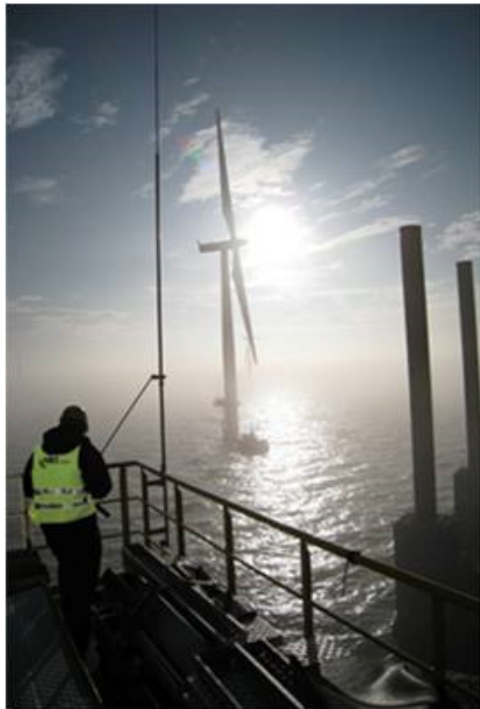


nkt cables – Our passion brings power to life

Neuentwicklung verschleißbarer Fahrdrähte und Bahnleitmaterialien

Dr. Frank Pupke, 24.11.2016



Inhalt

1. Anforderungen an Bahnleitmaterial
2. Materialeigenschaften verschiedener Bahnleitmaterialien
3. Neue Fahrdrähte – der wirtschaftliche Vorteil: VALTHERMO®
4. Neue Tragseile für Zuverlässigkeit und Energieeffizienz
5. Nachhaltigkeit und Umwelt

Der Bahnbetrieb verlangt zuverlässige und langlebige Produkte

Gegenüberstellung von Anforderungen und Materialeigenschaften

Anforderungen

- Lebensdauer / Verschleiß
- Einfache und zuverlässige Installation
- Entfall der Nachregulierung
- Keine Materialermüdung bis zum Lebensdauerende
- Betriebskosten
- Niedrige Lebensdauererkmale (LCC)
- Umwelt

Materialeigenschaften

- Verschleißbeständigkeit
- Thermische Beständigkeit gegen Erweichung (Rekristallisation)
- Homogenität des Materials
- Kriecheigenschaften
- Festigkeit, Härte, Kompatibilität mit anderen Komponenten
- Verschleiß, Kriechbeständigkeit
- Energieverbrauch bei Herstellung und Betrieb
- Abrieb

Verfügbarkeit
Nachhaltigkeit

Entwicklung

Werkstoffentwicklung und –auswahl sind der Schlüssel zum Erfolg

Inhalt

1. Anforderungen an Bahnleitmaterial
2. Materialeigenschaften verschiedener Bahnleitmaterialien
3. Neue Fahrdrähte – der wirtschaftliche Vorteil: VALTHERMO®
4. Neue Tragseile für Zuverlässigkeit und Energieeffizienz
5. Nachhaltigkeit und Umwelt

Die **Materialeigenschaften** von Kupferwerkstoffen sind gezielt beeinflussbar

1 Legierung

- Legierungselemente: Ag, Mg, Sn, ...
- Gießverfahren

3 Festigkeit / Härte / Kriechen/ Leitfähigkeit

- Legierungselemente
- Kaltumformgrad
- Wärmebehandlung

2 Materialzustand und Struktur

- Herstellverfahren Vordraht
- Kaltumformverfahren
- Wärmebehandlung

4 Verschleiß

- Elektrische Leitfähigkeit
- Thermische Stabilität
- Festigkeit und Härte
- Materialzustand und Struktur

Innovation
Entwicklung
Optimierung

Vier von der DB ausgewählte **Fahrdraht-Werkstoffe** werden seit 2012 in einer Betriebserprobung (Re160) **vergleichend untersucht**

Testvarianten DB (Köln– Neuss)

Material	Einheit	↓	↓	↓	↓	↓	↓
		Cu-ETP hochfest	CuAg0,1 hochfest	CuAg0,1 hochfest plus	VALTHERMO®	CuMg0,2 hohe Leitf. Valcond®	CuMg0,5 hohe Leitf. Valcond®
Zugfestigkeit	MPa	375	375	410	375	450	510
min. Bruchlast	kN	36,4	36,4	39,8	36,4	43,7	49,5
Bruchdehnung min - max (I ₀ 200)	%	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 8	3 - 10	3 - 10
min. el. Leitfähigkeit (20 °C)	% IACS	97	97	97	97	80	70
min. el. Leitfähigkeit (20 °C)	m/(Ωmm ²)	56,3	56,3	56,3	56,3	46,4	40,6
max. spezif. el. Widerstand	10 ⁻⁸ Ωm	1,777	1,777	1,777	1,777	2,155	2,463
max. el. Widerstand per je Länge (20 °C)	Ω/km	0,183	0,183	0,183	0,183	0,222	0,254
Torsion (I ₀ 250)	Min.	5	5	5	5	5	5
Biegewechsel	Min.	6	6	6	6	6	6
Halbhartpunkt (90 min)	°C	180 ... 200	300 ... 330	300 ... 330	≥ 300	370	375

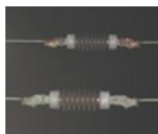
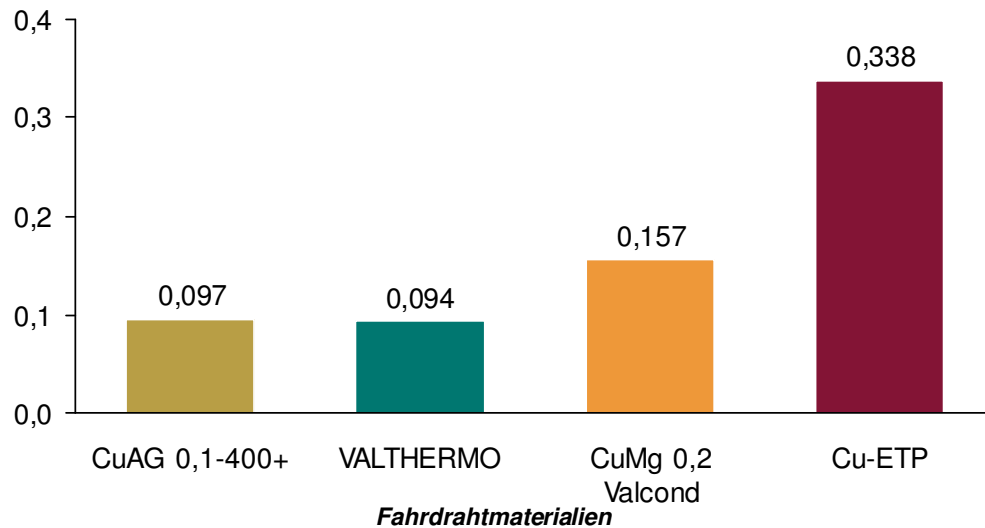
↓ Installation von vier Nachspannlängen (AC-100, Re-160, FH = 10 kN)
Standard EN50149:2012



