

Marcus Walz<sup>1</sup>, Hans-Jörg Kersten<sup>2</sup>

<sup>1</sup> B+S Ingenieur AG, Bern/Switzerland

<sup>2</sup> Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V., Darmstadt/Germany

## Korrosionsverhalten von Baumetallen in Kontakt mit Gips

**Zusammenfassung:** Das Korrosionsverhalten von heute gebräuchlichen Baumetallen (unlegierter Stahl, sendzimir-verzinkter Stahl, eloxiertes und nicht eloxiertes Aluminium AlMgSi0,5, nichtrostender Stahl 1.4301, Reinkupfer sowie zinkreiches Messing CuZn39Pb2) in Kontakt mit modernen Gipsbaustoffen aus Naturgips und REA-Gips aus Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken wurde in einem durch die AiF geförderten Forschungsvorhaben der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. untersucht. Durch Verwendung von gezielt abgestimmten Gips-Metall-Kombinationen ist eine sachgerechte Anwendung ohne Korrosionsschäden und damit verbundenen Sanierungskosten auch in stärker belasteten Anwendungsbereichen möglich.

## The corrosion performance of building metals in contact with gypsum

**Summary:** The corrosion behaviour of the building metals in widespread present-day use (non-alloyed and Sendzimir zinc-plated steel, anodized and non-anodized aluminium AlMgSi0.5, stainless steel 1.4301, pure copper and high-zinc brass CuZn39Pb2) in contact with modern gypsum building materials consisting of natural and FGD gypsum from lignite- and coal-fired power plants has been studied in the context of a Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. (Gypsum Industry Research Association) research project sponsored by the AiF. The use of systematically matched gypsum/metal combinations makes safe selection and use possible without corrosion damage, and thus without the associated costs for repair, etc., even in severely exposed applications and regions.

## Comportement de corrosion de métaux de construction au contact du plâtre

**Résumé:** Le comportement de corrosion des métaux de construction courants (acier non allié, acier galvanisé par le procédé Sendzimir, aluminium anodisé et non anodisé AlMgSi0,5, acier inoxydable 1.4301, cuivre pur ainsi que laiton riche en zinc (CuZn39Pb2) au contact des matériaux de construction de plâtre modernes à base de plâtre naturel et de plâtre de désulfuration en provenance de centrales thermiques à lignite et à houille a été étudié dans le cadre d'un projet de recherche patronné par l'AiF de la Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. Par des combinaisons de plâtre/métal spécialement adaptées, une application conforme sans dommages de corrosion et coûts d'assainissement en résultant est ainsi également possible dans des domaines d'application à plus forte sollicitation.

## Comportamiento de los metales para construcción en contacto con el yeso

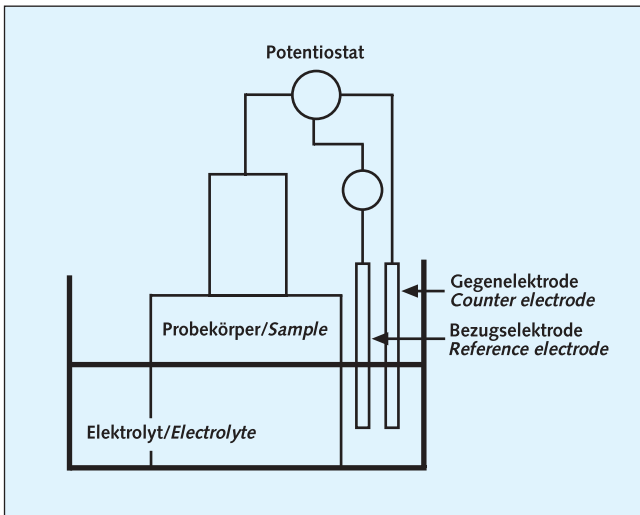
**Resumen:** La Asociación para la Investigación de la Industria del Yeso e.V. estudió en el margen de un proyecto de investigación promovido por la AiF el comportamiento de los metales actualmente empleados en la construcción (acero no aleado, acero cincado por proceso sendzimir, aluminio AlMgSi0,5 anodizado y no anodizado, acero inoxidable 1.4301, cobre puro y latón rico en cinc CuZn39Pb2) en contacto con materiales modernos derivados del yeso natural o yeso REA de centrales eléctricas de carbón y hulla. La utilización de determinadas combinaciones yeso-metal es apropiada para evitar daños causados por la corrosión. Con ello es posible eliminar los costes relacionados con la rehabilitación incluso en aplicaciones bajo cargas elevadas.

### 1 Einleitung

In Gipsen können, wie auch in anderen porösen Baustoffen, eingebettete Metalle nur dann korrosiv angegriffen werden, wenn metall- und baustoffseitig korrosionsbegünstigende Bedingungen vorliegen. Dazu muss Feuchtigkeit vorhanden sein, entweder herstellungsbedingt oder durch nachträgliche Eindiffusion eines Elektrolyten. Die Voraussetzungen für eine Diffusion sind bei porösen Baustoffen wie Gips durch die kapillare Porenstruktur gegeben. Die Metalle/Legierungen müssen unter korrosionsbegünstigenden Bedingungen entweder in aktivem oder depassiviertem Zustand vorliegen, damit Korrosion stattfinden kann.

### 1 Introduction

As in other porous building materials, metals embedded in gypsums can only be subjected to corrosive attack if corrosion-promoting conditions occur in both metallurgical and building material chemistry terms. Moisture, as a result either of production processes or of the subsequent inward diffusion of an electrolyte, must be present for this process to occur. In the case of porous building materials such as gypsum, the preconditions for diffusion are provided by the capillary pore structure of these substances. Metals and alloys must be present, in either active or depassivated state, under corrosion-favouring conditions if corrosion is to occur.



