

**WUFI®**

# **Leitfaden zur Bewertung des Korrosionsrisikos mit WUFI® Corr**

**Stand: Januar 2024**

## Grundlagen

- Korrosionsursache..... [Folie 3](#)
- Korrosionsrate..... [Folie 4](#)
- Korrosionsmechanismus..... [Folie 5](#)

## Dreistufiges Bewertungsverfahren

- Beschreibung der Stufen..... [Folie 7](#)

## WUFI® Corr

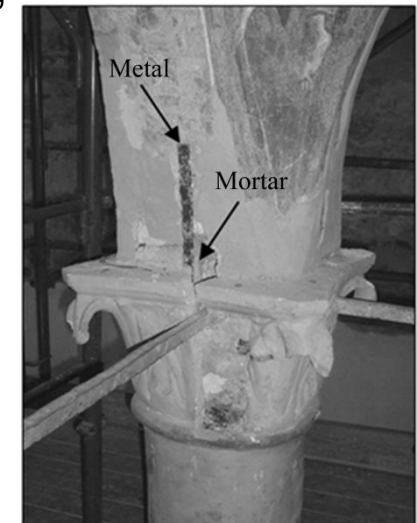
- Modellbeschreibung..... [Folie 11](#)
- Versuchsdaten..... [Folie 12](#)
- Untersuchungsergebnisse..... [Folie 13](#)
- Berechnungsmodell..... [Folie 14](#)
- Eingabedaten..... [Folie 16](#)
- Bewertung der Ergebnisse..... [Folie 19](#)
- Beurteilung der Ergebnisse..... [Folie 21](#)

## Beispiele..... [Folie 22](#)

- A: Ungedämmte Außenwand mit Stahlanker..... [Folie 23](#)
- B: Innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker..... [Folie 41](#)

## Korrosion von metallischen Befestigungsmitteln:

- Häufig Ursache von Schäden an alten Gebäuden
  - **Korrosion** kann stattfinden, wenn die **Metalloberfläche mit Feuchtigkeit in Verbindung kommt** (z.B. Kondensat, Regenwasser, aufsteigende Feuchte).  
**Ausnahme:** Metall ist durch die Alkalität der Umgebung geschützt.
  - Korrosion kann **Metall schwächen** und **Oxide erzeugen**, die sich ausdehnen und zur Ablösung der Deckschicht führen
- **Nachteilig für die Dauerhaftigkeit** der Konstruktion
- Herausforderung für die Sanierung!
- Möglichkeiten:** Begrenzung der Korrosionsrate durch Steuerung der Temperatur- und Feuchteverhältnisse im Bauteil oder in der Raumluft.



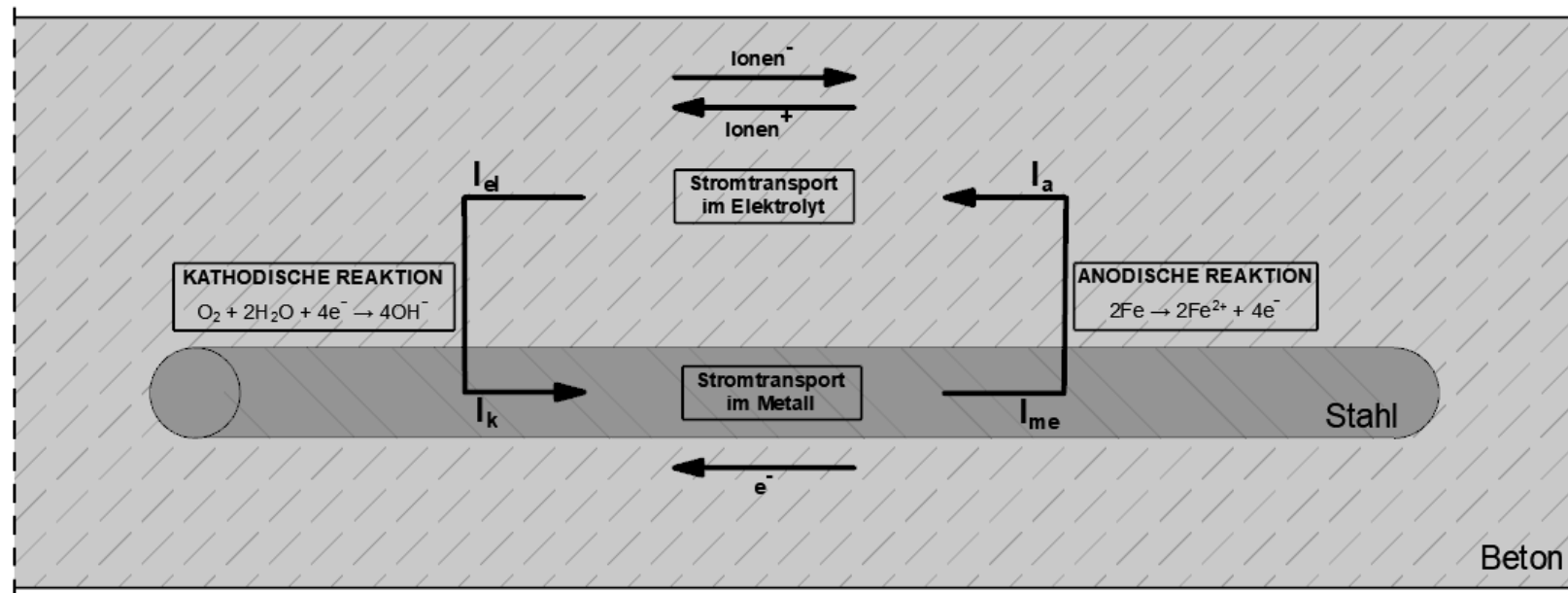
## Korrosionsverhalten von eingebetteten Metallen:

- Ist abhängig vom Metall selbst und vom Material, mit dem es im Kontakt steht sowie dessen Wassergehalt.
- Wird **beeinflusst durch die Mikrostruktur des einbettenden Materials** und die **chemische Zusammensetzung der Porenwasserlösung**.
- Korrosionsrate abhängig vom Vorhandensein von Wasser und Sauerstoff in den Poren des einbettenden Materials nahe der Metalloberfläche.
- **Temperatur und relative Feuchte** der Umgebung **beeinflussen** den **elektrischen Widerstand** des Baumaterials und damit auch die **Korrosionsrate**.

**Allgemein:** Je niedriger der Wassergehalt, desto höher der elektrische Widerstand der Materialien und desto geringer die Korrosionsrate des Metalls.

# Grundlagen: Korrosionsmechanismus

- **Kreislauf des Korrosionsprozesses**, in dem vier Teilprozesse gleichzeitig auftreten und in derselben Geschwindigkeit ablaufen müssen. → die **Korrosionsrate** wird **von der langsamsten Teilreaktion bestimmt**.
- Die elektrische Leitung im Metall ist immer sehr schnell und wirkt daher nie begrenzend. Die drei anderen Reaktionen können sehr langsam ablaufen und daher begrenzende Reaktion werden.



Die **Korrosionsrate bleibt sehr gering**, wenn eine der **folgenden Voraussetzungen erfüllt** ist:

- Die **anodische Reaktion ist langsam**, weil die Bewehrung passiviert ist, z.B. wenn Metall in Kontakt mit alkalischem oder nicht-karbonatisiertem Mörtel / Beton ist (bei alten Konstruktionen ungewöhnlich).
- Die **kathodische Reaktion ist langsam**, weil die Geschwindigkeit, mit der der Sauerstoff die Metalloberfläche erreicht, gering ist, z.B. wenn die Poren des Umschließungsmaterials dauerhaft mit Wasser gesättigt sind (bei Gebäuden selten).
- Der **elektrische Widerstand** des einbettenden Materials **ist hoch**, z.B. bei Bauteilen, die einer trockenen Umgebung mit einer geringen relativen Luftfeuchte ausgesetzt sind.

# Dreistufiges Bewertungsverfahren

---

Zur Beurteilung des Korrosionsrisikos von Bewehrung in karbonatisiertem Mörtel / Beton, Kalkmörtel und Gips werden die Temperatur- und Feuchtebedingungen in der Konstruktion in der Ebene des eingebetteten Stahls mit Hilfe von hygrothermischen Simulationen ermittelt und dann nach folgenden Stufen bewertet:

## **Stufe I:**

Bewertung anhand der Grenzfeuchte, unter der keine Korrosion zu erwarten ist

## **Stufe II:**

Bewertung mit Hilfe einer temperatur- und feuchteabhängigen Grenzkurve

## **Stufe III:**

Bewertung des zeitlichen Korrosionsverhaltens abhängig von den Korrosionsbedingungen und Bindemitteltypen

## Stufe I:

Feuchte in der Ebene des Stahls

< 80 % r.F. für karbonatisierten Beton

< 60 % r.F. für nicht zementgebundene Einbettungsmaterialien

Hier wird die untere Grenzfeuchte verwendet, unter der keine Korrosion zu erwarten ist. Diese beträgt für karbonatisierten Beton 80 % r.F. (NAVE-Bericht 2023). Für andere, nicht zementgebundene Einbettungsmaterialien liegt der Grenzwert bei 60 % r.F. (ISO 13788:2013).

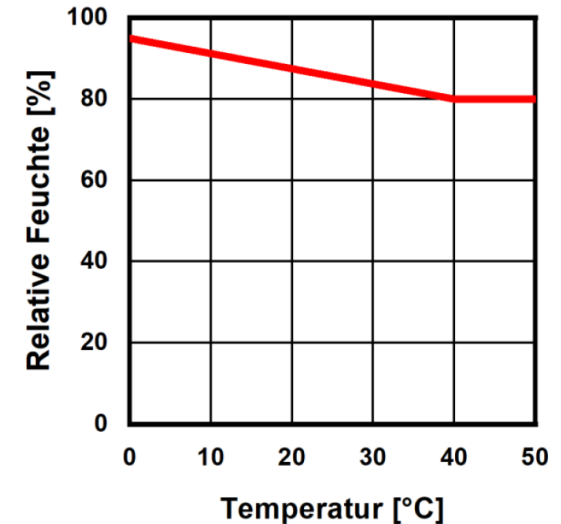
Diese Kriterien liegen deutlich auf der sicheren Seite. Werden die Grenzwerte nicht eingehalten, so kann eine detailliertere Bemessung für Gips, Kalk und karbonatisierten Beton / Mörtel nach Stufe II oder Stufe III erfolgen. Für andere Einbettungsmaterialien liegen derzeit noch keine genauen Informationen zur Korrosion abhängig von der Temperatur und Feuchte im Bereich des Stahls vor.



## Stufe II:

Die stündlichen Werte müssen unter der temperatur- und feuchteabhängigen Grenzkurve bleiben

$$f(\vartheta) = \begin{cases} -0,375\vartheta + 95, & 0^\circ\text{C} < \vartheta < 40^\circ\text{C} \\ 80 & \vartheta \geq 40^\circ\text{C} \end{cases} \quad [\%]$$

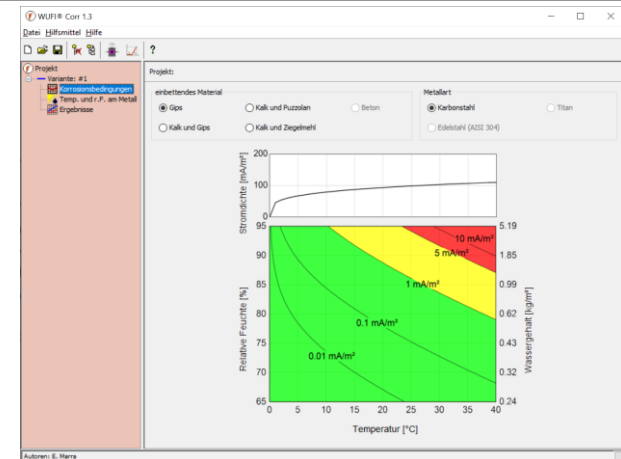


In der Bewertungsstufe II wird die Bewertung des Korrosionsrisikos in karbonatisiertem Mörtel / Beton, Kalkmörtel und Gips in der Bewehrungsebene über eine temperatur- und feuchteabhängige Grenzkurve nach der oberen Gleichung durchgeführt. Diese Grenzkurve stellt eine auf der sicheren Seite liegende Vereinfachung des Übergangs in den kritischen (gelben) Bereich der Korrosionskarten für Beton in Stufe III dar. Liegen die stündlichen Werte unter der Grenzkurve ist keine Korrosion zu erwarten, für Werte über der Grenzkurve liegen Korrosionsbedingungen vor und es ist zu empfehlen, eine detailliertere Auswertung mit Stufe III durchzuführen.