Ergebnis - VALTHERMO® zeigt geringe Kriechdehnung

1 Kriechdehnung (10 kN nach 3 Monaten)

Kriechdehnung in ‰ (mm/m)

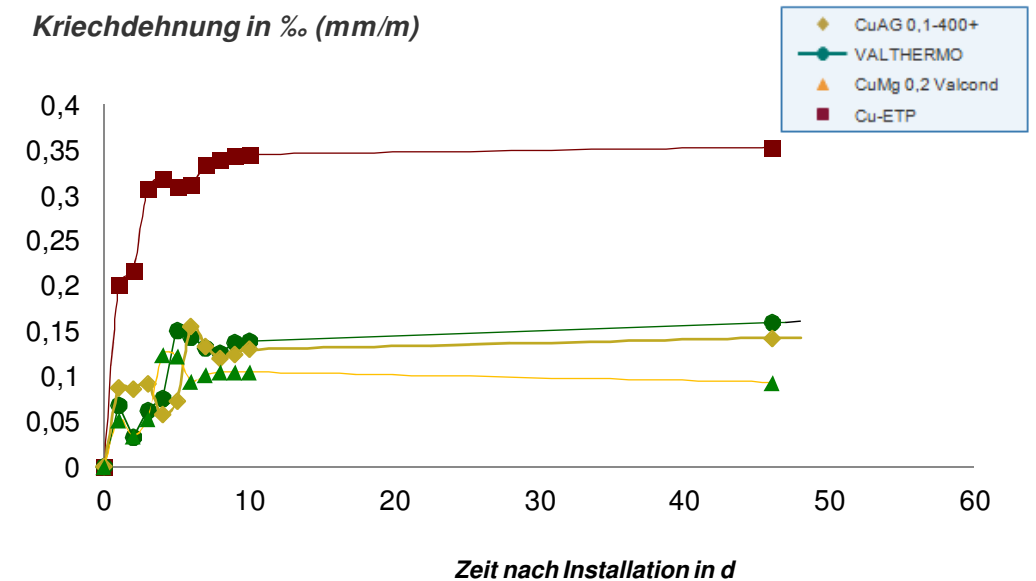


Basis: Isolatorenüberdeckung

Anmerkung: Messung Differenz zw. den Isolatoren an vorhandenem Tragseil und neuem Fahrdraht (keine Temperaturkompensation notwendig)

2 Kriechdehnung (10 kN innerhalb 50 Tagen)

Kriechdehnung in ‰ (mm/m)



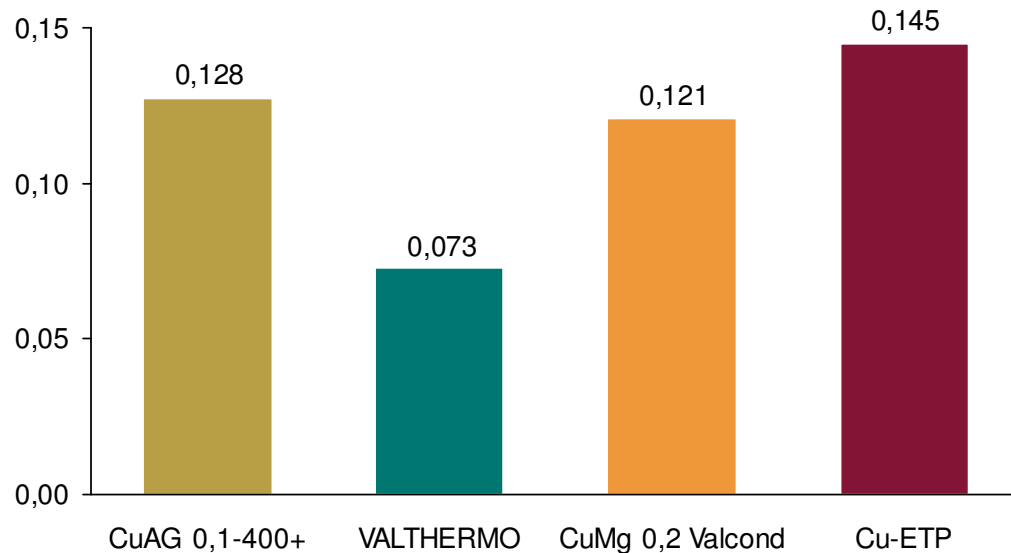
Basis: Position der Abspanngewichte

Anmerkung: Rechnerische Temperaturkompensation auf 0°C

Ergebnis - VALTHERMO® zeigt geringeren Verschleiß als die Vergleichswerkstoffe

1 Verschleißergebnisse Durchschnitt

Abnahme des Fahrdrahtdurchmessers in mm

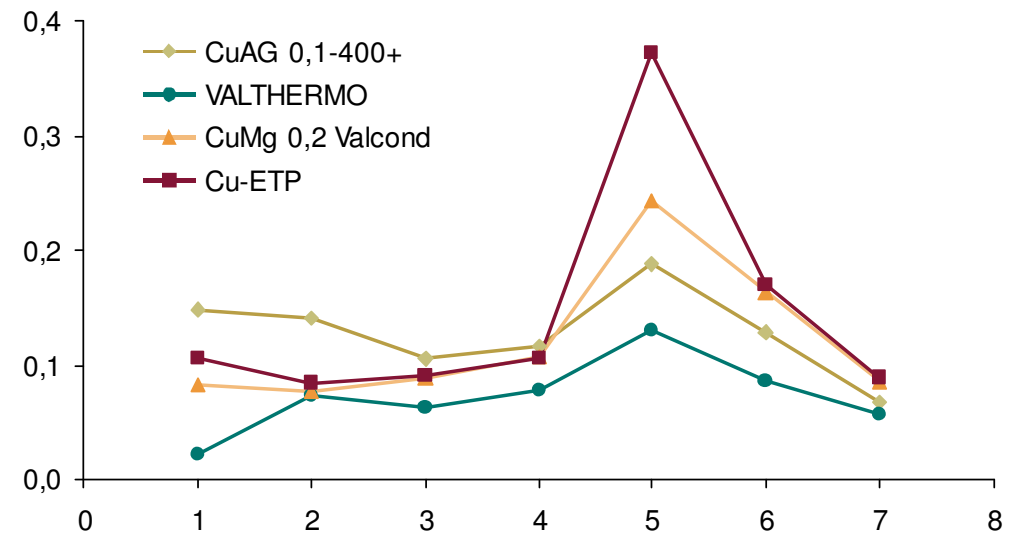


Fahrdrahtmaterialien

Mittlere Verschleißwerte von AC-100 an vergleichbaren Messpunkten nach 20 Monaten (Re160 mit 55.000 Stromabnehmerdurchgängen p.a.)