- 1 Schematisierter Versuchsaufbau zur Durchführung der potenziodynamischen und potenziostatischen Versuche.
- 1 Schematic test apparatus for performance of potentiodynamic and potentiostatic tests

Durch das schnelle Austrocknen der pulverförmigen Gipsprodukte – Baugipse bzw. Estriche oder die Verwendung von heute verbreiteten bereits trockenen Plattenbaustoffen aus Gips (Gipsplatten, Gipsfaserplatten bzw. Gips-Wandbauplatten) ist, wie bereits an feuerverzinkten Runddrähten nach Auslagerung in Gipsmörteln von Nürnberger [1] gezeigt, anfängliche Korrosion schnell gestoppt oder bei trockenen Produkten nicht zu erwarten. Infolgedessen bestand die Aufgabe des Forschungsvorhabens, neben den grundlegenden Bedingungen insbesondere auch die Langzeitwirkungen von Baumetallen in Verbindung mit Gipsbaustoffen zu untersuchen. Ferner war zu prüfen, ob durch Beaufschlagung freiliegender Metallkonstruktionen mit Gipsstaub während der Bauphase Korrosionseffekte zu erwarten sind.

## 2 Untersuchungsgegenstand

### 2.1 Probenauswahl

Heute sind Gipse aus Rauchgasentschwefelungsanlagen (REA-Gips) und Naturgipse gleichberechtigte Rohstoffe. Daher wurde die Herkunft des REA-Gipses (Braunkohle- bzw. Steinkohlekraftwerk) in Betracht gezogen. In Gipsprodukten liegt Calciumsulfat entweder in neutralem Milieu (Gipsplatten, Gips-Wandbauplatten, Stuckgips) oder in alkalischem Milieu (Maschinenputzgips) vor. Um alle typischen Kombinationen zu berücksichtigen, ergab sich die in **Tabelle 1** aufgeführte Untersuchungsmatrix. Die Alkalität wurde durch Zusatz von 1,5 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  eingestellt. Auf eine Untersuchung des Einflusses von weiteren Zusätzen in Hinblick auf das Korrosionsverhalten wurde verzichtet.

**Tabelle 1:** Untersuchungsmatrix

**Table 1:** Investigation matrix

Elektrochemische Untersuchungen Electrochemical investigations		Stahl/steel	Stahl verz. steel, SZP.	eloxiert anodized Aluminium AlMgSi0,5	nicht eloxiert non-anodized Aluminium AlMgSi0,5	Stahl/steel 1.4301	Reinkupfer Pure copper	Messing/brass CuZn39Pb2
Stuckgips/Naturgips	ohne/no $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X
Stucco/Natural gypsum	mit/with $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X
Stuckgips/REA-Steinkohle	ohne/no $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X
Stucco/FGD (coal) gypsum	mit/with $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X
Stuckgips/REA-Braunkohle	ohne/no $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X
Stucco/FGD (lignite) gypsum	mit/with $\text{Ca}(\text{OH})_2$	X	X	X	X	X	X	X

Thanks to the rapid drying and hardening of powder-type gypsum products, such as building plaster and floor screed, and the use of the nowadays widespread dry wall building materials containing gypsum (gypsum plasterboard, gypsum fiberboard and gypsum blocks), initial corrosion, as has already been demonstrated by Nürnberger [1] on hot-dip galvanized round-section wires after exposure in gypsum mortars, is quickly stopped and, in the case of dry products, need not even be anticipated. As a consequence, the brief of the research project was that of investigating not only the basic conditions, but also in particular the long-term effects of building metals in combination with gypsum building materials. In addition, the question of whether “dusting” of exposed metal structures with gypsum powder during the construction phase might result in corrosion effects was also to be examined.

## 2 Object of investigation

### 2.1 Selection of specimens

Natural gypsum and those obtained from flue-gas desulfurization plants (“FGD gypsum”) are nowadays accepted without restriction as raw materials. For this reason, the origin of the FGD gypsum (lignite- or [“hard”]-coal-fired power plants) was also examined. Calcium sulfate is present in gypsum products either in a neutral (gypsum plasterboard, gypsum wallboard and stucco) or an alkaline environment (mechanically applied plaster). The investigation matrix shown in **Table 1** was drafted to take account of all typical combinations. Alkalinity was adjusted by adding 1.5 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Study of the influence of other additives on corrosion behaviour was not part of the brief for this project.

Building metals come into contact with the most diverse range of building materials, naturally including gypsum-based building products, in the fields of civil, industrial and transport engineering, and in residential and commercial building technology and automation. Corner beads, zinc-plated fixing and connecting elements, permanent shuttering systems, window frames and jambs, sanitary-system and building service and automation system conduits, valves and fittings, etc., may be mentioned as examples. Typical materials include steel, zinc-plated steel, anodized aluminium alloys, stainless steels, copper alloys, and copper and brass elements. The typical metals shown in Table 1 were included in the electrochemical investigations.

### 2.2 Electrochemical investigations

The electrochemical investigations consisted of drafting of current/potential (iV) curves (electrolysis current density/electrode-potential curves) for characterization of the corrosion behaviour of metals in specific electrolytes (**Fig. 1**). Potentiodynamic and potentiostatic residence exposure tests make it

Baumetalle kommen im Hochbau, im Ingenieurbau und in der Haustechnik mit den unterschiedlichsten Baustoffen, so auch Gipsbaustoffen, in Berührung. Als Beispiele seien Eckschutzschienen, verzinkte Befestigungs- und Verbindungsmittel, verlorene Schalungen, Fensterrahmen, Rohre und Armaturen aus dem Bereich der Sanitärtechnik und der Haustechnik genannt. Als typische Werkstoffe werden Stahl, verzinkter Stahl, eloxiertes Aluminium, nichtrostende Stähle, Kupferlegierungen, Kupfer- und Messingteile verwendet. In die elektrochemischen Untersuchungen wurden die in Tabelle 1 aufgeführten typischen Metalle einbezogen.