# Dreistufiges Bewertungsverfahren

## Stufe III:

Ermittlung des zeitlichen Korrosionsverhaltens mit Hilfe von Korrosionskarten



In Stufe III wird die Bewertung des Korrosionsrisikos in karbonatisiertem Mörtel / Beton, Kalkmörtel und Gips in der Bewehrungsebene abhängig von den Korrosionsbedingungen und Bindemitteltypen (mit Hilfe von Korrosionskarten) durchgeführt und so das zeitliche Korrosionsverhalten des Stahls ermittelt. Dis kann über den Postprozessor WUFI® Corr geschehen, welcher auf den folgenden Folien beschrieben wird.

Ampelsystem zur Bewertung	$I_{\text{corr}}$ [mA/m <sup>2</sup> ]	Abtrag [µm/25Jahre]
		≤ 1
	≤ 5	≤ 150 µm
	> 5	> 150 µm

- Das Korrosionsmodell beschreibt den **Einfluss von umwelt- und materialbedingten Faktoren auf die Korrosion von Metall** in Baumaterialien in Abhängigkeit von den bauphysikalischen Größen.
- Es dient zur **Vorhersage des zeitlichen Verlaufs der Korrosionsrate** von Metall in porösen Materialien in Abhängigkeit von der Temperatur und relativen Feuchte an der Metalloberfläche.
- Das Modell erlaubt:
  - Präventive Konservierung / Restaurierung (von denkmalgeschützten Gebäuden)
  - Sichere Auslegung (von neuen Bauteilen)
  - Bewertung des Erhaltungszustands (falls die Entnahme von Materialproben nicht möglich ist)
  - Planung von Maßnahmen, welche die Korrosion von Metall reduzieren / unterbinden

**Download-Link:** [WUFI® Zusatzprogramme | WUFI \(de\)](#)

- Das Modell basiert auf **Laborversuchen**, deren **Schwerpunkt** hauptsächlich auf **denkmalgeschützten Gebäuden und Materialien** lag.
- Vorhersage von Korrosion in Mörtel und Ziegelsteinen möglich.
- Folgende **vier Mörtelarten** wurden betrachtet:
  - Zwei Mörtel mit nichthydraulischen Bindemitteln:  
Gips und eine Mischung aus Kalk und Gips
  - Zwei Mörtel mit hydraulischen Bindemitteln:  
Kalk vermischt mit zwei verschiedenen Arten von hydraulischen Zusätzen: Puzzolan (vulkanische Mineralstoffe) und Ziegelmehl (zerkleinerte Ziegel)
- Die Untersuchungen wurden in **zwei Feuchtebereiche** unterteilt:
  - Der erste Bereich deckt die Feuchte bis zum Sorptionsgleichgewicht bei 95 % relative Feuchte ab (hygroskopischer Bereich).
  - Der zweite Bereich deckt die Sättigung ab.

- Beim Korrosionsverhalten von Metall in Mauerwerk spielen **Temperatur, relative Feuchte und Wassergehalt** eine **entscheidende Rolle**.
- **Klarer Zusammenhang zwischen** der **Korrosionsrate** von Metall **und dem elektrischen Widerstand** des Einbettungsmaterials  
→ je niedriger der Widerstand des Einbettungsmaterials, desto höher die Korrosionsrate des Metalls.
- Der elektrische Widerstand lässt sich auf die Temperatur und die relative Feuchte der Umgebung zurückführen  
→ Korrelation zwischen der Korrosionsrate und den hygrothermischen Umgebungsbedingungen.
- Korrosionsrate besonders gering bei einer relativen Feuchte von 65 % und 80 % (sogar beim 40 °C).
- Korrosionsraten in feuchter Umgebung oder bei flüssigem Wasser erreichen dagegen relativ hohe Werte.

- Hygroskopischer Feuchtebereich (bis 95 % r.F.):

- Exponentielle Beziehung zwischen Korrosionsrate, Temperatur und relativer Feuchte.

$$i_{corr,1} = d_1 \mathcal{G} \cdot e^{(a_1 \cdot \mathcal{G} + b_1 \cdot RH + c_1)} \quad (1)$$

- Sättigung (bei teilweisem Eintauchen):

- Potenz-Beziehung zwischen Korrosionsrate und Temperatur

$$i_{corr,sat} = a_{sat} \cdot \mathcal{G}^{b_{sat}} \quad (2)$$

Wenn die lokale Temperatur 0 °C erreicht, sinkt die Korrosionsrate auf null!

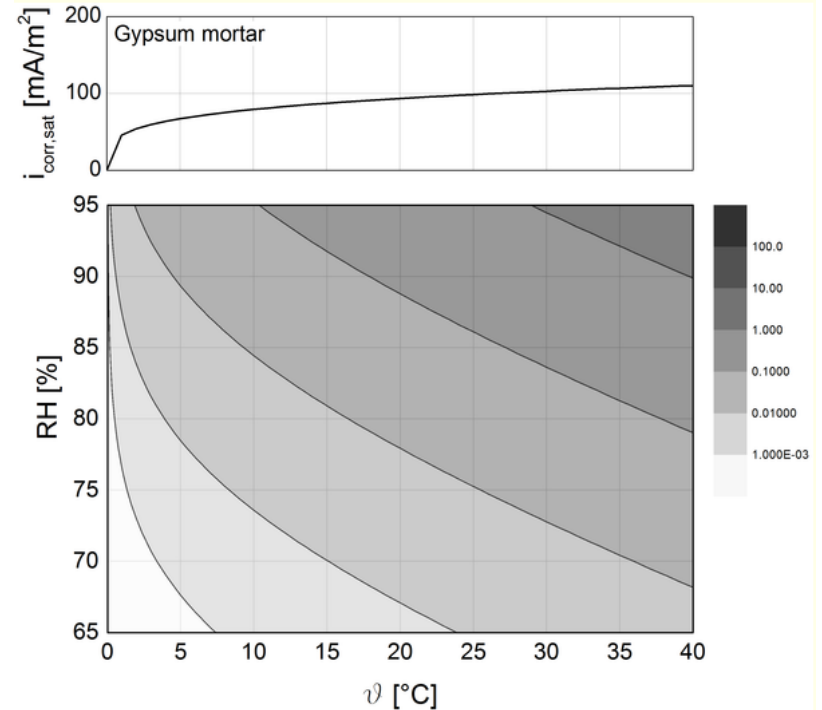
- Kapillarwasserbereich (95 bis 100 % r.F.)

- Mathematischer Ansatz, da eine genaue Bestimmung des Feuchtegehalts schwer möglich ist.

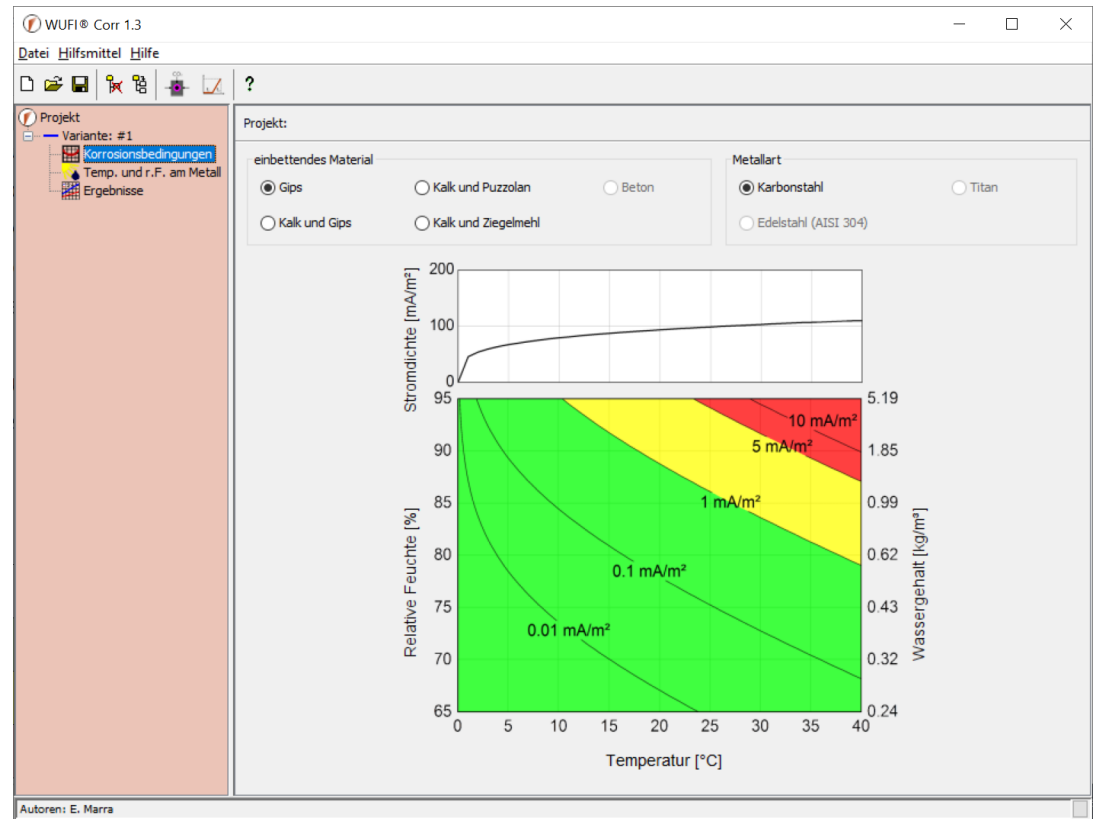
$$i_{corr,2} = i_{corr,sat} \cdot \frac{(k - 100) \cdot RH}{k - RH} \cdot \frac{1}{100} \quad (3)$$

$$k = a_2 \cdot \mathcal{G}^{b_2} + c_2 \quad (4)$$

- Für jedes Material wurde mit Hilfe von Gleichung (1) eine Korrosionskarte erstellt.
- Auf der x- und y-Achse sind die Temperatur und die relative Feuchte aufgetragen. Die Isolinien in verschiedenen Graustufen stellen die Korrosionsrate in logarithmischem Maßstab dar. Der Diagrammbereich beschränkt sich auf die im Labor untersuchten Bereiche (bis zu 95 %).
- Das obere Teildiagramm stellt entsprechend Gleichung (2) die Korrosionsrate in Abhängigkeit von der Temperatur bei Sättigung dar.