2 Verschleißergebnisse im Einzelnen

Abnahme des Fahrdrahtdurchmessers in mm

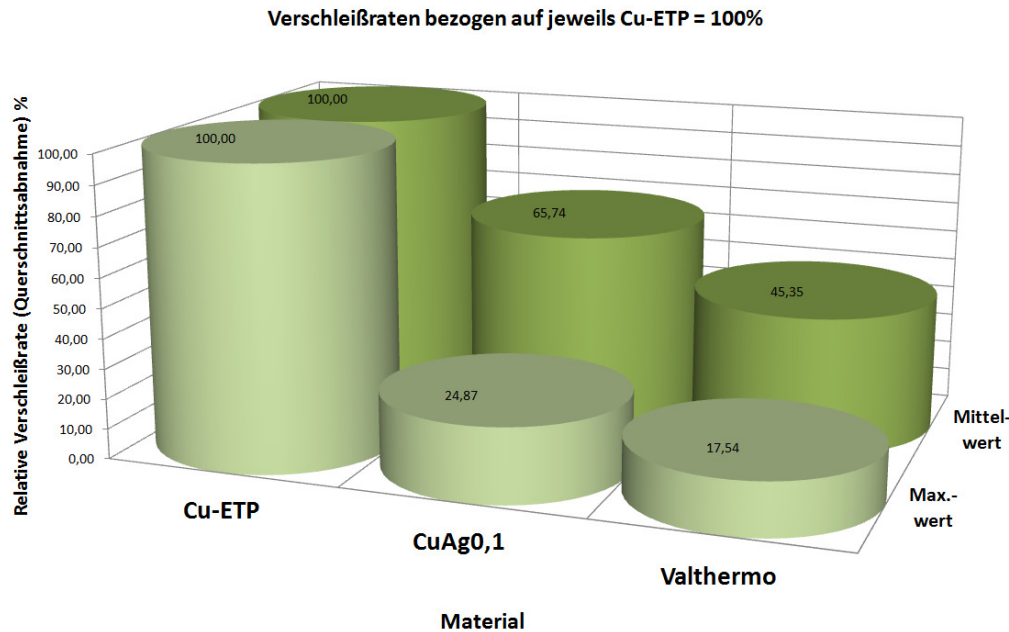


Vergleichsmesspunkte

Einzelne Verschleißwerte von AC-100 an vergleichbaren Messpunkten nach 20 Monaten (RE 160 mit 55.000 Stromabnehmerdurchgängen p.a.)

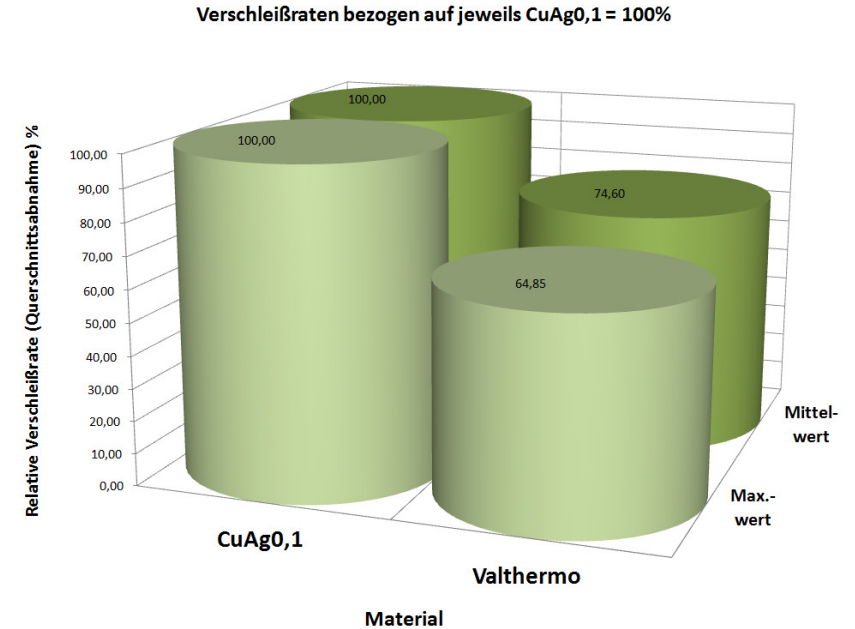
Weitere neuere Ergebnisse - VALTHERMO® zeigt geringeren Verschleiß als die Vergleichswerkstoffe

1 Betriebserprobung DB, Köln - Neuss



Querschnitts-Verschleißraten von AC-100 an vergleichbaren Messpunkten nach 49 Monaten entspricht 225.000 Stromabnehmerdurchgängen (Re160 mit 55.000 Stromabnehmerdurchgängen p.a., 15kV AC)

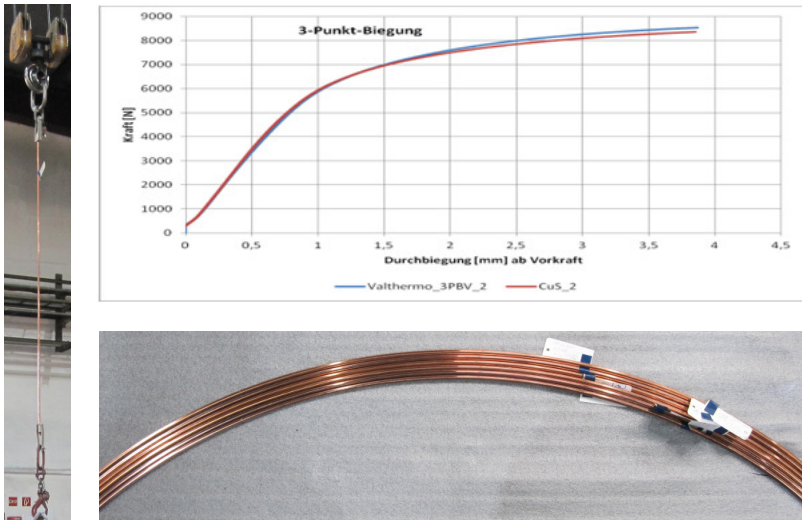
2 Betriebserprobung Bogestra Nahverkehr Bochum