**2.2 Elektrochemische Untersuchungen**

Die elektrochemischen Untersuchungen umfassen die Aufstellung von Stromspannungskurven (Elektrolysestromdichte-Elektrodenpotenzial-Kurven) zur Charakterisierung des Korrosionsverhaltens von Metallen in bestimmten Elektrolyten (Bild 1). Durch potenziodynamische und potenziostatische Halteversuche ist es möglich, die Kinetik der Korrosionsreaktionen messtechnisch zu erfassen, so dass anhand des Kurvenverlaufes eine Unterscheidung von Passivität bzw. Aktivität des

possible to measure the kinetics of the corrosion reactions, with the result that the plot of the curve can be used for differentiation of the passivity or activity of the metal and for assignment to the categories of local, general or selective corrosion.

**2.3 Results of electrochemical investigations**

In this work, current/potential relationships are used in order to permit interpretation of the rates of erosion and the corrosion phenomena determined in the exposure tests. Although, due to the large number of specimens, not all conceivable metal/gypsum combinations could be studied in the exposure tests, it is nonetheless possible to derive conclusions concerning the corrosion performance of combinations not examined from the plot of the current/potential curves and the erosion data obtained in the exposure tests. These results confirmed and augmented the results obtained in the exposure tests, and have been incorporated into Table 2.

**2.4 Exposure tests**

Gypsum products used in building are exposed to the most diverse climatic conditions. It is possible, when gypsum is used

**Tabelle 2:** Abtragsraten nach 2-jähriger Lagerung (wird fortgeführt)  
**Table 2:** Rates of erosion after two years of exposure (to be continued)

Anwendungsbereich	Geheizte Gebäude mit nahezu ständiger Kondensation bzw. ständigem Wasserkontakt	Produktionsräume mit hoher Feuchtigkeit (Wäschereien, Brauereien, ...)	Geheizte Gebäude mit neutralen Atmosphären (Büros, Läden, Schulen, Hotels, ...)	Ungeheizte Gebäude, schwankende relative Luftfeuchten	Durch Ausbaumaßnahmen Ablagerung von Gipsstaub	Ungeheizte Gebäude, wo temporärer Wassertritt unvermeidbar ist
Applications	Heated buildings with practically continuous condensation and/or continuous water contact	Production rooms with high humidity (laundries, breweries, etc.)	Heated buildings with neutral atmospheres (offices, shops, schools, hotels, etc.)	Unheated buildings, fluctuating relative air humidities	Deposition of gypsum dust due to fitting-out and finishing work	Unheated buildings in which temporary influx of water is unavoidable
In dieser Arbeit untersuchte Klimate	Raumtemperatur/room temperature 20°C			Außenklima/outdoor climate		
Climates studied in this work	konstante Dauerfeuchte 100 % rel. Feuchte Constant continuous humidity 100 % rel. humidity	konstant hohe Luftfeuchtigkeit 95 % rel. Feuchte Constant high air humidity 95 % rel. humidity	konstant mittlere Luftfeuchtigkeit 75 % rel. Feuchte Constant average air humidity 75 % rel. humidity	vor Niederschlag geschützt Protected against precipitation	vor Niederschlag geschützt, mit Gipsstaub kontaminiert Protected against precipitation, contaminated with gypsum dust	Niederschlag möglich Precipitation possible
<b>Unlegierter Stahl/non-alloyed steel</b>						
Naturgips Natural gypsum						
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
<b>Senzimirverzinkter Stahl/senzimir zinc-plated steel</b>						
Naturgips Natural gypsum						
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
<b>Eloxiertes Aluminium AlMgSi0,5/anodized aluminium AlMgSi0.5</b>						
Naturgips Natural gypsum						
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)

Metalls und die Zuordnung zu lokaler, gleichmäßiger oder selektiver Korrosion möglich wird.

**2.3 Ergebnisse aus elektrochemischen Untersuchungen**

In dieser Arbeit werden Strom-Potenzial-Beziehungen eingesetzt, um eine Interpretation der in Auslagerungsversuchen ermittelten Abtragsraten und Korrosionserscheinungen zu ermöglichen. Da für die Auslagerungsversuche aufgrund der hohen Probenanzahl nicht alle möglichen Metall-Gips-Kombinationen untersucht werden konnten, kann auch anhand des Verlaufs der Strom-Potenzialkurven und der Abtragswerte der durchgeführten Auslagerungsversuche auf das Korrosionsverhalten von nicht untersuchten Kombinationen geschlossen werden. Diese Ergebnisse bestätigen und ergänzen die Ergebnisse der Auslagerungsversuche und sind in **Tabelle 2** mit eingearbeitet worden.

in new buildings, that it will dry only after a long delay period in some cases, due to the high level of general “construction moisture” still present in such buildings. Where gypsum is used, for example, in areas of structural heat bridges, or in the vicinity of water-conducting piping, there is an additional danger that, as a result of condensation of water, the gypsum and the metal embedded in it will be continuously exposed to a high level of moisture which may in extreme cases result in complete saturation of the gypsum. Not only wet/dry cycles, but also temperature fluctuations, may affect the component in such contexts. Damage and faults such as structural leaks and defective water-conducting piping may also cause saturation of gypsum components. Gypsum products are also frequently exposed for long periods to high relative air humidities when used in the sanitary sector.