- Die Festlegung der Korrosionsbedingungen erfolgt durch die **Auswahl des Bindemittels / Einbettungsmaterials und des Metalls** (momentan nur Karbonstahl verfügbar).
- Die Art des Einbettungsmaterials beeinflusst mit ihrer Mikrostruktur und der chem. Zusammensetzung der Porenlösung das Korrosionsverhalten des Metalls.  
Im Moment enthalten:
  - Gips
  - Kalk-Gips
  - Kalk-Puzzolan
  - Kalk-Ziegelmehl

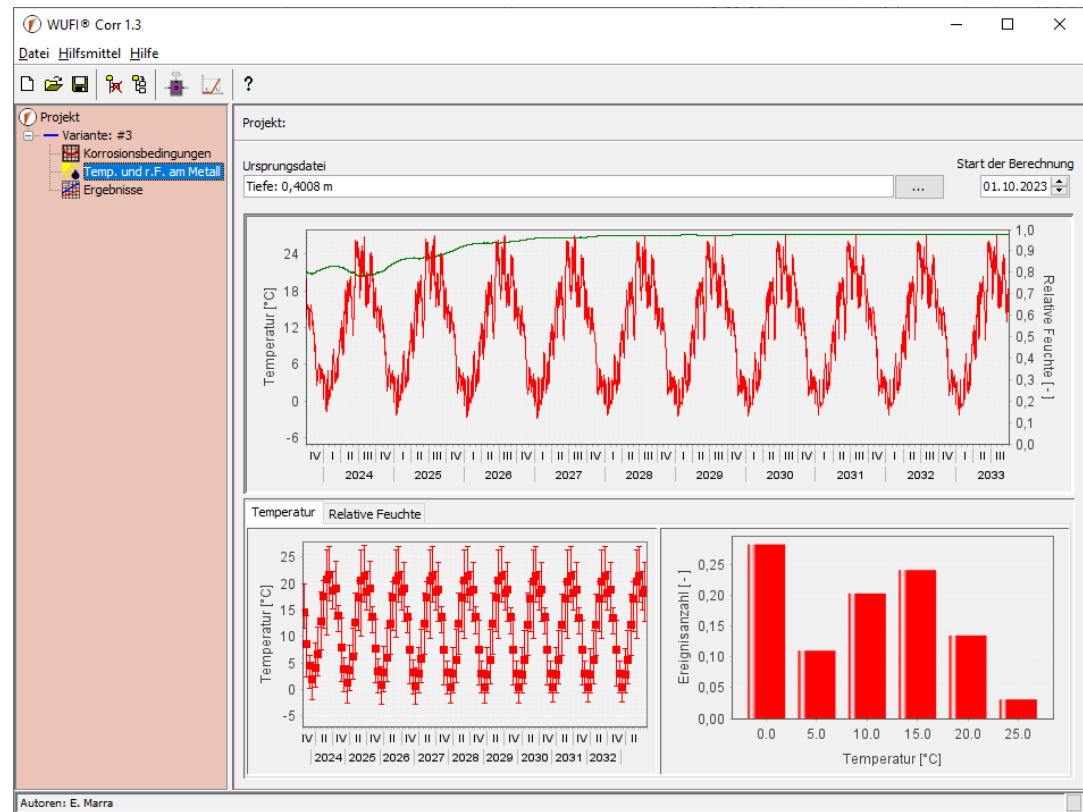




Hinweise:

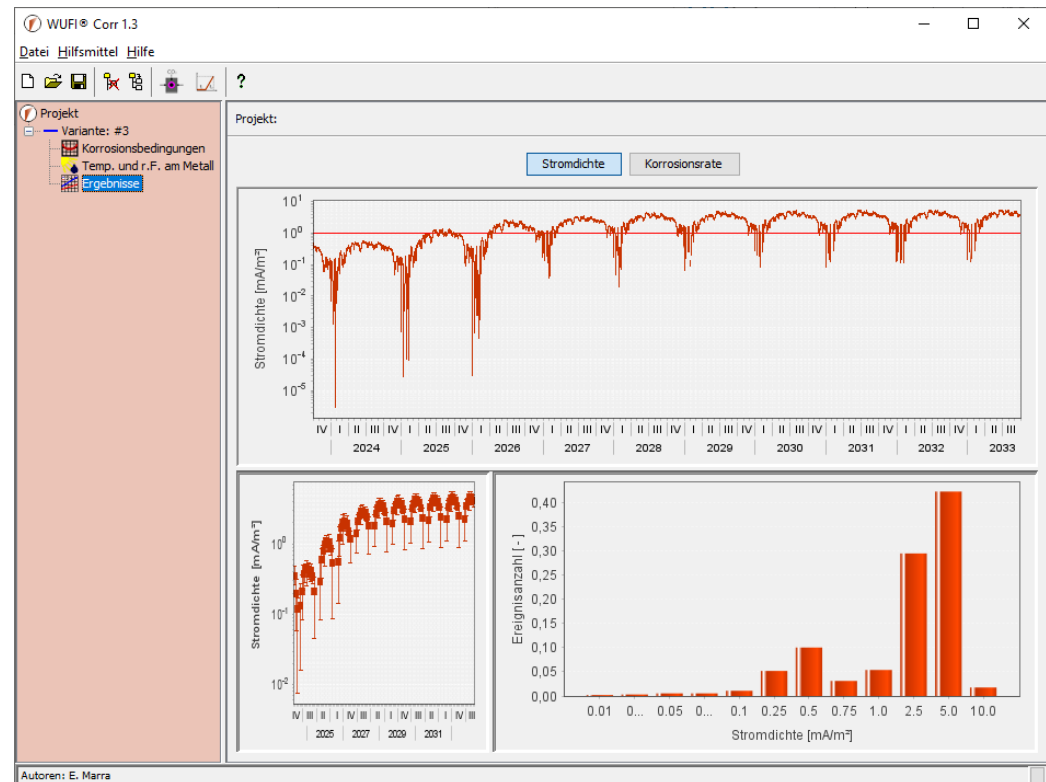
- Der **Beton** selbst **sowie das Ampelsystem** (Folie 10) sind bisher noch **nicht implementiert**, da Untersuchungen im entsprechenden Umfang bislang nicht zur Verfügung stehen.
- Vereinfacht und auf der sicheren Seite liegend lässt sich karbonatisierter Beton **durch einen hydraulischen Mörtel** (vorzugsweise Kalk-Puzzolan) in der Simulation **berücksichtigen**, da dieser in seiner chemischen Zusammensetzung der Porenlösung dem Beton am ähnlichsten ist.
- Zur Berücksichtigung einer eher aggressiven mineralischen **Umgebung** kann einer der **Gipsmörtel (pH-Wert etwa 4,5 – 6) verwendet** werden.

- Die **instationären lokalen hygrothermischen Bedingungen** (stündliche Werte für Temperatur und relative Feuchte) **an der Kontaktfläche** zwischen dem Metall und dessen Einbettungsmaterial (gemessen oder aus einer hygrothermischen Simulation).
- Beim Öffnen von WUFI® Corr aus dem WUFI® Film werden die Klimabedingungen automatisch an WUFI® Corr übergeben und angezeigt.
- Andernfalls können Temperatur und relative Feuchte manuell importiert werden.



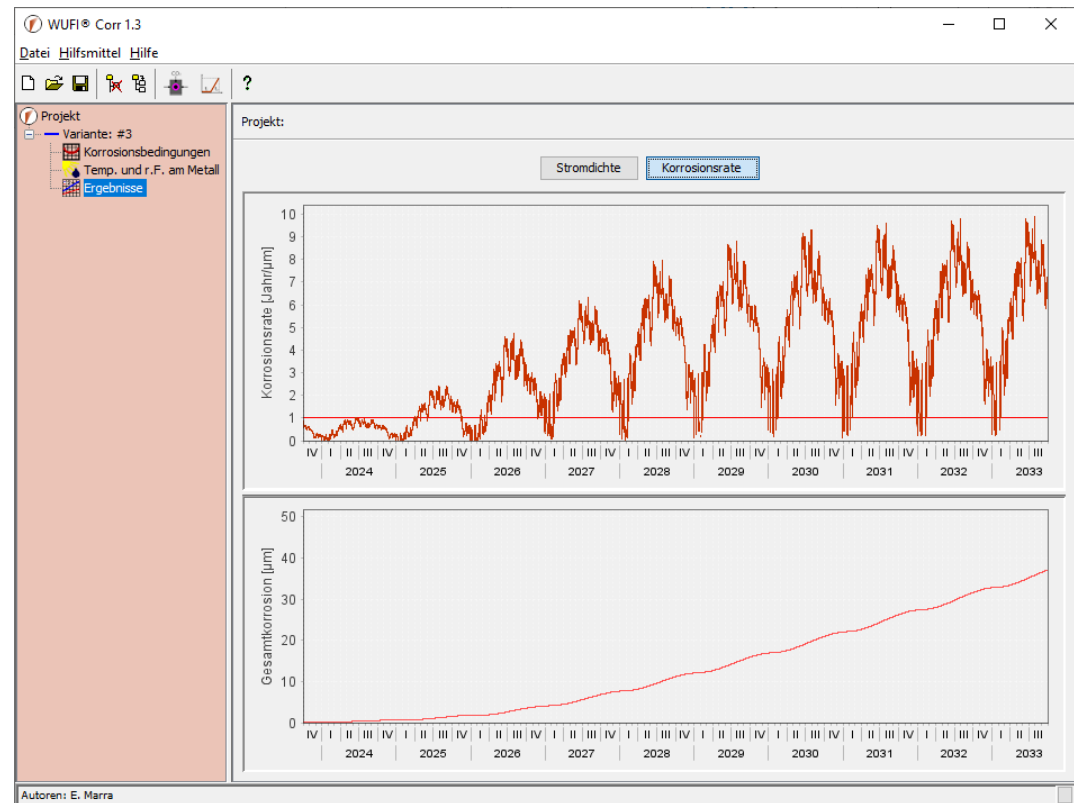
## Stromdichte [mA/m<sup>2</sup>]

- Oberes Diagramm: zeitlicher Verlauf der berechneten Korrosionsrate des Metalls als Stromdichte [mA/m<sup>2</sup>] und Angabe des Grenzwerts.
- Untere Diagramme: Mittelwerte der einzelnen Monate (links) und relative Häufigkeit der Stromdichte (rechts).



## Korrosionsgeschwindigkeit [ $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ ]

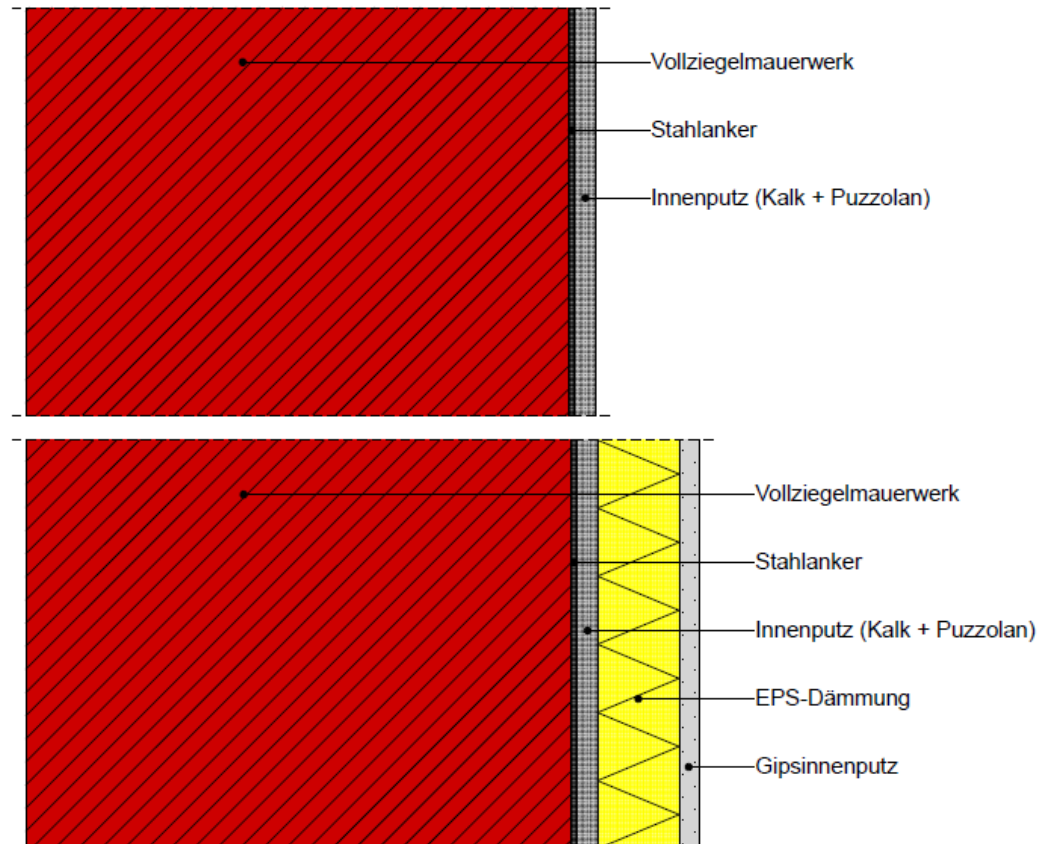
- Oberes Diagramm: zeitlicher Verlauf der berechneten Korrosionsrate des Metalls als Korrosionsgeschwindigkeit [ $\mu\text{m}/\text{Jahr}$ ] und Angabe des Grenzwerts.
- Unteres Diagramm: Die über den gesamten Berechnungszeitraum aufsummierte Querschnittsreduktion.