Querschnitts-Verschleißraten von AC-120 an vergleichbaren Messpunkten nach 34 Monaten entspricht 108.000 Stromabnehmerdurchgängen (38.000 Stromabnehmerdurchgänge p.a., 750V DC)

Die Biegeeigenschaften von CuAg0,1, Cu-ETP und VALTHERMO® sind gleich

- Kein signifikanter Unterschied bei Rückfederung
- Kraftverläufe bei Biegung und Rückbiegung sind gleich
- Zugfestigkeit und Härte sind auf gleichem Niveau



Alle Proben nach Zugbelastung und Entlastung

Material	Prüfling	Zug-	Kreisegmenthöhe	Kreisegmenthöhe
		festigkeit	Ausgangszustand	nach Zugbelastung 10kN
		N/mm ²	mm	mm
Cu-ETP	1		220	87
	2		217	86
AC-100	Mittelwert	384	218,5	86,5
CuAg0,1	1		221	88
	2		220	88
AC-100	Mittelwert	400	220,5	88
CuSn0,1	1		223	89
	2		218	89
Valthermo®	Mittelwert	399	220,5	89
AC-100				



Ausgangszustand von Trommel



Nach Zugbelastung und Entlastung

VALTHERMO®: identisches Verhalten bei Installation im Vergleich zu Cu-ETP und CuAg0.1

Inhalt

1. Anforderungen an Bahnleitmaterial
2. Materialeigenschaften verschiedener Bahnleitmaterialien
3. Neue Fahrdrähte – der wirtschaftliche Vorteil: VALTHERMO®
4. Neue Tragseile für Zuverlässigkeit und Energieeffizienz
5. Nachhaltigkeit und Umwelt

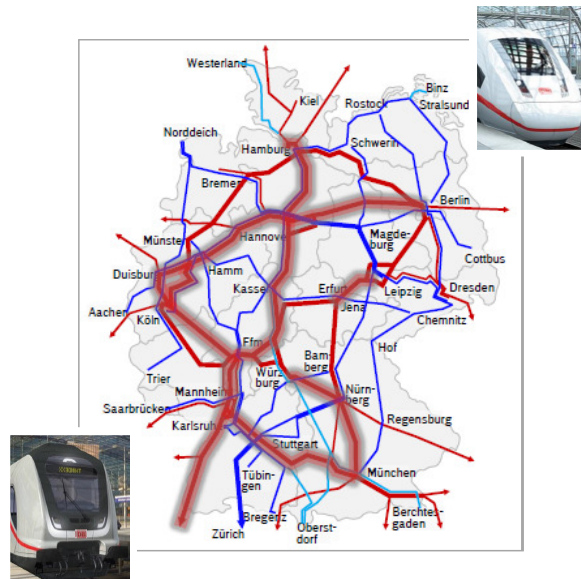
Steigende technische und betriebliche Anforderungen sind Motivation für die Entwicklung von VALTHERMO® - Beispiel DB

Idee und Motivation für die Entwicklung

Ausgangspunkt

- Forderung nach hoher Verfügbarkeit der Oberleitung
 - Streckenabschnitte mit hoher Zugdichte
 - DB Strategie 2030 sieht Steigerung der Zugdichte vor
- Wunsch nach Erhöhung der Lebensdauer der Fahrdrähte und einfacher Installation ohne Nachregulierung
- Unabhängigkeit von Silberpreisentwicklung
 - Ag-Preis hochvolatil
 - Ag-Zuschlag am Ende Lebensdauer verloren

Auszug DB Präsentation zum neuen Verkehrskonzept



- Ausbau des Fernverkehrsangebotes um 25 Prozent bis 2030
- 50 Mio. zusätzliche Reisende pro Jahr
- Mehr Fahrten in ICE-Qualität, auf Hauptachsen 2 Züge pro Stunde
- Konsequente Bedienung mit dem Fernverkehr auch in der Fläche im Zwei-Stunden-Takt
- 5 Mio. Menschen neu am Fernverkehr angeschlossen
- Reduktion von 1,7 Mio. t CO₂ pro Jahr (entspricht dem Ausstoß von 600.000 Pkw p.a.)
- 12 Mrd. EUR Investitionen bis 2030 im Fernverkehr

VALTHERMO® wird bei DB Netz und ÖBB im Vergleich zu bekannten Werkstoffen betriebserprobt und **technisch freigegeben**

Erprobung DB Netz AG, Köln-Neuss

Untersuchungsaufbau

Betriebserprobung: Einbau Sept 2012

- Cu-ETP
- CuAg0,1 400+
- CuMg0,2
- VALTHERMO®

Längungs- und Verschleißmessungen 04/2014

- Vorteil von legierten Fahrdrähten bei der Längung (geringere Kriechdehnung)
- Vorteil in der Lebensdauer von VALTHERMO® insbesondere gegenüber Cu-ETP und CuAg0,1 bei gleicher elektrischer Leitfähigkeit

**Technische Freigabe/ Aufnahme in EBS durch DB
08/2014**

Erprobung ÖBB , Ybbs- Amstetten, Typ 2.1

Untersuchungsaufbau

Umfangreicher Typtest

Komponentenverträglichkeitsprüfungen

Pilotierung: Einbau 04/2013

- CuAg0,1
- VALTHERMO®

Verschleißmessungen 08/2015

geringerer Verschleiß bei Valthermo

**Technische Freigabe durch ÖBB
02/2016**

VALTHERMO® ist die innovative Alternative zu Cu-ETP und CuAg0,1

VALTHERMO® CuSn0,1 – der neu entwickelte Fahrdrabtwerkstoff von nkt cables - vereint mehrere vorteilhafte Eigenschaften



