen, aber ausreichenden Arbeitsbereich funktioniert, zu erarbeiten. Der so optimierte Thermit-Stahl besitzt deutlich verbesserte statische und dynamische Eigenschaften, wie Laboruntersuchungen bewiesen haben. Inzwischen ist dieses Legierungskonzept für zahlreiche Anwendungen nach relevanten Normen zugelassen und überzeugt bei der Anwendung. Es wird unter dem Namen Thermit Plus vermarktet.



Abb. 5: Automatisierte Vorwärmung mit Smartweld Jet

Quelle: Tom Schulze



Abb. 6: SchlussSchweißung im Marmaray-Tunnel
Quelle: Elektro-Thermit GmbH & Co. KG

Fahrflächenreparatur

Neben der Anwendung von Thermit für das Verbinden von Schienen besteht auch die Möglichkeit, Fahrflächenfehler in Schienen mit Thermit zu reparieren. Dafür wurde das Thermit-Head-Repair (THR)-Schweißverfahren entwickelt. Aufgrund des großen Aufschmelzbereiches ist es damit möglich, Fahrflächenfehler sicher und mit Reserve zu beseitigen. Im Vergleich zu Lichtbogenprozessen ist der THR-Prozess in der Ausführung anwenderunabhängiger. Die mögliche Zeit- und Kosteneinsparung bei Anwendung dieses Prozesses ist deutlich höher. Besonders dann, wenn man es mit dem Setzen eines Passstückes vergleicht. Allerdings muss man geeignete Maßnahmen ergreifen (z.B. Flammrichten), um eine Tieflage der THR-Reparaturschweißung aufgrund der thermisch bedingten Schrumpfung zu vermeiden.

Automatisierung und Digitalisierung

Das Thermit-Schweißen hat einen sehr hohen Qualitätsstandard und eine damit einhergehende sehr niedrige Fehlerrate erreicht. Tritt in der Praxis dennoch gelegentlich ein Mangel auf, ist dieser mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Anwendungsfehler zurückzuführen. Es wird deshalb nach Möglichkeiten gesucht, die Ausführungssorgfalt zu fördern und händisch ausgeführte Prozessschritte zu automatisieren und zu erleichtern. Um den Schweißer bezüglich der Vorwärmung zu entlasten und diese zu automatisieren, wurde der Smartweld Jet (Abb. 5) entwickelt. Der Smartweld Jet ist ein automatisierter Vorwärm Brenner, der eine optimale Vorwärmqualität gewährleistet. Einmal gestartet, zündet der Brenner selbst und lässt das ausgewählte Vorwärmprogramm kontrolliert bis zum Ende ablaufen. Brenngasdrücke, Brenner- und Flammeneinstellung müssen nicht mehr vom Schweißer eingestellt und eventuell nachge-regelt werden. Da der Smartweld Jet ohne technischen Sauerstoff auskommt (stattdessen wird Umgebungsluft für die Verbrennung verwendet), ist der Aufwand für den Transport und das Handling von schweren Gasflaschen erheblich reduziert. Durch diese Erleichterung und Vereinfachung der Vorwärmung wird diese sicherer, verlässlicher und reproduzierbarer.

Der Smartweld Jet kann auch mittels der Goldschmidt Digital App bedient werden. Diese App führt den Schweißer durch den Schweißprozess. Der Schweißer erhält damit zusätzliche Unterstützung sowie eine Kontroll- und Dokumentationsmöglichkeit.

Die mittels der App generierten Prozessdaten können auf die Datenbank Dari (Data Acquisition for Rail Infrastructure) hochgeladen und mit digitalen Geometriedaten der fertigen Thermit-Schweißung (erzeugt von digitalen Linealen der Railstraight-Serie) und Streckeninformationen verknüpft werden. So erzeugt der Nutzer eine digitale Gleisakte, die er zum Beispiel für vorausschauende Instandhaltungsmaßnahmen auswerten kann.

Konsequent angewendet bedeutet das einen Zugewinn für die Qualität des Thermit-Prozesses und damit auch einen positiven Einfluss auf die Gleisintegrität und -verfügbarkeit.