- Das **Berechnungsergebnis** soll v.a. als **Anhaltswert für den Vergleich und die Einstufung verschiedener Konstruktionsvarianten** dienen.
- Das Ampelsystem auf Folie 10 kann als erster Anhaltspunkt für Korrosion in karbonisiertem Beton verwendet werden.
- Bei nur sehr geringen bzw. kurzfristigen prognostizierten Überschreitungen des kritischen Werts, ist bei einem realen Bauteil nicht zwangsläufig Korrosion zu erwarten, da das Modell Sicherheitsfaktoren beinhaltet, damit die Vorhersage „keine Korrosion“ eine verlässliche Aussage darstellt.
- **Hinweis:** Korrosionsrate ist i.d.R. vernachlässigbar, wenn sie kleiner als  $1 \mu\text{m}/\text{Jahr}$  ist und muss als stark angesehen werden, wenn sie größer als  $10 \mu\text{m}/\text{Jahr}$  ist.

## Beispiele - Problembeschreibung

Am Beispiel einer ungedämmten (Beispiel A) sowie einer innen gedämmten Außenwand (Beispiel B) mit einem Stahlanker wird die Vorgehensweise bei der Beurteilung des Korrosionsrisikos erläutert.



# Beispiel A: Konstruktionsaufbau und Randbedingungen

---

## Aufbau (von außen nach innen):

- Vollziegelmauerwerk 0,4 m
- Innenputz (Kalk + Puzzolan) 0,015 m

## Randbedingungen:

- Außenwand nach Westen orientiert
- Rotes Vollziegelmauerwerk ( $a = 0,68$ )
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsfeuchtelast nach DIN 4108-3
- Berechnungszeitraum: 25 Jahre  
(zur einfacheren Anwendung des Ampelsystems)

# Beispiel A: Bauteileingabe

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window displays a wall construction layer with a red background and a green grid pattern. The layer is labeled 'Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel' and has a thickness of 0,015 m. The layer is positioned between the 'Außen (linke Seite)' and 'Innen (rechte Seite)' of the wall. The software interface includes a menu bar, a toolbar, and a project tree on the left. The project tree shows the current project structure, including 'Bauteil' and 'Monitorpositionen'. The main window also displays various settings and options for the layer, such as 'Materialdaten', 'Quellen, Senken', 'Neue Schicht', 'Duplizieren', and 'Löschen'. The bottom status bar shows 'Einheiten: SI' and 'Keine Rechenergebnisse vorhanden.'.

Annotations in the image:

- Monitor an der Position des Stahlankers setzen**: Points to the green grid pattern on the wall construction layer.
- Position des Stahlankers**: Points to the vertical green line on the right side of the wall construction layer.
- Wandaufbau eingeben ggf. Schichtdicken anpassen**: Points to the 'Dicke [m]' field, which is currently set to 0,015.



# Beispiel A: Orientierung und Neigung des Bauteils

## Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI Pro 6.7

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

Aufbau/Monitorpositionen **Orientierung/Neigung/Höhe** Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Orientierung

Neigung

Höhe/Schlagregenkoeffizienten

Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160

R1 [-] 0

R2 [s/m] 0.07

Hinweis:  
Regenbelastung =  
Regen\*(R1 + R2\*Vwind)

Kleines Gebäude, Höhe bis 10 m

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

**Orientierung und Neigung anpassen**

# Beispiel A: Oberflächenübergangskoeffizienten

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

WUFI Pro 6.7

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 ungedämmte Außenw...

Bauteil

Aufbau/Monitorpositionen

Orientierung

Oberflächenübergangskoeff.

Anfangsbedingungen

Steuerung

Klima

Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | Oberflächenübergangskoeff. | Anfangsbedingungen

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)] 17 Außenwand

benannt/langwellige Strahlungsanteile [W/(m² K)] 6.5

Windabhängig

sd-Wert [m] --- Keine Beschichtung

Hinweis: Dieser Wert hat keinen Einfluss auf die Regenaufnahme

Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-] 0.68 Ziegelstein, rot

Langwellige Strahlungsemissionszahl [-] ---

Abminderungsfaktoren wegen Verschattung:

auf Absorptionszahl [-] --- Keine Verschattung

auf Emissionszahl [-] ---

Explizite Strahlungsbilanz  Hinweis: diese Option dient u. a. zur Berücksichtigung der Unterkühlung infolge langwelliger Abstrahlung. In sensiblen Fällen sind hinreichend genaue Gegenstrahlungsdaten erforderlich.

Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-] 0.2 Standardwert

Anhaftender Anteil des Regens [-] 0.7 Gemäß Bauteilneigung

Innenoberfläche (rechte Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/(m² K)] 8 (Außenwand)

sd-Wert [m] --- Keine Beschichtung

Einheiten: SI Keine Rechenergebnisse vorhanden.

Wärmeübergangskoeffizient  
für Wand = 17 W/m²K

Farbgebung des Vollziegels  
(a = 0,68)

Explizite Strahlungsbilanz  
nicht verwendet

Regenwasserabsorption  
gemäß Bauteilneigung

Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen!

# Beispiel A: Anfangsbedingungen

## Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window title is "WUFI Pro 6.7". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Projekt" expanded, containing "Bauteil" (with sub-items "Aufbau/Monitorpositionen", "Orientierung", "Oberflächenübergangskoeff.", and "Anfangsbedingungen" highlighted in blue), "Steuerung", and "Klima". The main area is titled "Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker" and has four tabs: "Aufbau/Monitorpositionen", "Orientierung/Neigung/Höhe", "Oberflächenübergangskoeff.", and "Anfangsbedingungen" (highlighted in blue). Two green boxes highlight the "Anfangsfeuchte im Bauteil" and "Anfangstemperatur im Bauteil" sections. The "Anfangsfeuchte im Bauteil" section has three radio buttons: "Über das Bauteil konstant" (selected), "In den einzelnen Schichten", and "Aus Datei einlesen". The "Anfangstemperatur im Bauteil" section has three radio buttons: "Über das Bauteil konstant" (selected), "In den einzelnen Schichten", and "Aus Datei einlesen". Below these are input fields for "Relative Anfangsfeuchte [-]" (0,8) and "Anfangstemperatur im Bauteil [°C]" (20). A section titled "Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten" contains a table with the following data:

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Vollziegelmauerwerk	0,4	18,0
2	Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel	0,015	8,36

At the bottom right, a green box contains the text "Keine Änderung erforderlich". The status bar at the bottom left shows "Einheiten: SI" and "Keine Rechenergebnisse vorhanden."

# Beispiel A: Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window displays the 'Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker' project. The 'Steuerung' (Control) section is active, and the 'Zeit/Profile' (Time/Profiles) sub-section is selected. A table titled 'Start/Ende / Profile' is highlighted with a green border, showing the calculation period. The table has four columns: 'Rechnung' (Calculation), 'Profile', 'Datum' (Date), and 'Stunde' (Hour). The 'Start' row shows 'Profil 1' starting on '01.10.2023' at '00:00:00'. The 'Ende' row shows 'Profil 2' ending on '01.10.2048' at '00:00:00'. Below the table, there is a 'Rechenzeitschritt [h]' (Calculation step [h]) field set to '1'. A green callout box in the bottom right corner of the screenshot contains the text: 'Berechnungszeitraum anpassen (hier: 25 Jahre)' (Adjust calculation period (here: 25 years)).

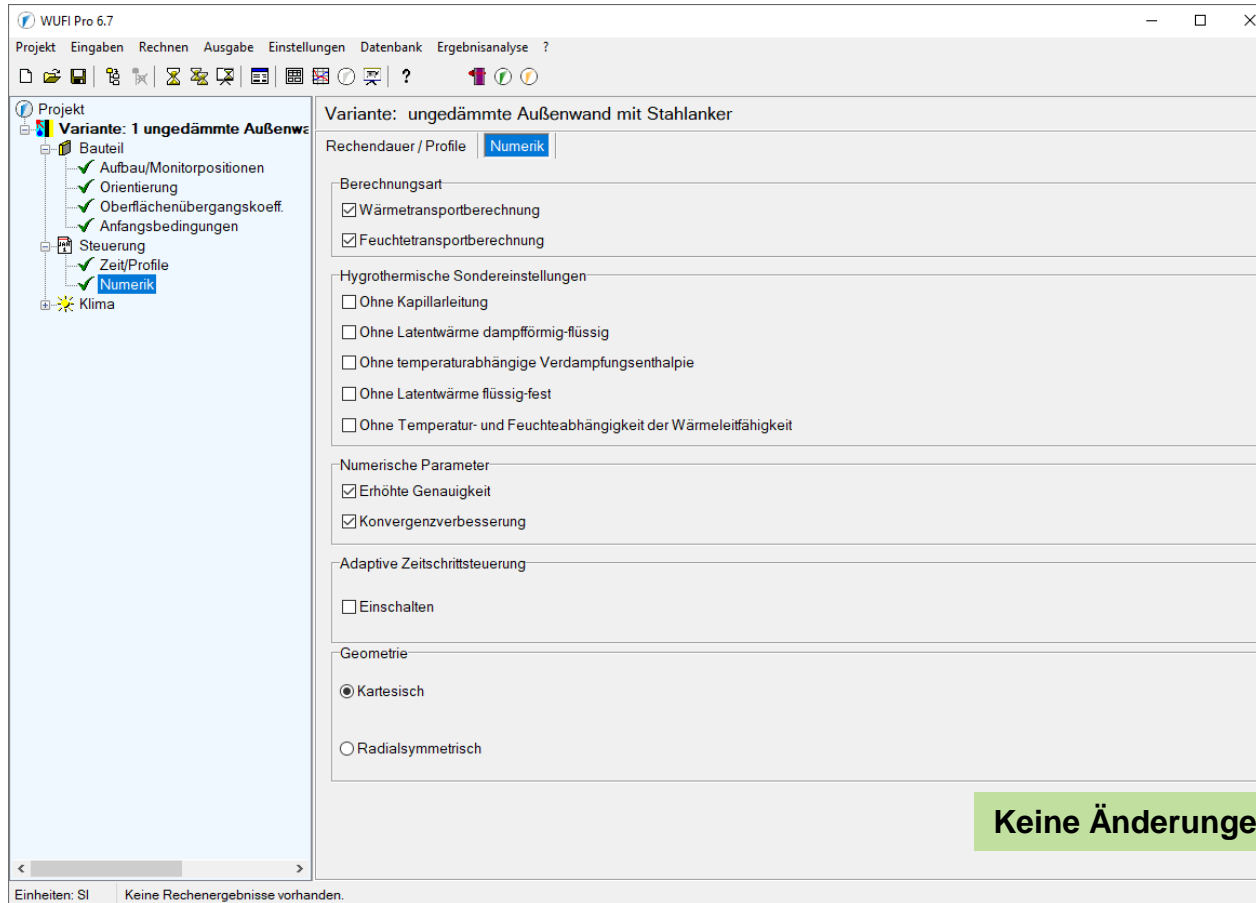
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2023	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2048	00:00:00

Rechenzeitschritt [h]

Berechnungszeitraum anpassen  
(hier: 25 Jahre)

# Beispiel A: Numerische Einstellungen

## Eingabe: Steuerung – Numerik



The screenshot displays the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window title is "WUFI Pro 6.7". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Projekt" expanded, containing "Variante: 1 ungedämmte Außenwand", "Bauteil", "Steuerung", and "Klima". The "Steuerung" folder is expanded, showing "Zeit/Profile" and "Numerik" (highlighted in blue). The main panel is titled "Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker" and shows the "Numerik" settings. The "Rechendauer / Profile" tab is selected. The settings are organized into several sections:

- Berechnungsart:**
  - Wärmetransportberechnung
  - Feuchttransportberechnung
- Hygrothermische Sondereinstellungen:**
  - Ohne Kapillarleitung
  - Ohne Latentwärme dampfförmig-flüssig
  - Ohne temperaturabhängige Verdampfungsenthalpie
  - Ohne Latentwärme flüssig-fest
  - Ohne Temperatur- und Feuchteabhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit
- Numerische Parameter:**
  - Erhöhte Genauigkeit
  - Konvergenzverbesserung
- Adaptive Zeitschrittsteuerung:**
  - Einschalten
- Geometrie:**
  - Kartesisch
  - Radialsymmetrisch

A green callout box in the bottom right corner of the interface contains the text "Keine Änderungen erforderlich". The status bar at the bottom left shows "Einheiten: SI" and "Keine Rechenergebnisse vorhanden."