- Ressourcenschonendes Material ohne Silberzusatz (hochvolatiles Edelmetall): Beim Recycling verschlissener CuAg0,1-Fahrdrähte geht anteiliger Metallwert von Silber verloren
- Die gute thermische Beständigkeit ist in hohem Maße verantwortlich für gute Kriechbeständigkeit (25 bis 40% verringerte Kriechdehnung gegenüber Cu ETP-Fahrdraht): Kein Aufwand für die Nachregulierung
- Spezielle prozesstechnisch erreichte Gefügestruktur ist Basis für ausgezeichnetes Verschleißverhalten: Die Verschleißrate des „Verschleißpartners“ Kohleschleifleiste wird im Vergleich zu Cu-ETP und CuAg0,1 nicht verschlechtert
- Messergebnisse bei Feldversuchen der DB Netz AG zeigen gegenüber Cu ETP-Fahrdraht eine mehrfache Lebensdauererwartung: Potenzielle Einsparung von einem/ mehreren Fahrdrabtwechseln über die Anlagenstandzeit
- Längere Lebensdauer sowie verringerter Nachregulierungsaufwand resultieren in deutlich höherer Anlagenverfügbarkeit
- LCC-Tool entwickelt: Der ökonomische Nutzen wird projektspezifisch nachgewiesen, Vergleichsberechnungen zu Cu, CuAg jeweils möglich

In einer Studie der TU Dresden wird die **Wirtschaftlichkeit** von VALTHERMO® auf der Basis der Lebenszykluskosten bewertet

Ein gemeinsames Projekt: nkt cables beauftragt die TU Dresden

The image shows the cover of a report. At the top left is the logo of Technische Universität Dresden. To its right is the logo of Elektrische Bahnen. Below these is the text 'Fakultät Verkehrswissenschaften „Friedrich List“ Professur Elektrische Bahnen'. The main title of the report is 'BERICHT' followed by 'Analyse der Lebenszykluskosten von Oberleitungsanlagen...'. Below the title, there are fields for 'Titel', 'Kurztitel', 'Auftraggeber', 'Auftragskennzeichen', 'Bearbeiter', 'Berichtsnr.', and 'Datum'. The logos of Technische Universität Dresden, Elektrische Bahnen, and nkt cables are prominently displayed in the center. At the bottom left, there is a grey box with the text 'Ziel: Kompetente, neutrale und unabhängige Bewertung'.

Ziel: Kompetente, neutrale und unabhängige Bewertung

Optimierung der Lebenszykluskosten von Oberleitungsanlagen durch die Nutzung von VALTHERMO®

- Vergleich der Fahrdrähte Valthermo mit CuAg0,1 und Cu-ETP
- Mittlere Lebensdauer einer Oberleitungsanlage von 70 Jahren (DB Netz- Angabe)
- Szenarien in Fernverkehr¹ und Nahverkehr²
- Streckenlänge 50 km (Fernverkehr) bzw. 5km (Nahverkehr), jeweils zweigleisig
- Kapitalwertmethode: Gegenüberstellung der Kosten vor³, während und nach der Nutzung unter Berücksichtigung des Zinseffekts, nach der Nutzung wird Schrottwert angesetzt
- Einnahmen u. a. aus dem Betrieb wurden nicht berücksichtigt (Annahme gleicher Einnahmen für alle untersuchten Fahrdrähte)

Die periodischen Zahlungsfolgen werden anhand der gewählten Mengengerüste je Lebenszyklusphase berechnet

Die Berechnung der Zahlungsfolgen



- Berechnung der Anschaffungskosten durch Ermittlung des Material- sowie Montageaufwandes
- Berücksichtigung der Entwicklungs- und Marketingkosten
- Berücksichtigung der Distributions- und Transportkosten

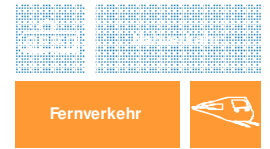
- Berücksichtigung der Nachregulierungsphase bei Cu-ETP Fahrdrähten durch Ermittlung des Montageaufwandes
- Berechnung der **präventiven** Instandhaltungskosten durch Ermittlung des Montageaufwandes sowie der in den entsprechenden technischen Regelwerken festgelegten Instandhaltungsintervalle zur Fahrdrabtstärkemessung
- Berechnung der Verlustenergiekosten in Abhängigkeit des Verschleißmaßes

- Berechnung des **korrektiven** Instandhaltungsaufwands, welcher den Material- als auch den (De) Montageaufwand berücksichtigt

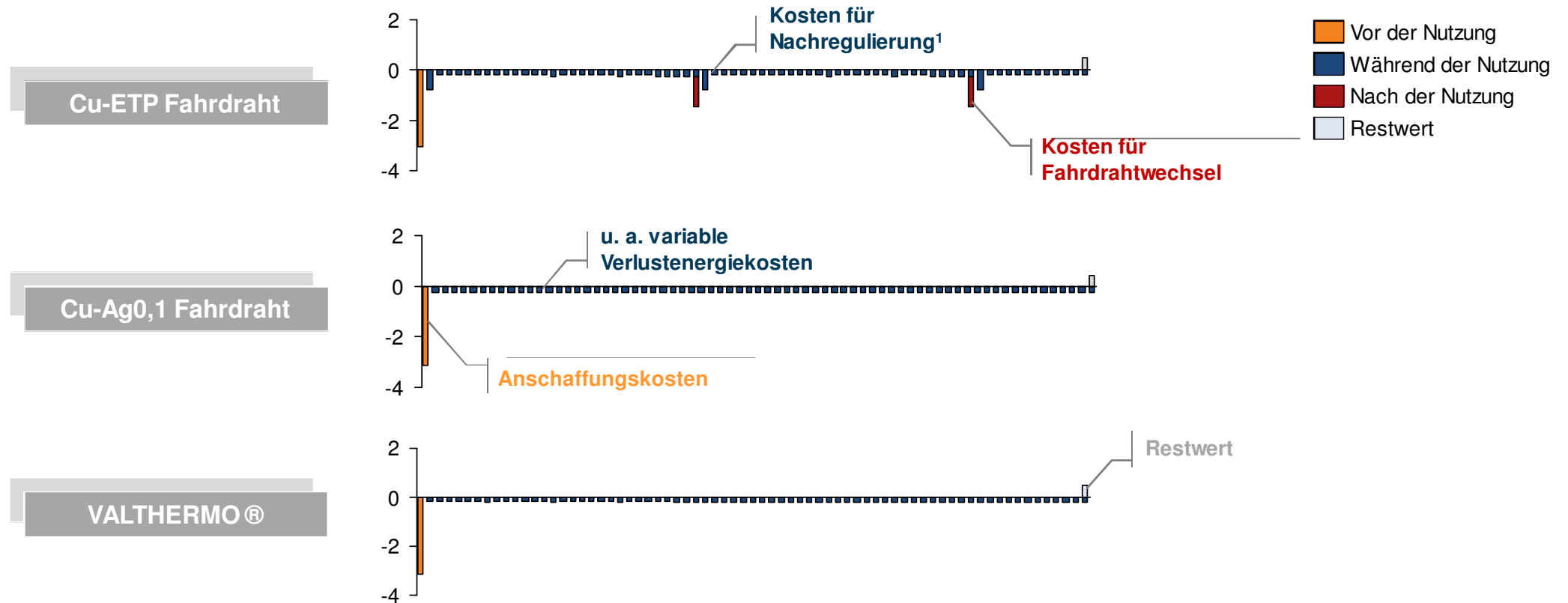
- Restwertbestimmung zum Betrachtungsdauerende für die Komponente Fahrdrabt