**Tabelle 2: (fortgeführt)**

**Table 2: (continued)**

Anwendungsbereich	Geheizte Gebäude mit nahezu Kondensation bzw. ständigem Wasserkontakt	Produktionsräume mit hoher Feuchte (Wäschereien, Brauereien, ...)	Geheizte Gebäude mit neutralen Atmosphären (Büros, Läden, Schulen, Hotels, ...)	Ungeheizte Gebäude, schwankende relative Luftfeuchten	Durch Ausbaumaßnahmen Ablagerung von Gipsstaub	Ungeheizte Gebäude, wo temporärer Wasserzutritt unvermeidbar ist
Applications	Heated buildings with practically continuous condensation and/or continuous water contact	Production rooms with high humidity (laundries, breweries, etc.)	Heated buildings with neutral atmospheres (offices, shops, schools, hotels, etc.)	Unheated buildings, fluctuating relative air humidities	Deposition of gypsum dust due to fitting-out and finishing work	Unheated buildings in which temporary influx of water is unavoidable
In dieser Arbeit untersuchte Klimate	Raumtemperatur/room temperature 20 °C			Außenklima/outdoor climate		
Climates studied in this work	konstante Dauerfeuchte 100 % rel. Feuchte Constant continuous humidity 100 % rel. humidity	konstant hohe Luftfeuchtigkeit 95 % rel. Feuchte Constant high air humidity 95% rel. humidity	konstant mittlere Luftfeuchtigkeit 75 % rel. Feuchte Constant average air humidity 75 % rel. humidity	vor Niederschlag geschützt Protected against precipitation	vor Niederschlag geschützt, mit Gipsstaub kontaminiert Protected against precipitation, contaminated with gypsum dust	Niederschlag möglich Precipitation possible

**Nichtrostender Stahl 1.4301/stainless steel 1.4301**

Naturgips Natural gypsum						
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>	1)	1)	1)	1)	1)	1)

**Reinkupfer/pure copper**

Naturgips Natural gypsum						
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)

**Zinkreiches Messing CuZn39Pb2/High-zinc brass CuZn39Pb2**

Naturgips Natural gypsum			sehr geringe optische Veränderungen extremely slight visual changes	sehr geringe optische Veränderungen extremely slight visual changes		
Naturgips + Ca(OH) <sub>2</sub> Natural gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle FGD (coal) gypsum		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Steinkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (coal) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)
REA-Braunkohle FGD (lignite) gypsum						
REA-Braunkohle + Ca(OH) <sub>2</sub> FGD (lignite) gypsum + Ca(OH) <sub>2</sub>		1)	1)	1)	1)	1)

<sup>1)</sup> Keine Auslagerungsversuche durchgeführt, Einschätzung anhand aller Untersuchungsergebnisse (inkl. Elektrochemie)  
No exposure tests performed, estimation based on totality of all investigation results (incl. electrochemistry)

Abtragsraten: Erosion rates:						
Basis: Abtrag nach 2 Jahren Auslagerung Erosion after two years of exposure	> 50 µm/a	15 bis/to 50 µm/a	5 bis/to 15 µm/a	1 bis/to 5 µm/a	< 1 µm/a optische Beeinträchtigungen möglich visual phenomena possible	< 1 µm/a keine optischen Beeinträchtigungen zu erwarten visual phenomena not likely



**2** Auslagerung der Probekörper in Klimakisten über gesättigter NaCl-Lösung (konst. 75 % rel. Feuchte) bzw. über gesättigter KCl-Lösung (konst. 95 % rel. Feuchte) bei 20 °C  
**2** Exposure of specimens in climatic cabinets over saturated NaCl solution (const. 75 % rel. humidity) and over saturated KCl solution (const. 95 % rel. humidity) at 20 °C

## 2.4 Auslagerungsversuche

Gipsprodukte sind im Bauwesen den unterschiedlichsten klimatischen Bedingungen ausgesetzt. Bei Verwendung in neu erstellten Bauwerken besteht die Möglichkeit, dass Gips aufgrund noch vorhandener hoher Baufeuchte teilweise nur stark verzögert austrocknet. Bei Verwendung von Gips z.B. in Bereichen von baulichen Wärmebrücken oder wasserführenden Installationsleitungen besteht zudem die Gefahr, dass durch Kondenswasserbildung Gips und das darin eingebettete Metall unter einer ständig hohen Feuchtebelastung stehen, die im Extremfall zum vollständigen Durchnässen des Gipses führen kann. Dabei können neben Feucht-Trocken-Wechsel auch Temperaturschwankungen auf das Bauteil einwirken. Schadensfälle, wie Bauwerksundichtigkeiten oder schadhafte wasserführende Installationsleitungen, können ebenfalls zu einer Durchnässung von Bauteilen aus Gips führen. Auch bei einer Anwendung im Sanitärbereich sind Gipsprodukte häufig hohen relativen Luftfeuchten über längere Zeiträume ausgesetzt.

Um alle diese Bedingungen abzubilden, wurden Auslagerungsversuche in 3 Klimaten bei konstant 20 °C mit konstanter Dauerfeuchte (100 % rel. Feuchte), konstant hoher Luftfeuchtigkeit (95% rel. Feuchte) und konstant mittlerer Luftfeuchtigkeit (75 % rel. Feuchte) durchgeführt und die Abtragsraten an einheitlich dimensionierten Blechen bestimmt. Hierzu wurden die Bleche vollständig in Gips eingebettet. Diese Versuchsreihen bilden die Innenraumbedingungen ab, die unter ungünstigen oder extremen Bedingungen herrschen. Als Behaglichkeitsbereich empfiehlt das Umweltbundesamt für Wohnräume Luftfeuchten zwischen 30 % rel. Feuchte und 60 % rel. Feuchte. Um auch Wechsel in der Feuchtigkeit und Temperaturschwankungen abzubilden, wurden in Gips eingebettete und mit Gips beaufschlagte Metalle vor Niederschlag geschützt im Außenbereich gelagert. Eine weitere Versuchsreihe umfasste die Lagerung unter Einfluss von Niederschlägen.