# Beispiel A: Außenklima

## Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

The screenshot displays the WUFI Pro 6.7 software interface. The main workspace shows the 'Außenklima (linke Seite)' tab selected. A green callout box with the text 'Standort auswählen' points to the 'Klima wählen...' button in the 'Aus Karte / Datei' section. The 'Projekt' tree on the left shows the 'Klima' folder expanded, with 'Außen (linke Seite)' selected. The main workspace contains three graphs: 'Temperatur [°C]' (red line), 'Relative Feuchte [%]' (green line), and 'Globalstrahlung' (black bar chart). The 'Datei-Info' panel on the right lists metadata for the location 'Holzkirchen', including coordinates, elevation, and climate elements.

**Standort auswählen**

Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

Außenklima (linke Seite) | Innenklima (rechte Seite)

Aus Karte / Datei | DIN 4108 / EN 15026 / WTA 6-2 | ISO 13788 | ASHRAE 160 | Sinuskurve

Holzkirchen; IBP, Feuchtereferenzjahr | Klima wählen... | Erweitert...

Temperatur / Relative Feuchte | Klimaanalyse

Temperatur [°C]

Relative Feuchte [%]

Zusätzliche Diagramme

Globalstrahlung

ISGH [W/m<sup>2</sup>]

Datei-Info

Klimaort: Holzkirchen

Breite [°]: 47,88 Nord

Länge [°]: 11,73 Ost

Höhe über NN [m]: 680

Zeitzone: 1,0

Anzahl Datenzeilen: 8760

Beschreibung: ⓘ

Kommentar: ⓘ

Klimaelemente

Temperatur: TA

Relative Feuchte: HREL

Kurzwellige Strahlung: ISGH, ISD

Langwellige Strahlung: ILAH

Wind: WS, WV, WD

Regen: RN

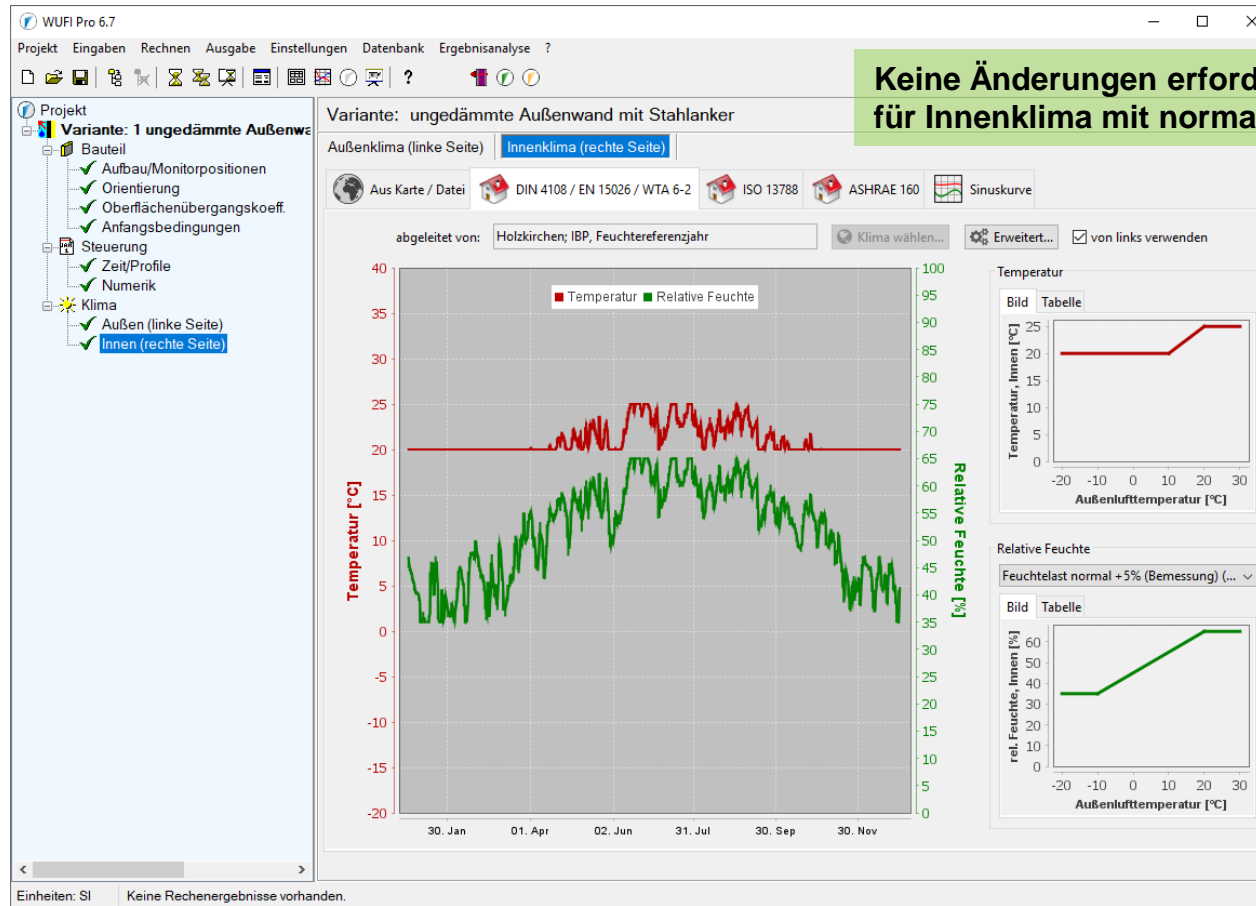
Bewölkungsgrad: —

Luftdruck: PSTA

Einheiten: SI | Keine Rechenergebnisse vorhanden.

# Beispiel A: Raumklima

## Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



# Beispiel A: Auswertung - Numerik

## Auswertung: Numerik

Letzter Rechenlauf

Rechenverlauf

Datum/Zeit der Rechnung	19.12.2023 08:58:55	
Rechenzeit	5 min,54 sek	
Beginn / Ende der Rechnung	01.10.2023 / 01.10.2048	
Anzahl der Konvergenzfehler	0	

Numerische Qualitätsprüfung

Integral der Ströme, linke Seite (kl,dl)	[kg/m <sup>2</sup> ]	1059,65 -932,85
Integral der Ströme, rechte Seite (kr,dr)	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,49 108,63
Bilanz 1	[kg/m <sup>2</sup> ]	17,67
Bilanz 2	[kg/m <sup>2</sup> ]	17,67

Wassergehalt [kg/m<sup>2</sup>]

	Start	Ende	Min.	Max.
Gesamtwassergehalt	7,33	24,98	6,89	34,4

Wassergehalt [kg/m<sup>3</sup>]

Schicht/Material	Start	Ende	Min.	Max.
------------------	-------	------	------	------

Rechnung gesperrt

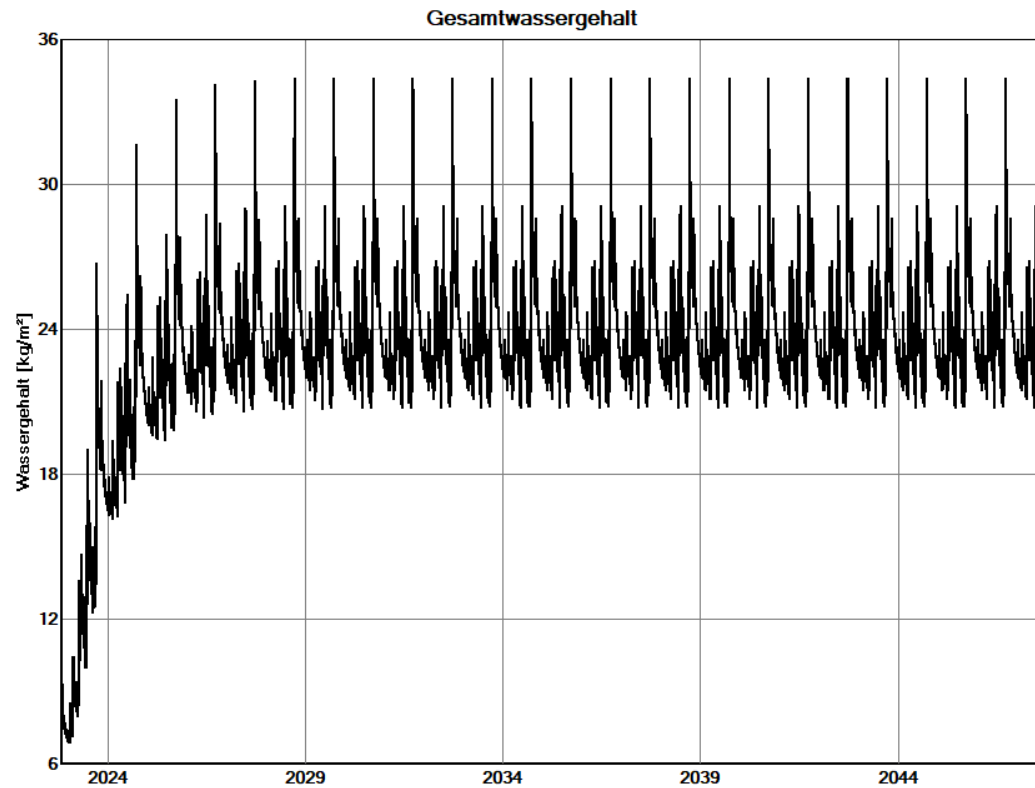
Schließen Hilfe

Keine Konvergenzfehler und keine Bilanzunterschiede!