Die jährlich anfallenden Kosten für Fahrdrabtwechsel und Nachregulierung fallen im Betrachtungszeitraum nur für Cu-ETP an

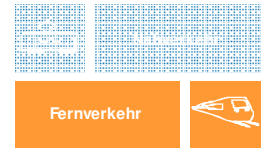


Jährliche Zahlungsströme im Fernverkehr 50 km Streckenlänge, zweigleisig, Betrachtungszeitraum 70 Jahre



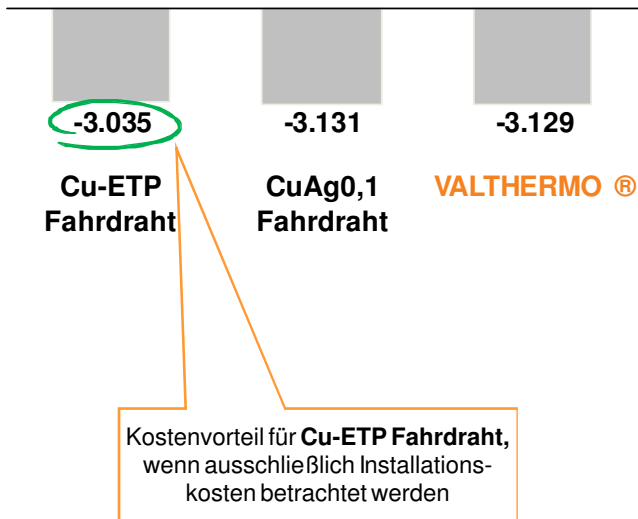
1) Im ersten Jahr nach Installation.

Im Gesamtvergleich bietet VALTHERMO® die geringsten Lebenszykluskosten 1)

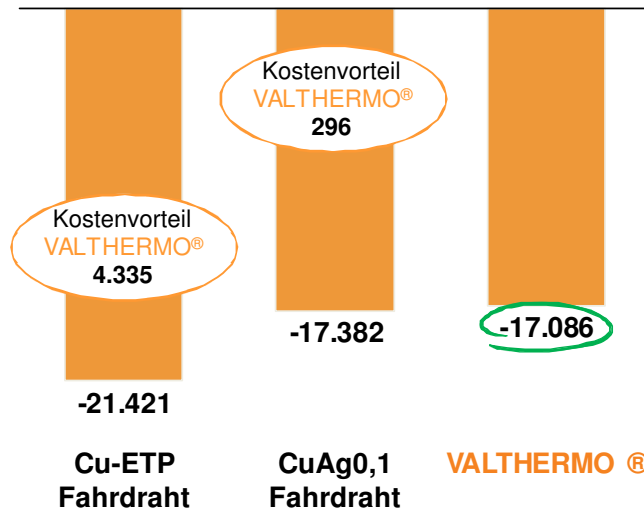


Analyse der Lebenszykluskosten für Fernverkehr 50 km Streckenlänge, zweigleisig, Betrachtungszeitraum 70 Jahre (DB)

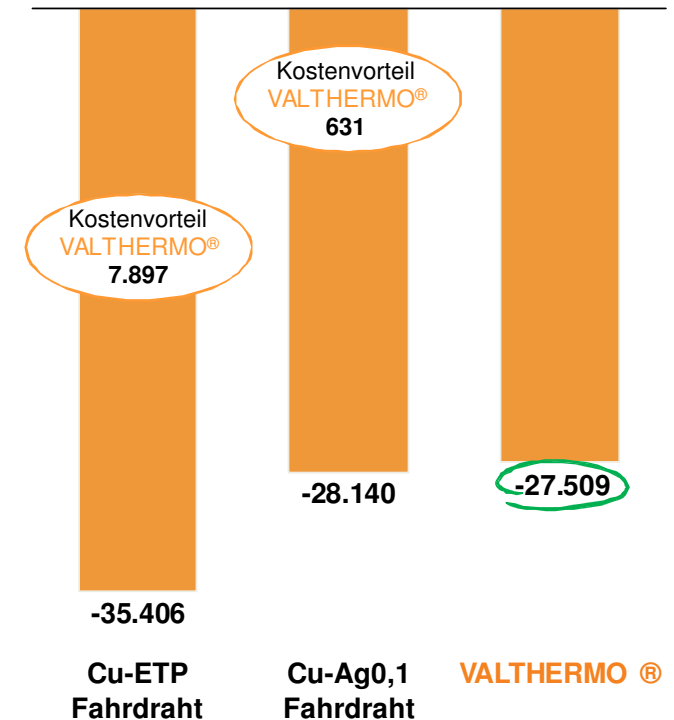
Anschaffungskosten in T€



Gesamtkosten im Zeitverlauf in T€ (ohne Preisdynamik)



Gesamtkosten im Zeitverlauf in T€ (mit Preisdynamik²)



1) s. a: Elisabeth Helwig, Arnd Stephan, Dresden; Frank Pupke, Köln: Lebenszykluskosten von Fahrdrähten – Grundlagen und erste Ergebnisse, eb 4/2016
 2) Nominalzinssatz 2,0 %, Preissteigerungsrate 1,5 % = Realer Zinssatz 0,49 %

Inhalt

1. Anforderungen an Bahnleitmaterial
2. Materialeigenschaften verschiedener Bahnleitmaterialien
3. Neue Fahrdrähte – der wirtschaftliche Vorteil: **VALTHERMO®**
4. Neue Tragseile für Zuverlässigkeit und Energieeffizienz
5. Nachhaltigkeit und Umwelt