Zu allen geprüften Metallen wurden Nullproben ohne Gips zum Vergleich untersucht. Insgesamt wurden 742 Probekörper hergestellt, davon 580 vollständig in Gips eingebettete, 72 mit Gipsstaub beaufschlagte Bleche und 90 Bleche als Referenz (**Bilder 2, 3**). Die Auswertung der Abtragsraten erfolgte jeweils nach 3 und nach 24 Monaten.



**3** Auslagerung der Probekörper an ungeschützter Atmosphäre auf dem Dach des Otto-Graf-Instituts, Universität Stuttgart,  
**3** Exposure of specimens in an unprotected atmosphere on the roof of the Otto-Graf-Institut, University of Stuttgart

In order to simulate all these conditions, exposure tests were performed in three different climates at a constant 20 °C with a constant and continuous humidity (100 % rel. humidity), constant high air humidity (95 % rel. humidity) and constant medium air humidity (75 % rel. humidity) and the rates of erosion measured on metal sheets of identical standard dimensions. The sheets were embedded totally in gypsum for this purpose. These series of tests simulate the interior conditions which may prevail under unfavourable and extreme circumstances. The Umweltbundesamt (Federal German Environmental Bureau) recommends air humidity levels of between 30 % rel. humidity and 60 % rel. humidity as “comfortable” for residential rooms. In order also to simulate the cycles of moisture and temperature fluctuations, metals embedded in gypsum and dusted with gypsum powder were stored outdoors but protected against precipitation. A further series of tests included storage under exposure to precipitation.

Control specimens with no gypsum contact were treated and studied in parallel for control purposes for all the metals examined. A total of 742 test objects, of which 580 were completely embedded in gypsum, 72 only dusted with gypsum powder, and 90 left in the form of “virginal” sheets for reference purpose, were prepared (**Figs. 2, 3**). Evaluation of rates of erosion was performed in each case after three and after 24 months.

## 3 Results

The results of these extensive corrosion-behaviour tests are summarized in Table 2. The results obtained for short-term effects (exposure after three months) are not shown here, due to their relatively low relevance for practical applications.

In non-alloyed steel, pronounced corrosive attack was observed at high moisture (humidity) levels. Under conditions approximating to practice, alkalization of the gypsums exhibited virtually no corrosion-inhibiting influence on the embedded steel sheets. Non-alloyed steel is attacked, with significant production of ferrous rust, even when the steel sheets are simply sprinkled with gypsum powder. A high chloride content, in the FGD gypsum examined, in this case, can result in prolongation of corrosive action which, in the relative air-humidity ranges rel-

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der umfangreichen Korrosionsversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Aufgrund der geringeren Bedeutung für die Praxis wird auf die Darstellung der Kurzzeiteffekte (Auslagerung nach 3 Monaten) an dieser Stelle verzichtet.

Bei unlegiertem Stahl wurde bei hohen Feuchten ein ausgeprägter Korrosionsangriff beobachtet. Eine Alkalisierung der Gipse hat bei praxisnahen Bedingungen nahezu keinen korrosionshemmenden Einfluss auf die eingebetteten Stahlbleche. Bereits bei Beaufschlagung der Stahlbleche nur mit Gipsstaub wird unlegierter Stahl unter erheblicher Rotrostbildung angegriffen. Ein hoher Chloridgehalt, hier beim untersuchten REA-Gips, kann zu einer Verlängerung der Korrosionswirkung führen, die in praxisrelevanten relativen Luftfeuchten im Allgemeinen nach spätestens 3 Monaten nahezu zum Stillstand kommt.

Bei verzinktem Stahl ist im Vergleich zu unverzinktem Stahl ein meist deutlich geringerer Abtrag vorhanden. Bei relativen Luftfeuchten  $\leq 75\%$  und bei ausbleibender Wasserzufuhr in flüssiger Form sind bei in allen untersuchten Stuckgipsen eingebetteten oder mit Gipsstaub beaufschlagten sendzimirverzinkten Stählen nur geringe Abtragsraten von maximal  $1,5 \mu\text{m/a}$  festzustellen. Bei ständig hohen relativen Luftfeuchten wird die Sendzimirverzinkung i. A. gleichmäßig abgetragen.

Eloxiertes Aluminium AlMgSi<sub>0,5</sub> ist in nicht alkalisierendem Gips unter praxisnahen Bedingungen sehr beständig. Wenn keine Dauerfeuchte vorhanden ist, zeigt eloxiertes Aluminium AlMgSi<sub>0,5</sub> auch optisch keine Beeinträchtigungen. Als Korrosionsprodukt entstand in alkalisierendem Gipsen unter Bedingungen mit erschwelter Gasdiffusion primär eine aus Ettringit bestehende Deckschicht, die nach zunächst starker Aluminiumpulverlösung die weitere Korrosion hemmte. Aufgrund der raschen Carbonatisierung der Gipse und der korrosionshemmenden Eigenschaften der Ettringitschicht geht die Korrosionsgeschwindigkeit in alkalisierendem Gipsen rasch zurück. Bei verletzter Eloxalschicht ist kein verstärkter Korrosionsangriff zu erwarten. Alle im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Versuche mit anodisch oxidiertem Aluminium AlMgSi<sub>0,5</sub> zeigten im Bereich der absichtlich zugefügten Beschädigungen keinen verstärkten Angriff und waren in diesem Bereich auch optisch nicht verändert. Somit ist auch in Gipsen ein ausreichender Schutz durch die sich schnell ausbildende natürliche Oxidschicht vorhanden.