# Beispiel A: Auswertung Gesamtwassergehalt

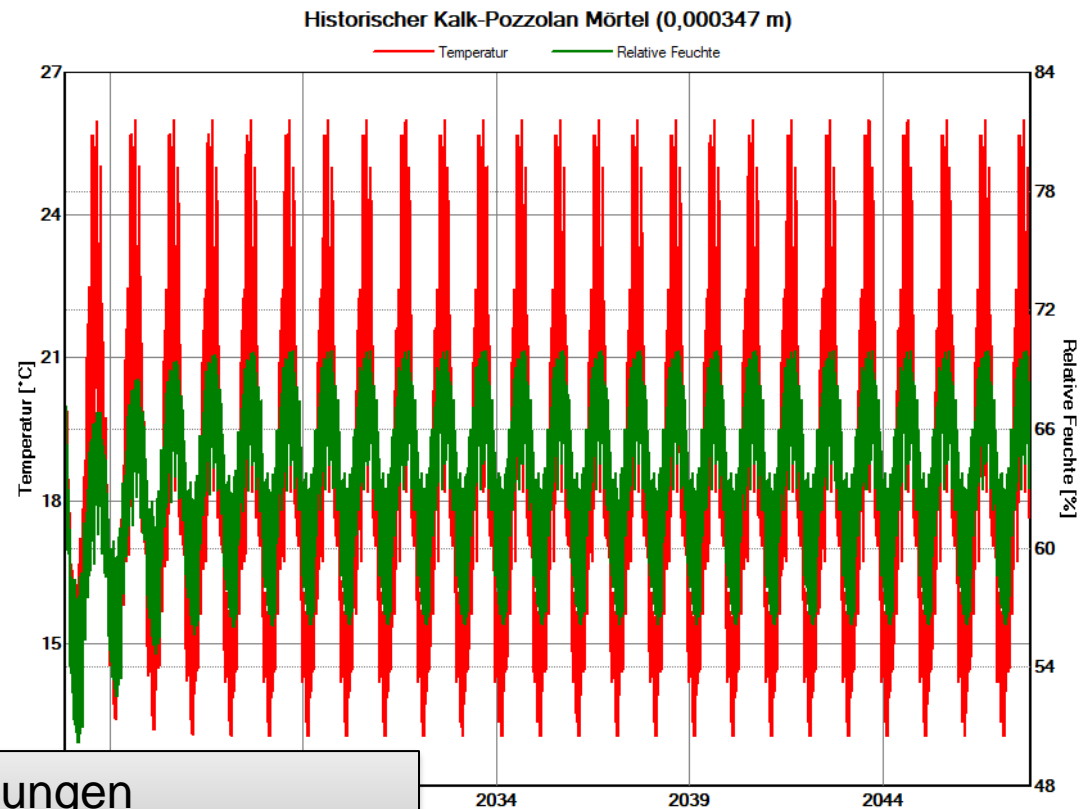
Auswertung: Gesamtwassergehalt



Eingeschwungener Zustand nach 5 Jahren.

# Beispiel A: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker


Auswertung: Monitor an der Position des Stahlankers

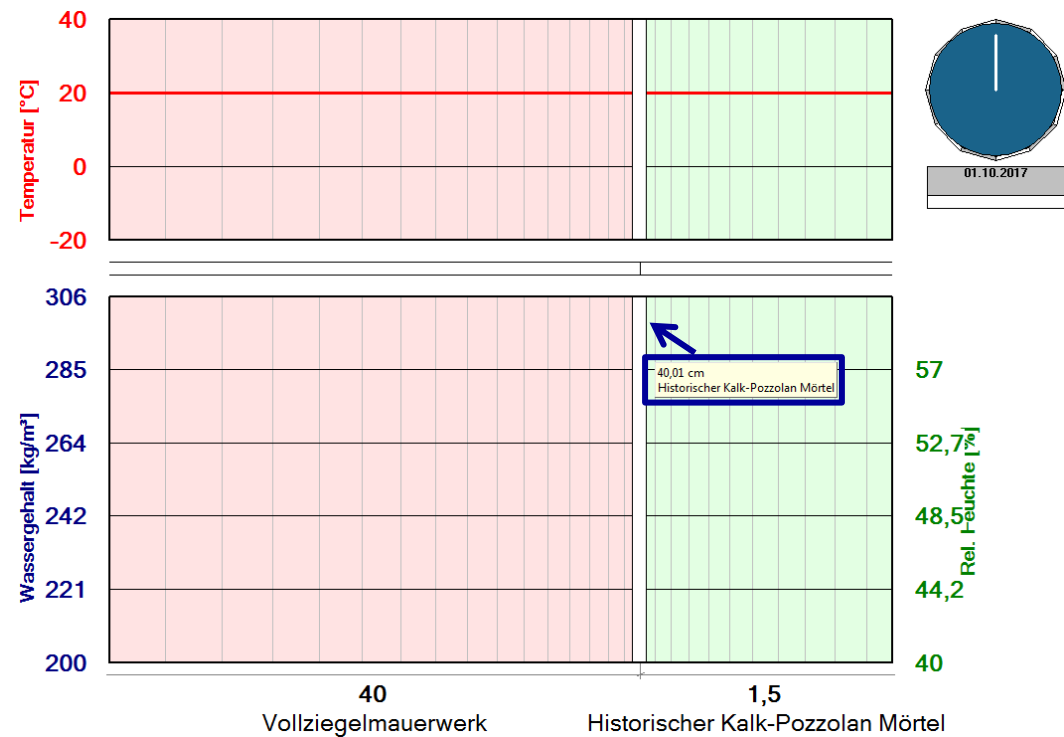


Lokale Bedingungen  
an der Position des Stahlankers

# Beispiel A: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

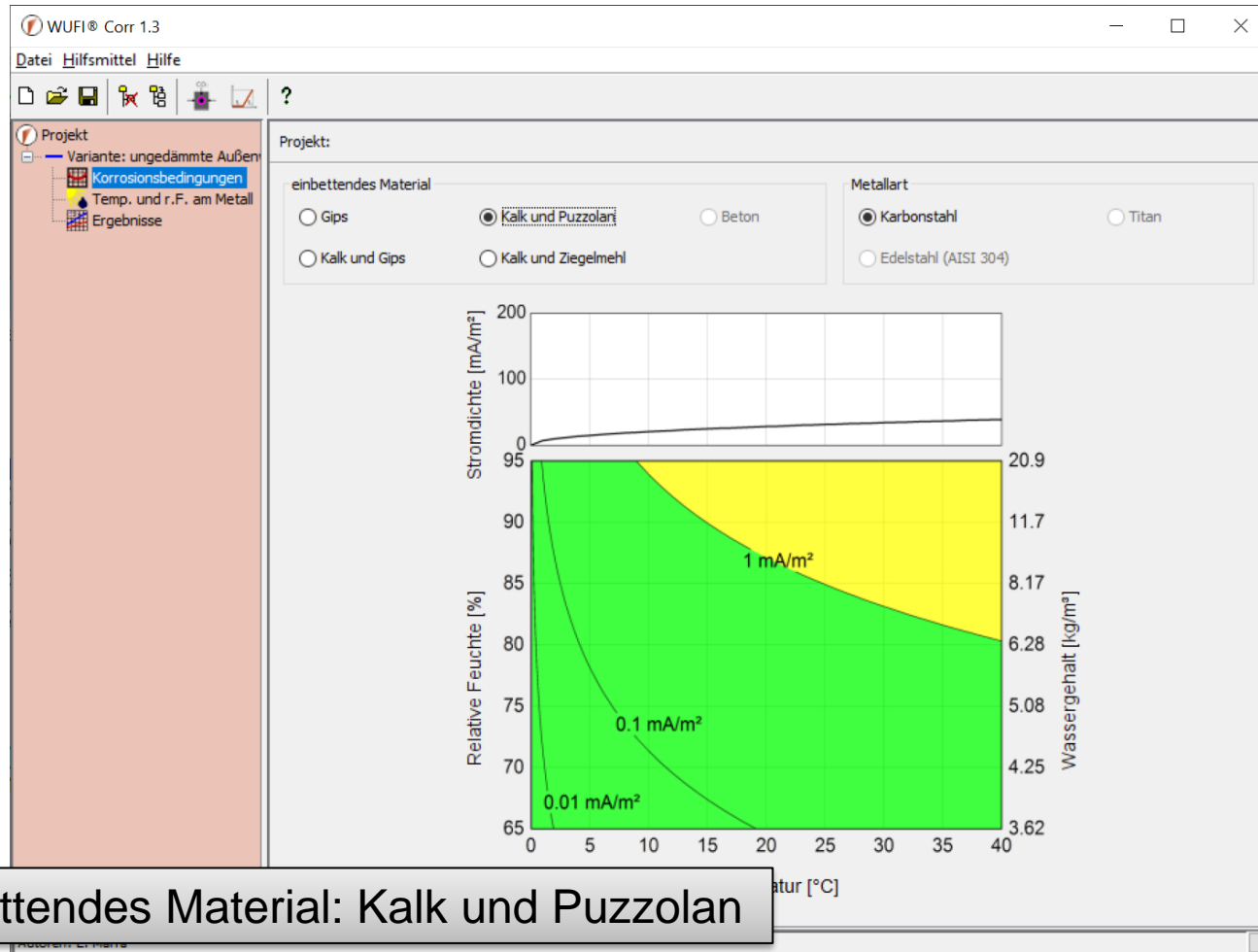
Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahlankers

- WUFI® Film öffnen
- Reinzoomen in die Grenzschicht Vollziegelmauerwerk / Innenputz (bei gedrückter linker Maustaste: Kasten von links oben nach rechts unten aufziehen)
- WUFI® Corr-Symbol  in der Taskleiste drücken und äußerste Element des Innenputzes auswählen.