Tragseile werden nach Kundenanforderungen optimiert

Entwicklung eines Tragseiles nach ÖBB- Anforderungen

Anforderungen und Eigenschaften

ÖBB- Anforderungen:

- Festigkeit wie BZII- Seile nach DIN 48201-2
- Ersatz des bisherigen Cu-Legierungsseiles durch Material mit höherer Zugfestigkeit und Härte zur Optimierung der Komponentenverträglichkeit

Lösungsweg:

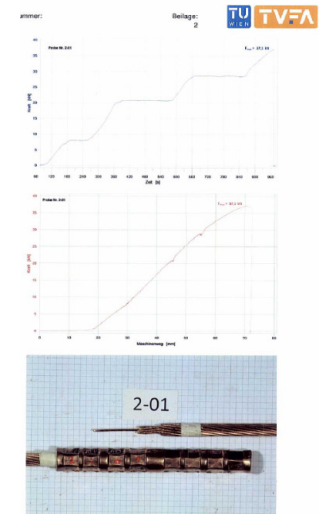
- Optimierung der CuMg- Legierung und Fertigungstechnologie
- Steigerung der elektrischen Leitfähigkeit von Standard 62% IACS auf optimiert 76% IACS
- **Um 18% verringerte elektrische Verluste im Tragseil gegenüber dem Standard- BzII-Seil**

Ergebnis:

- Erhöhung der Zuverlässigkeit im Zusammenwirken mit Komponenten (Klemmen, Verbinder) bei minimierten elektrischen Verlusten

Test

- Umfangreicher Typtest
- Kompatibilität mit ÖBB-spezifischen Komponenten
- Pilotierung Ybbs-Amstetten: Einbau 04/2013
- **Technische Freigabe: 03/2015**



Das Tragseil 19x2,15 CuMg0,2 76% IACS wurde durch die ÖBB technisch freigegeben

Inhalt

1. Anforderungen an Bahnleitmaterial
2. Materialeigenschaften verschiedener Bahnleitmaterialien
3. Neue Fahrdrähte – der wirtschaftliche Vorteil: **VALTHERMO®**
4. Neue Tragseile für Zuverlässigkeit und Energieeffizienz
5. Nachhaltigkeit und Umwelt

VALTHERMO® bietet wirtschaftliche und ökologische Vorteile

Steigende Verfügbarkeit Verfügbarkeit, höhere Betriebssicherheit und Ressourcenschonung

Einsparungen auf 70 Jahre bei Verwendung VALTHERMO® CuSn0,1 im Vergleich zu Cu-ETP Fahrdrabt

Streckenlänge zweigleisig in km	50	100	1.000	2.000	3.000
Fahrdrahtlänge in km	120	240	2.400	4.800	7.200
Einsparung ohne Preisdynamik in Mio€	4,3	8,7	86,7	173,4	260,1
Einsparung mit Preisdynamik in Mio€	7,9	15,8	157,9	315,9	473,8
Mehrbetrag Anschaffungskosten Valthermo in Mio€	0,09	0,19	1,88	3,76	5,64
Einsparung CO ₂ bei Herstellung und Betrieb in to	2.788	5.576	55.760	111.520	167.280

VALTHERMO® bietet wirtschaftliche und ökologische Vorteile

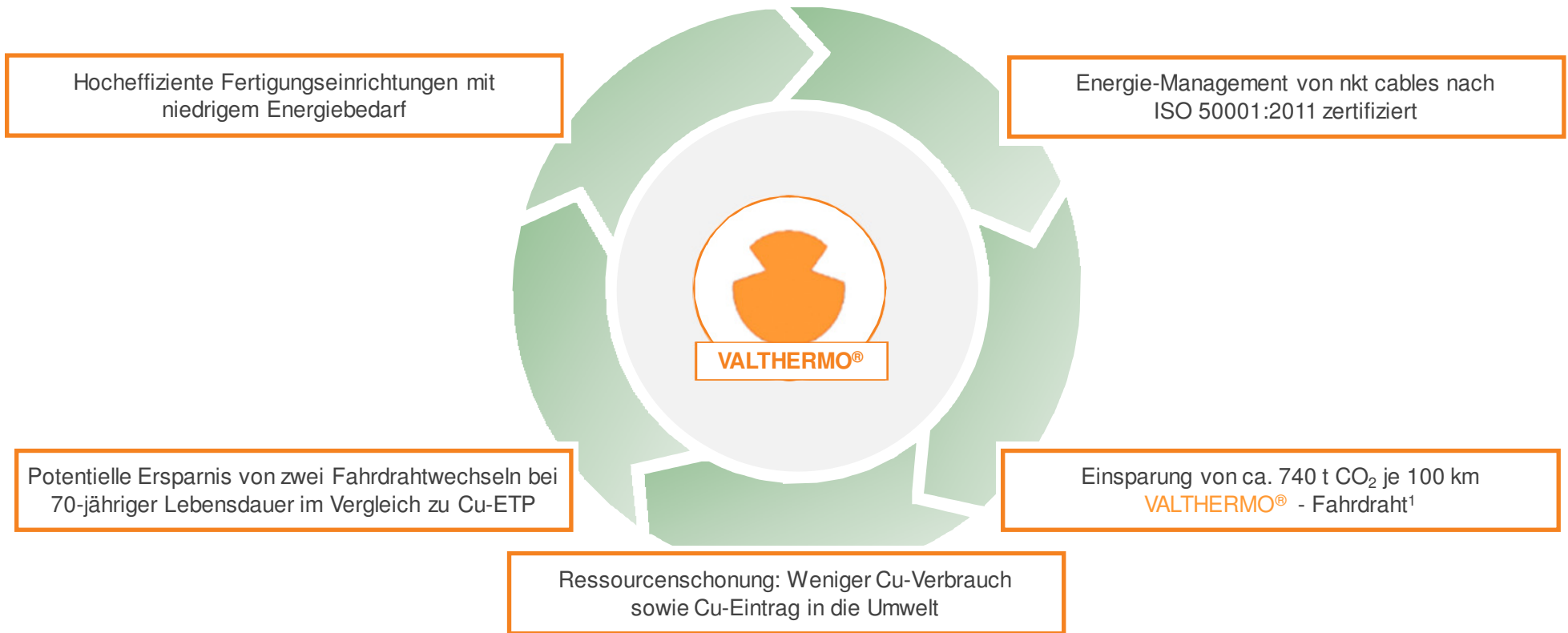
Steigende Verfügbarkeit Verfügbarkeit, höhere Betriebssicherheit und Ressourcenschonung