Nichtrostender Stahl ist in allen untersuchten Gipsen und Klimaten beständig. Es konnte in keinem der zahlreichen Untersuchungen Korrosionserscheinungen festgestellt werden. Aufgrund der über die gesamte Auslagerungsdauer hohen Ruhepotenziale, die sich alle im positiven Bereich befanden, kann auch bei längerer Auslagerung ein Korrosionsangriff ausgeschlossen werden.

Bei Reinkupfer werden in den für die praktische Anwendung von Gipsbaustoffen relevanten Klimaten nur sehr geringe Korrosionserscheinungen festgestellt, die meist nur zur Verfärbung der Oberfläche führen. Diese optischen Beeinträchtigungen können durch die ungleichmäßig verteilten, farblichen Veränderungen der Metalloberfläche stark ausgeprägt sein, die Abtragsraten sind mit Werten kleiner  $1 \mu\text{m/a}$  jedoch außerordentlich gering.

evant for practical purposes, is normally effectively concluded after a maximum of three months.

Zinc-plated steel generally exhibits significantly lower erosion than non-zinc-plated steel. At relative air humidities  $\leq 75\%$ , and in the absence of a supply of water in liquid form, only low rates of erosion, of a maximum of  $1.5 \mu\text{m/a}$ , are observable on any of these Sendzimir zinc-plated steels embedded in lump gypsums or sprinkled with gypsum dust. At continuously high relative air humidities, the Sendzimir-plated zinc layer is generally uniformly eroded.

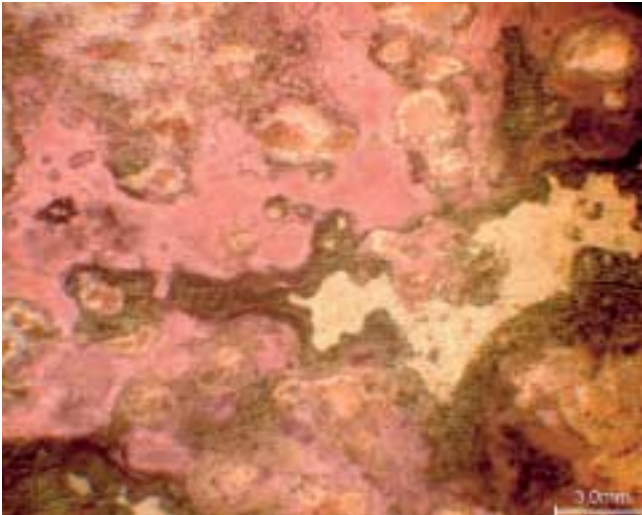
Anodized aluminium AlMgSi<sub>0.5</sub> is extremely resistant under conditions approximating closely to practice in non-alkalized gypsum. Nor, indeed, does anodized aluminium AlMgSi<sub>0.5</sub> even exhibit any visual changes if there is no continuous presence of moisture. The corrosion product generated in alkalinized gypsums under conditions involving poorer gas diffusion was primarily a covering layer consisting of ettringite and inhibiting further corrosion after an initially pronounced dissolution of aluminium. The rate of corrosion declines quickly in alkalinized gypsums as a result of the rapid carbonatization of the gypsums and the corrosion-inhibiting properties of the ettringite layer. No more severe corrosive attack need be anticipated if the eloxal layer is damaged. None of the tests performed with anodically oxidized (= anodized) aluminium AlMgSi<sub>0.5</sub> in the context of this work exhibited more pronounced corrosive attack in the vicinity of deliberately inflicted damage, nor did they manifest even merely visual abnormalities in this region. The rapidly forming natural oxide layer thus obviously provides adequate protection even in gypsums.

Stainless steel is resistant in all the gypsums and all the climates investigated. Corrosion phenomena were not observed on this material in any of the numerous tests. Corrosive attack can be excluded for this material, even under prolonged exposure, due to the high open-circuit potentials, which were all in the positive range, throughout the entire exposure period.

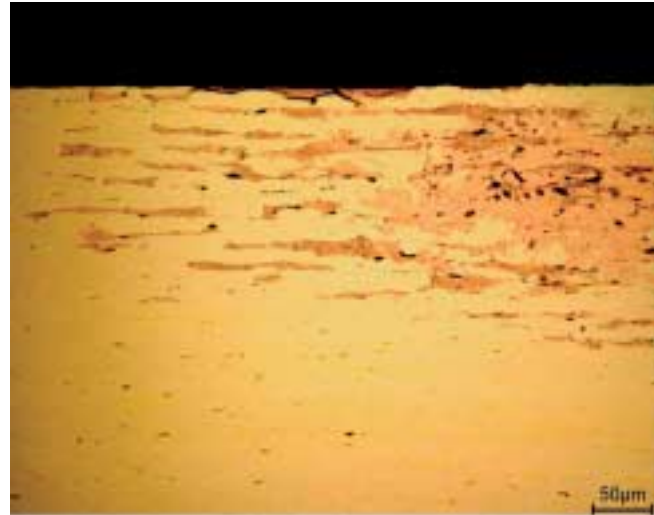
In the case of pure copper, only extremely slight corrosion phenomena, which in general only cause superficial discolouration, are observed in the climates relevant for practical utilization of gypsum building materials. These visual modifications may be extremely pronounced, due to the unevenly distributed changes in colour on the surface of a metal, but rates of erosion are extraordinarily low, at less than  $1 \mu\text{m/a}$ .