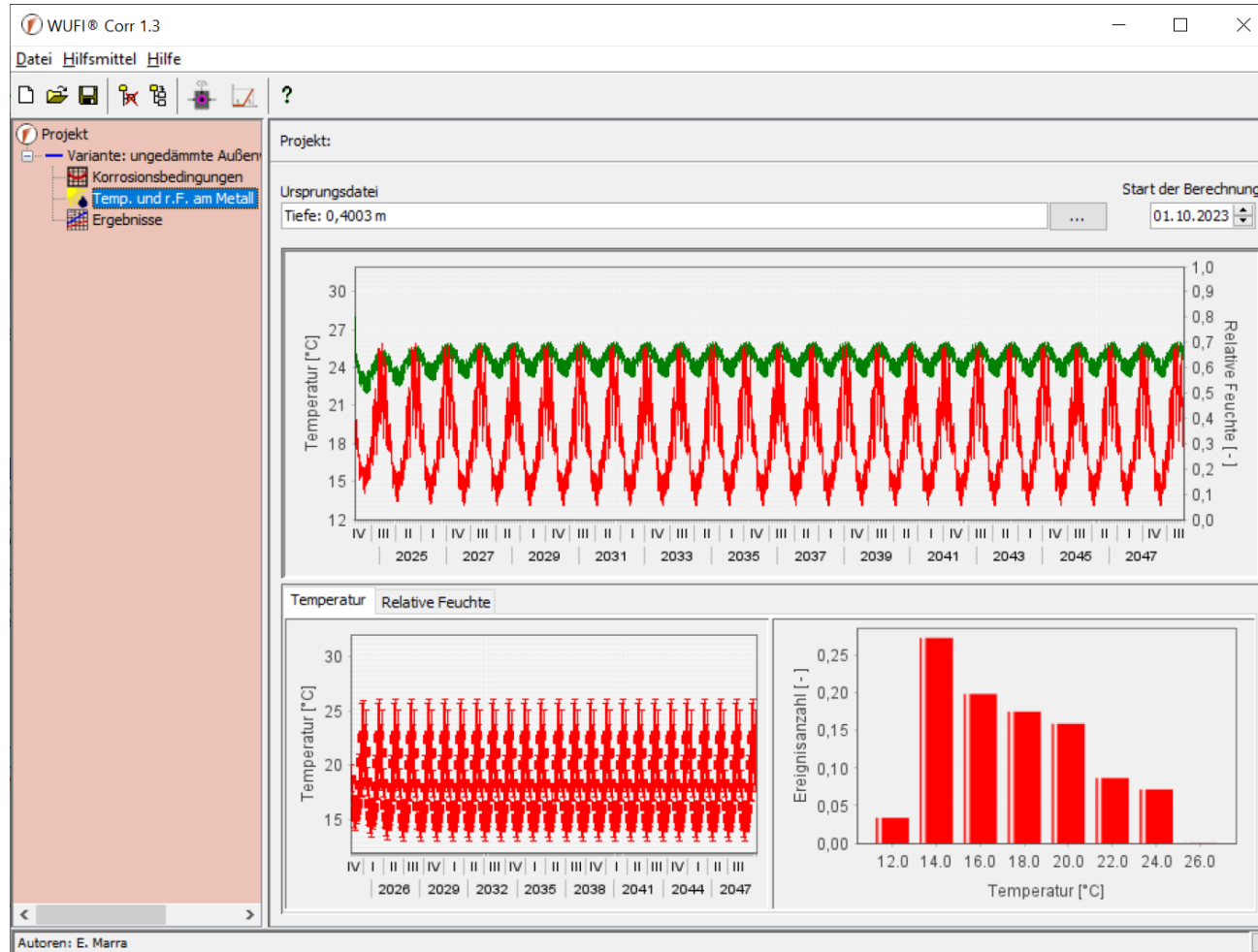
# Beispiel A: Einstellungen WUFI® Corr

## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers

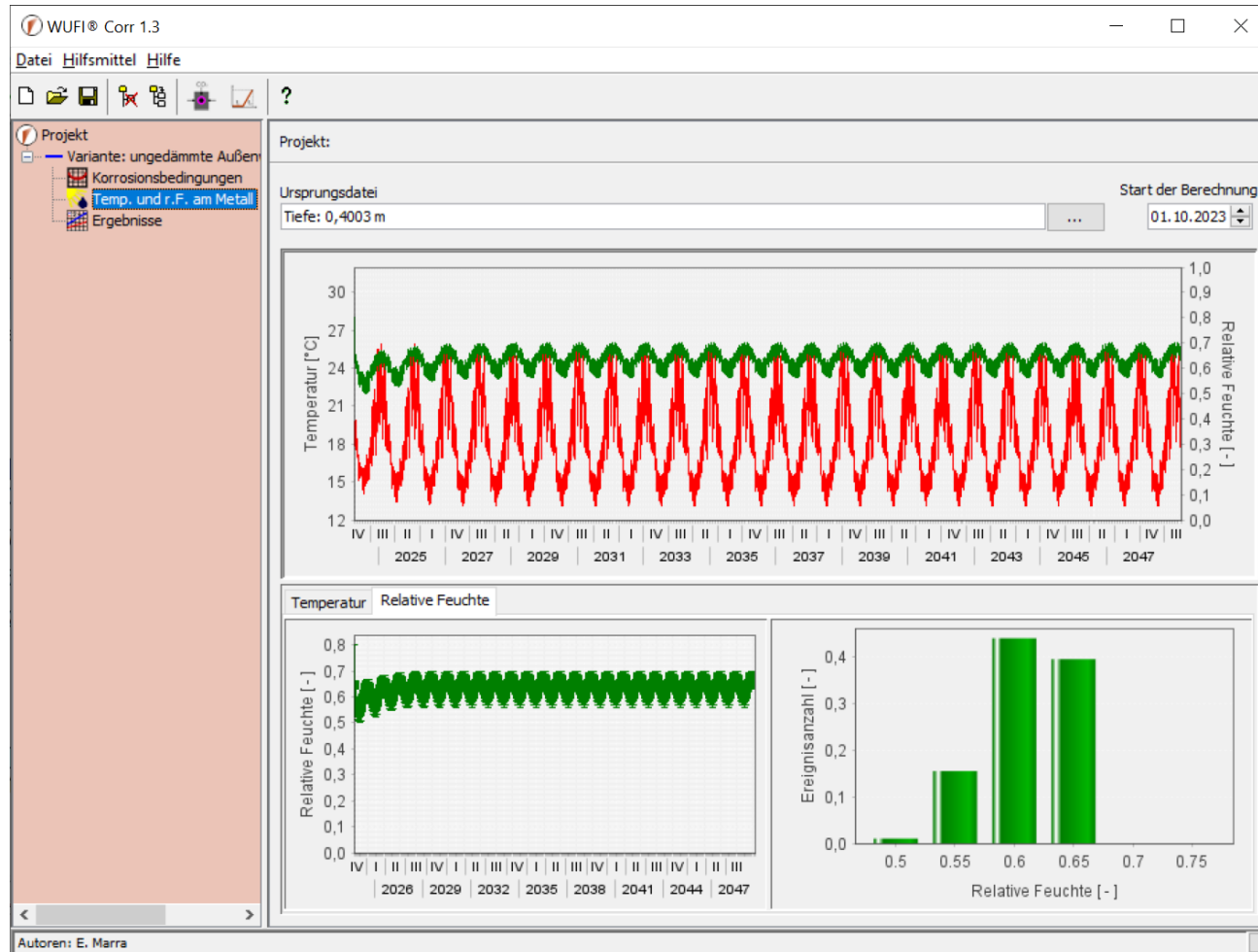


# Beispiel A: Einstellungen WUFI® Corr

## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers

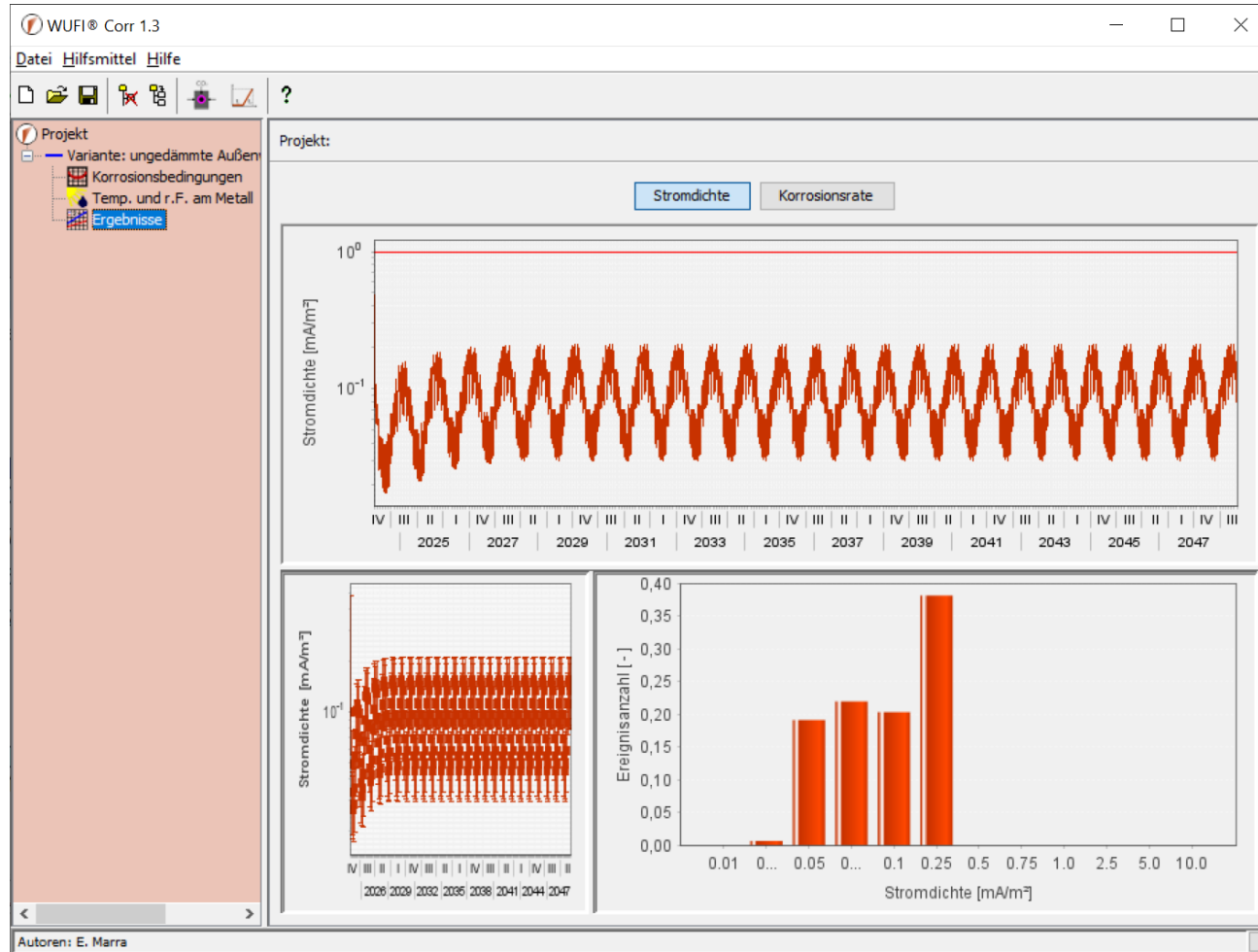


## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



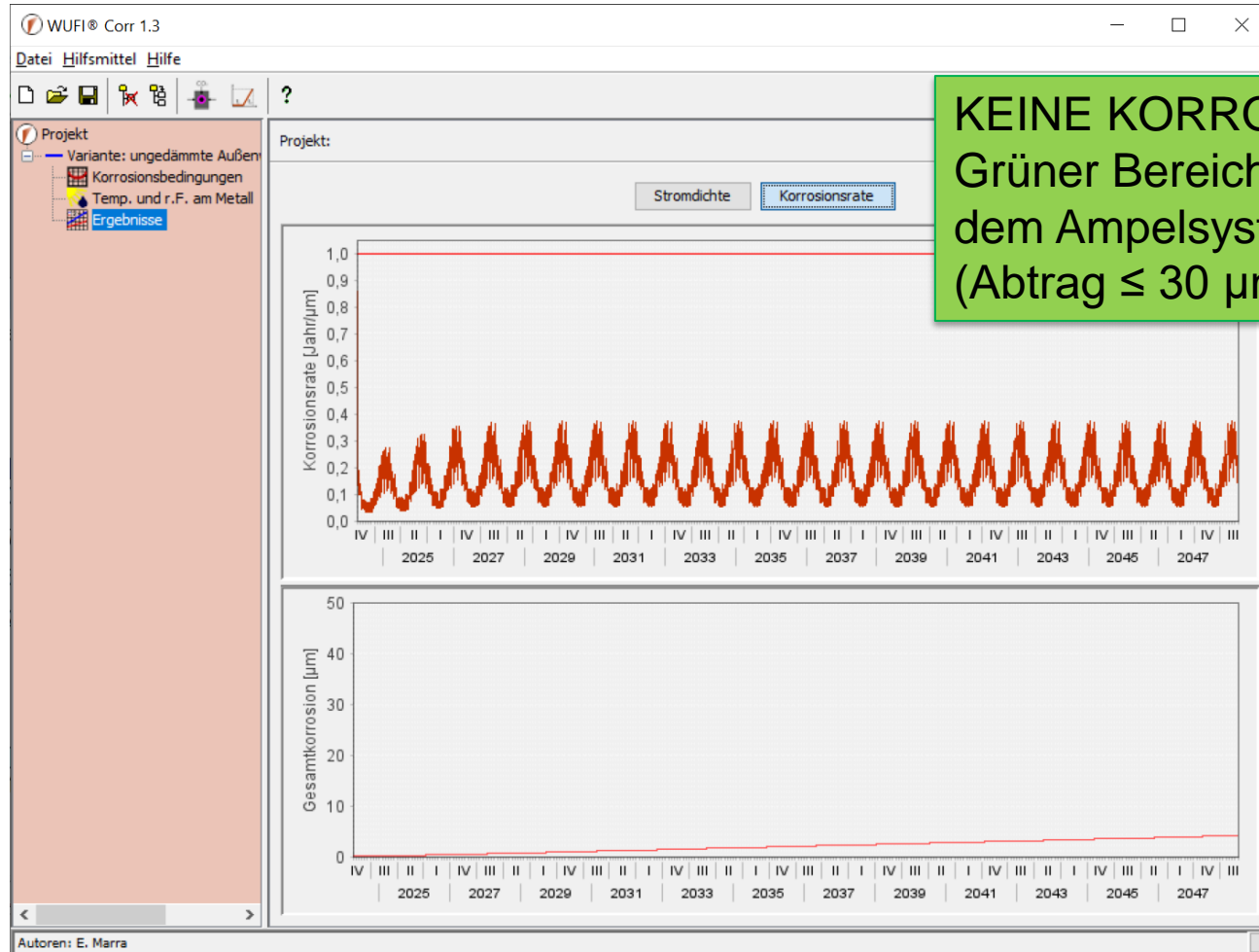
# Beispiel A: Auswertung WUFI® Corr

## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



# Beispiel A: Auswertung WUFI® Corr

## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers





## Beispiel B: Konstruktionsaufbau und Randbedingungen

---

### Aufbau (von außen nach innen):

- Vollziegelmauerwerk 0,4 m
- Innenputz (Kalk + Puzzolan) 0,015 m
- EPS (Wärmeleit.: 0,04 W/mK – Dichte: 15 kg/m<sup>3</sup>) 0,06 m
- Innenputz (Gips) 0,015 m

### Randbedingungen:

- Außenwand nach Westen orientiert
- Rotes Vollziegelmauerwerk ( $a = 0,68$ )
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: Bemessungsfeuchtebelast nach DIN 4108-3

# Beispiel B: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.7 software interface. The main window displays a wall construction model with a red brick layer on the left and a yellow insulation layer on the right. A vertical green line represents the steel reinforcement (Stahlanker) position. The 'Dicke [m]' field is set to 0,015. The 'Monitor an der Position des Stahlankers setzen' annotation points to the green line. The 'Position des Stahlankers' annotation points to the yellow insulation layer. The 'Wandaufbau eingeben ggf. Schichtdicken anpassen' annotation points to the 'Dicke [m]' field.