Einsparungen auf 70 Jahre bei Verwendung VALTHERMO® CuSn0,1 im Vergleich zu CuAg0,1 Fahrdrabt

Streckenlänge zweigleisig in km	50	100	1.000	2.000
Fahrdrahtlänge in km	120	240	2.400	4.800
Einsparung ohne Preisdynamik in Mio€	0,3	0,6	6,0	12,0
Einsparung mit Preisdynamik in Mio€	0,6	1,2	12,0	24,0
Mehrbetrag Anschaffungskosten Valthermo in Mio€	0	0	0	0

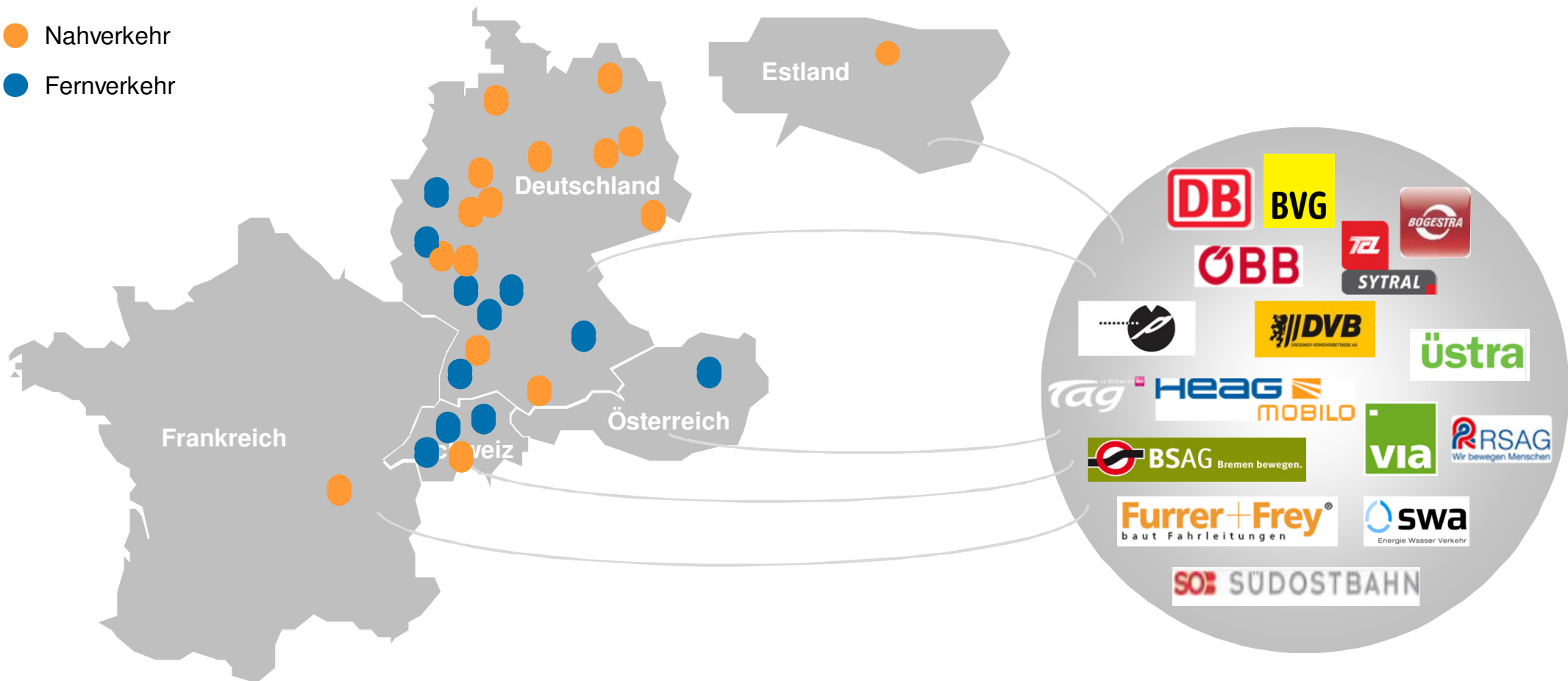
VALTHERMO® ist ein nachhaltiges Produkt

Im Einklang mit Nachhaltigkeitszielen: Mehrfache Lebensdauer und niedriger Energieverlust



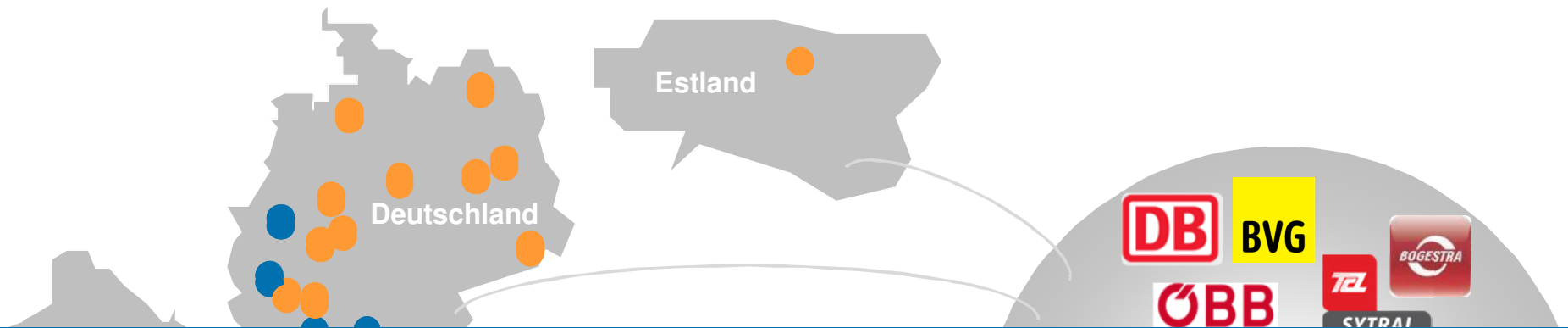
VALTHERMO® CuSn0,1 wird seit 2012 im Nah- und Fernverkehr erfolgreich eingesetzt

- Nahverkehr
- Fernverkehr



VALTHERMO® CuSn0,1 wird seit 2012 im Nah- und Fernverkehr erfolgreich eingesetzt

- Nahverkehr
- Fernverkehr



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!