High-zinc brass CuZn39Pb2 is susceptible to zinc segregation upon contact with gypsum, with the consequence of reddening of the surfacing in the area affected, which is only pronounced at higher relative humidities ( $> 75\%$ ; **Fig. 4**). All in all, the weight losses caused by corrosion are, in all the brass/gypsum/climate combinations examined in this work, low to extremely low, whereas the visual phenomena are in some cases highly conspicuous.

The influence of alkalinity is detectable only in some instances. In brass, calcium hydroxozincate ( $\text{Ca}(\text{Zn}(\text{OH})_3)_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ) forms on the surfaces in case of exposure at  $100\%$  relative air humidity, ettringite ( $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \times 26 \text{H}_2\text{O}$ ) on aluminium (**Fig. 5**). These minerals are capable of forming only under continuous exposure to a high pH ( $> 12$ ), i. e., under conditions of prolonged retardation of drying.



4 Entzinkung bei zinkreichem Messing CuZn39Pb2 nach Entfernung des Stuckgipses REA-Braunkohle, Auslagerung 24 Monate bei 95 % relativer Luftfeuchte (links: Oberfläche; rechts: Dünnschliff durch Messingblech)



4 In case of high-zinc brass (CuZn39Pb2) dezincification after removal of the plaster (lignite FGD). 24 months stored at a relative air humidity of 95 % (left: surface; right: thin section through brass sheet)

Zinkreiches Messing CuZn39Pb2 ist bei Kontakt mit Gips anfällig gegenüber Entzinkung, was eine Rotfärbung der Oberfläche im betroffenen Bereich zur Folge hat, die nur bei höheren relativen Luftfeuchten (> 75 %) stärker ausgeprägt ist (**Bild 4**). Insgesamt ist der aufgrund der Korrosion gemessene Gewichtsverlust bei allen in dieser Arbeit untersuchten Messing-Gips-Klimat Kombinationen gering bis sehr gering, die optischen Beeinträchtigungen sind jedoch teilweise erheblich.

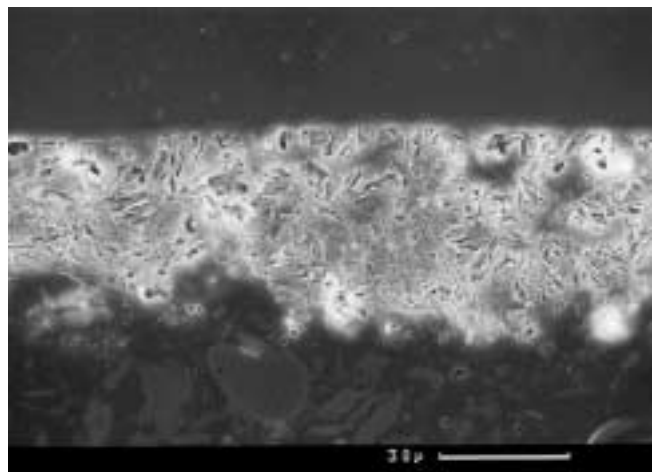
Der Einfluss der Alkalität ist nur zum Teil feststellbar. Bei Auslagerung bei 100 % relativer Luftfeuchte bilden sich bei Messing Calciumhydroxozinkat ( $\text{Ca}(\text{Zn}(\text{OH})_3)_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ ) bzw. bei Aluminium Ettringit  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \times 26 \text{H}_2\text{O}$  (**Bild 5**) auf den Oberflächen. Diese Mineralien konnten sich nur bei dauernd einwirkendem hohem pH-Wert > 12, also bei länger behinderter Austrocknung bilden.

#### 4 Schlussfolgerungen

Das Korrosionsverhalten von heute gebräuchlichen Baumaterialien (unlegierter Stahl, sendzimirverzinkter Stahl, eloxiertes und nicht eloxiertes Aluminium AlMgSi0,5, nichtrostender Stahl 1.4301, Reinkupfer sowie zinkreiches Messing CuZn39Pb2) in Kontakt mit modernen Gipsbaustoffen aus Naturgips und REA-Gips aus Braunkohle- und Steinkohlekraftwerken wurde in einem durch die AiF geförderten Forschungsvorhaben der Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. mittels elektrochemischer Untersuchungen und Auslagerungsversuche zur Charakterisierung der Korrosionsmechanismen und -effekte untersucht. Verzinkter Stahl zeigt in alkalisch eingestellten Gipsen bei pH-Werten  $\geq 12$  ein ähnliches Korrosionsverhalten wie in Beton, wobei sich Calciumhydroxozinkat bildet, das die weitere Zinkauflösung hemmt. Diese Wirkung lässt mit zunehmender Carbonatisierung, also mit abnehmendem pH-Wert, nach und die Zinkschicht löst sich bestimmungsgemäß auf (**Bild 6**). Einige Metalle wie Kupfer und Messing zeigen ausgeprägte optische Beeinträchtigungen, die tatsächlich aber nur geringen Abtragsraten durch Korrosion entsprechen. Erwartungsgemäß wird nichtrostender Stahl von Gips nicht angegriffen. Das höchste Korrosionspotenzial weist dagegen unlegierter Stahl auf. Insgesamt konnten leichte Unterschiede