Weltweite Projekte

Trotz seiner geringen Sichtbarkeit im täglichen Betrieb ist das Thermit-Schweißen aus zukunftsweisenden Eisenbahnprojekten nicht wegzudenken.

Thermit verbindet Europa und Asien

Mit dem Marmaray-Tunnelprojekt (Abb. 6) [1] wurden 2013 erstmals die Schienennetze Europas und Asiens unter dem Bosphorus miteinander verbunden. Die Thermit-SchlussSchweißung erfolgte am 27. Juni 2013. Etwa einen Monat später, am 4. August 2013, fuhr bereits der erste (Test-)Zug durch den Tunnel.

Das Infrastrukturprojekt umfasste neben dem 13,6 km langen Tunnel den Ausbau und die Modernisierung von 63 km bestehender Eisenbahnstrecken, drei neue unterirdische Bahnhöfe sowie die Modernisierung von 37 weiteren Bahnstationen. Zunächst wurden zwei Gleise für den Nahverkehr und ein Gleis für den Fernverkehr zwischen den Städten Gebze auf der asiatischen und Halkalı auf der europäischen Seite verbunden. Aufgrund der großen Erdbebengefahr galten für das Tunnelprojekt strenge Sicherheitsanforderungen. Der Marmaray-Tunnel muss Erdbeben bis zu einer Stärke von 9,0 auf der Richter-Skala standhalten können.

Instandhaltung der „neuen Seidenstraße“

Vor allem in Russland werden die Bahnstrecken zwischen China und Europa mit Thermit instandgehalten und ausgebaut. Dabei kommt zunehmend der automatisierte Vorwärm Brenner Smartweld Jet zum Einsatz. Er bewährt sich besonders unter den widrigen Bedingungen in abgelegenen Gebieten Russlands und garantiert eine hervorragende Qualität und Prozesssicherheit.

Thermit Plus im Schwerlast-, Misch- und Nahverkehr

Der Schwerlastverkehr stellt besondere Herausforderungen an Thermit-Schweißungen.

Das innovative Legierungskonzept des Thermit Plus trägt dem Rechnung. Thermit Plus-Schweißungen erreichen nicht nur im Labor bessere Gütewerte als konventionelle Thermit-Schweißungen. Auch unter Befahrung zeigen sich Vorteile.

Im High Tonnage Loop (HTL) des Transportation Technology Center Inc. (TTCI), der Teststrecke für Schwerlastverkehr in der westlichen Welt, wurden im Oktober 2016 Thermit Plus-Schweißungen eingebracht. Bisher haben diese Schweißungen 280 Mt Schwerlastverkehr mit Achslasten von 35,8 t standgehalten. Gewöhnliche Thermit-Schweißungen erreichen bereits nach ca. 165 Mt das Ende der Lebensdauer.

Neben den Vorteilen, die Thermit Plus damit im Schwerlastverkehr aufzeigt, scheinen auch Qualitätssteigerungen von Thermit-Schweißungen auf Strecken mit Mischverkehr oder im Nahverkehr möglich. Neben der kommerziellen Anwendung vor allem bei gehärteten Vignolschienen (≥ 350 HB) setzen auch Nahverkehrsbetriebe seit einiger Zeit Thermit Plus ein, auch weil Schweißungen an höherfesten und kopfgehärteten Rillenschienen teilweise zu horizontalen Stegrissen geführt haben. Mit Thermit Plus wird dieses Fehlerbild sicher verhindert. Es deutet sich zudem an, dass auch Schweißgutaufahrungen mit Thermit Plus vermieden werden können. ■

QUELLEN

[1] Struwe, M.: „Marmaray-Tunnel in Istanbul wird eröffnet / Goldschmidt Thermit sorgt für lückenlose Verbindung der Schienennetze Asiens und Europas.“ Pressemitteilung 09.10.2013



Dipl.-Ing. (BA) / SFI Daniel Liebenthal

Senior Development Engineer
Center of Competence Thermit
Elektro-Thermit GmbH & Co. KG,
Halle (Saale)
daniel.liebenthal@goldschmidt.com