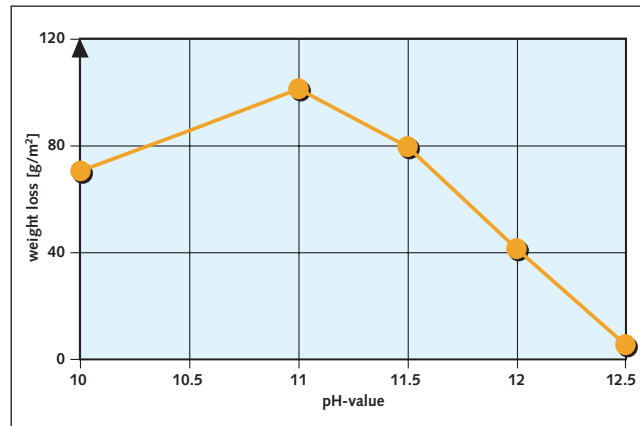
#### 4 Conclusions

The corrosion behaviour of the building metals in widespread present-day use (non-alloyed and Sendzimir zinc-plated steel, anodized and non-anodized aluminium AlMgSi0.5, stainless steel 1.4301, pure copper and high-zinc brass CuZn39Pb2) in contact with modern gypsum building materials consisting of natural and FGD gypsum from lignite- and coal-fired power generating plants has been studied in the context of a Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. (Gypsum Industry Research Association) research project sponsored by the AiF. Electrochemical investigations and exposure tests were performed for the purpose of characterization of the relevant corrosion mechanisms and effects. In alkaline-adjusted plaster at a pH  $\geq 12$ , zinc-plated steel exhibits a corrosion performance similar to that in concrete, with formation of calcium hydroxozincate, which inhibits further dissolution of zinc. This effect declines as carbonatization increases, i. e., as pH falls, and the layer of zinc dissolves, as intended (**Fig. 6**). Some metals, such as copper and brass, manifest pronounced superficial changes



5 Schliff durch die Ettringit-Schicht (REM) auf nicht eloxiertem Aluminium (in alkalinisiertem Stuckgips Naturgips)  
5 Thin section through the ettringite layer (SEM) on non-anodized aluminium (in alkalinized plaster, gypsum)

in Abhängigkeit vom Chloridgehalt der untersuchten Gipse festgestellt werden, wobei ein höherer Gehalt an Chlorid stärkere Abtragsraten bzw. ausgeprägtere optische Beeinträchtigungen zur Folge hat. In Klimaten, in denen Gipsprodukte vor allem Anwendung finden (relative Luftfeuchten < 75 %) war bei allen untersuchten Metallen nur ein geringer korrosionsbedingter Abtrag messbar. Durch Verwendung von gezielt abgestimmten Gips-Metall-Kombinationen ist eine sachgerechte Anwendung ohne Korrosionsschäden und damit verbundenen Sanierungskosten auch in stärker belasteten Anwendungsbereichen möglich.



6 Masseverlust von sendzimirverzinktem Stahl in sulfathaltigen Lösungen 3,00 g/l  $\text{CaSO}_4$  in Abhängigkeit vom pH-Wert (nach Durchführung der elektrochemischen Untersuchungen zum Einfluss des Sulfats)

6 Weight loss of Sendzimir-processed steel in sulphate-containing solutions of 3.00 g/l  $\text{CaSO}_4$  as a function of the pH value (after carrying out the electrochemical investigations regarding the influence of the sulphate)

### Danksagung

Aufgrund der Bedeutung für kleine und mittlere Unternehmen wurde dieses Forschungsvorhaben aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Gemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. (AiF) unter der Vorhabensnummer 12976 N finanziell gefördert. Die Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V., Mitglied der AiF, hat hierzu das Otto-Graf-Institut der Materialprüfanstalt der Universität Stuttgart (Institutsleitung Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt; Projektleitung Prof. Dr.-Ing. U. Nürnberger) mit der Durchführung der Untersuchungen beauftragt, die in der Zeit vom 01.08.2001 bis 31.01.2004 durchgeführt wurden. Das Forschungsziel, dem Baugewerbe Informationen zu geeigneten Werkstoffen in Kontakt mit Gips zur Optimierung der Werkstoffauswahl zur Verfügung zu stellen, wurde aus der Sicht aller Beteiligten erreicht.

### Literaturverzeichnis/Literature

- [1] Nürnberger, U.: Korrosionsverhalten von feuerverzinktem Stahl bei Berührung mit Baustoffen, Werkstoffe und Korrosion 37 (1986), pp. 302–309.

which, in reality, reflect only low rates of corrosion erosion. As expected, stainless steel is not attacked by gypsum. Non-alloyed steel, on the other hand, has the highest corrosion potential. Slight differences were observed, all in all, as a function of the chloride contents of the gypsums studied, in which context a higher chloride content resulted in greater rates of erosion or more pronounced visual detraction, respectively. In the climates in which gypsum products are mainly used (with relative air humidities of < 75 %), only a slight corrosion-induced rate of erosion was measured in any of the metals investigated. The use of systematically matched gypsum/metal combinations

makes safe selection and use possible without corrosion damage, and thus without the associated costs for repair, etc., even in severely exposed applications and regions.

### Acknowledgement

This research project, in view of its significance for small and medium enterprises, received the financial support from the “Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)” via the “Gemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen “Otto von Guericke” e.V. (AiF)” under Project Number 12976 N. The Forschungsvereinigung der Gipsindustrie e.V. (Gypsum Industry Research Association), a member of the AiF, commissioned the Otto-Graf-Institut within the University of Stuttgart Materials Testing Institute (Head of Institute: Prof. Dr.-Ing. H.-W. Reinhardt; Head of Project: Prof. Dr.-Ing. U. Nürnberger) for performance of the investigations, which were conducted from August 1, 2001 to January 31, 2004. In the opinion of all participants, the stated research target, i.e., the provision of information for the building industry concerning materials suitable for contact with gypsum, with a view to optimizing materials selection, has been achieved.