WUFI Pro 6.7

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

- Variante: 1 ungedämmte Außenwand m
- Variante: 2 innen gedämmte Außenwand m
- Bauteil
  - Aufbau/Monitorpositionen
  - Orientierung
  - Oberflächenübergangskoeff.
  - Anfangsbedingungen
- Steuerung
- Klima

Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker

Aufbau/Monitorpositionen | Orientierung/Neigung/Höhe | Oberflächenübergangskoeff. | Anfangsbedingungen

Schichtname: Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel

Dicke [m]: 0,015

Außen (linke Seite): 0,4

Innen (rechte Seite): 0,015 0,06 0,015

Materialdaten

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Bearbeiten Aufbau

- Bild
- Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Produktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

100 Fein

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 2,18 (m<sup>2</sup> K)/W

U-Wert: 0,423 W/(m<sup>2</sup> K)

Einheiten: SI

Letzte Rechnung: 19.12.2023

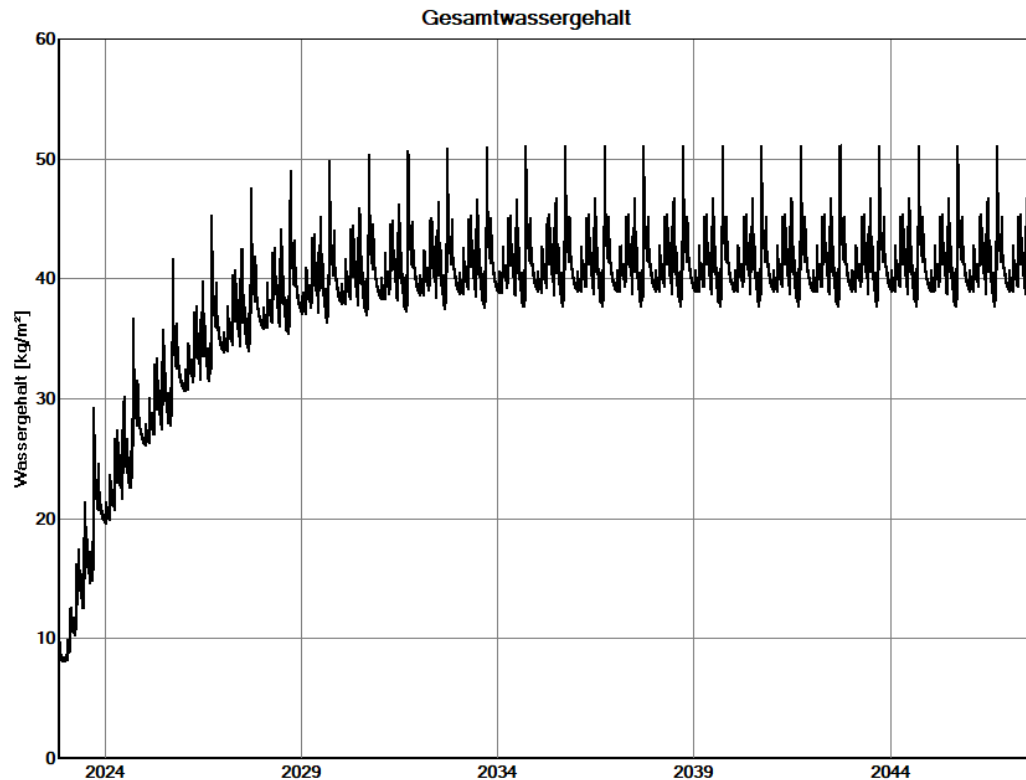
Monitor an der Position des Stahlankers setzen

Position des Stahlankers

Wandaufbau eingeben ggf. Schichtdicken anpassen

# Beispiel B: Auswertung Gesamtwassergehalt

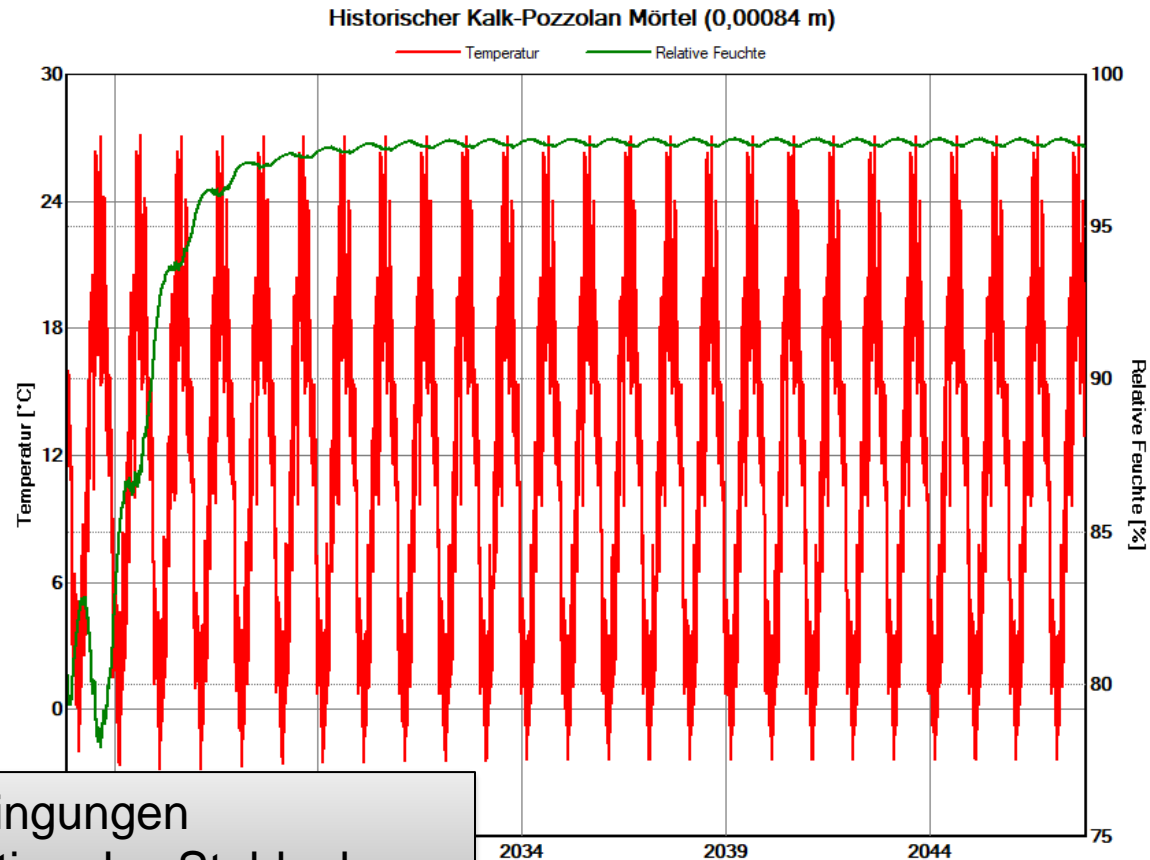
Auswertung: Gesamtwassergehalt



Eingeschwungener Zustand nach 9 Jahren.

# Beispiel B: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

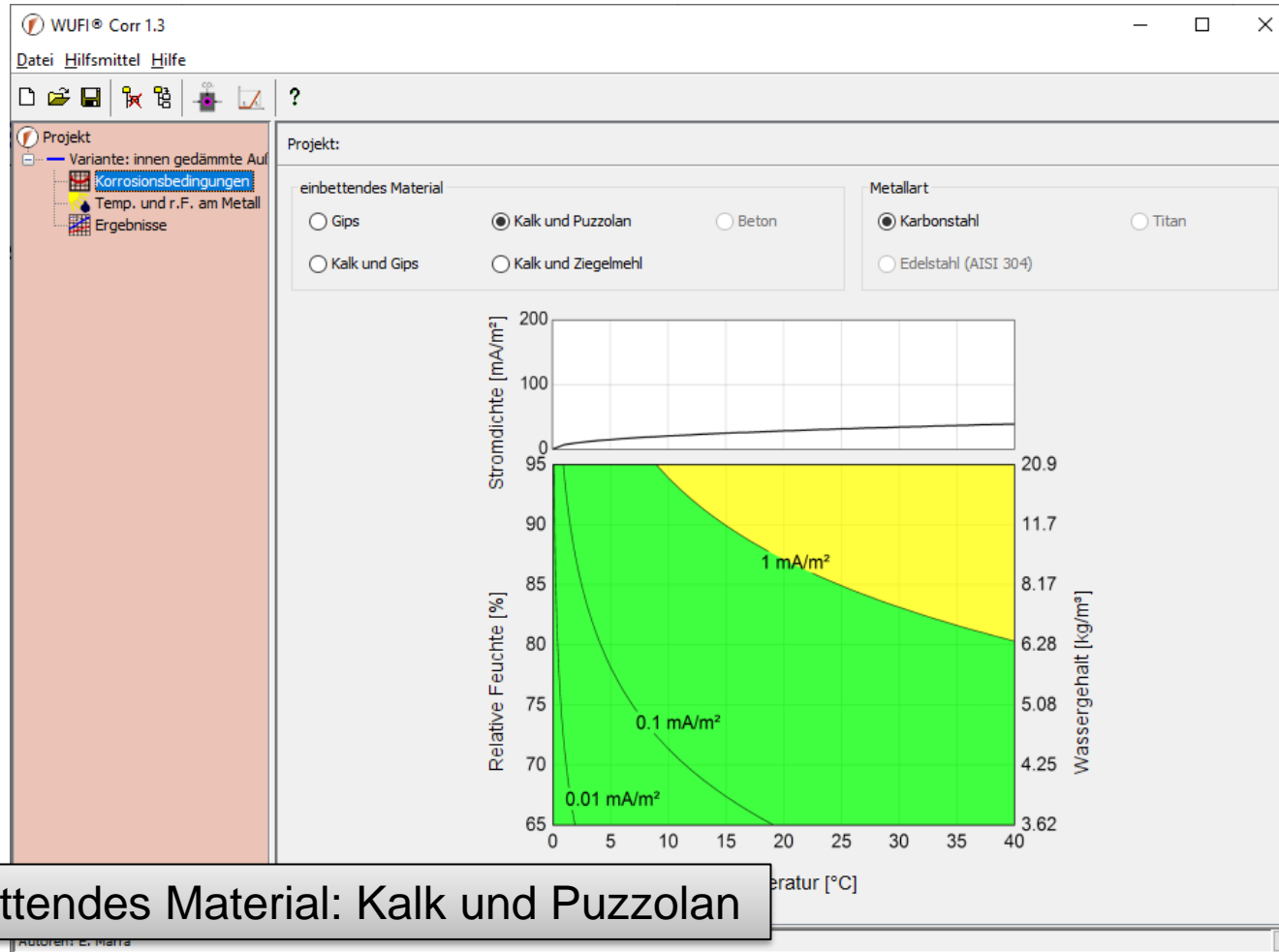
Auswertung: Monitor an der Position des Stahlankers



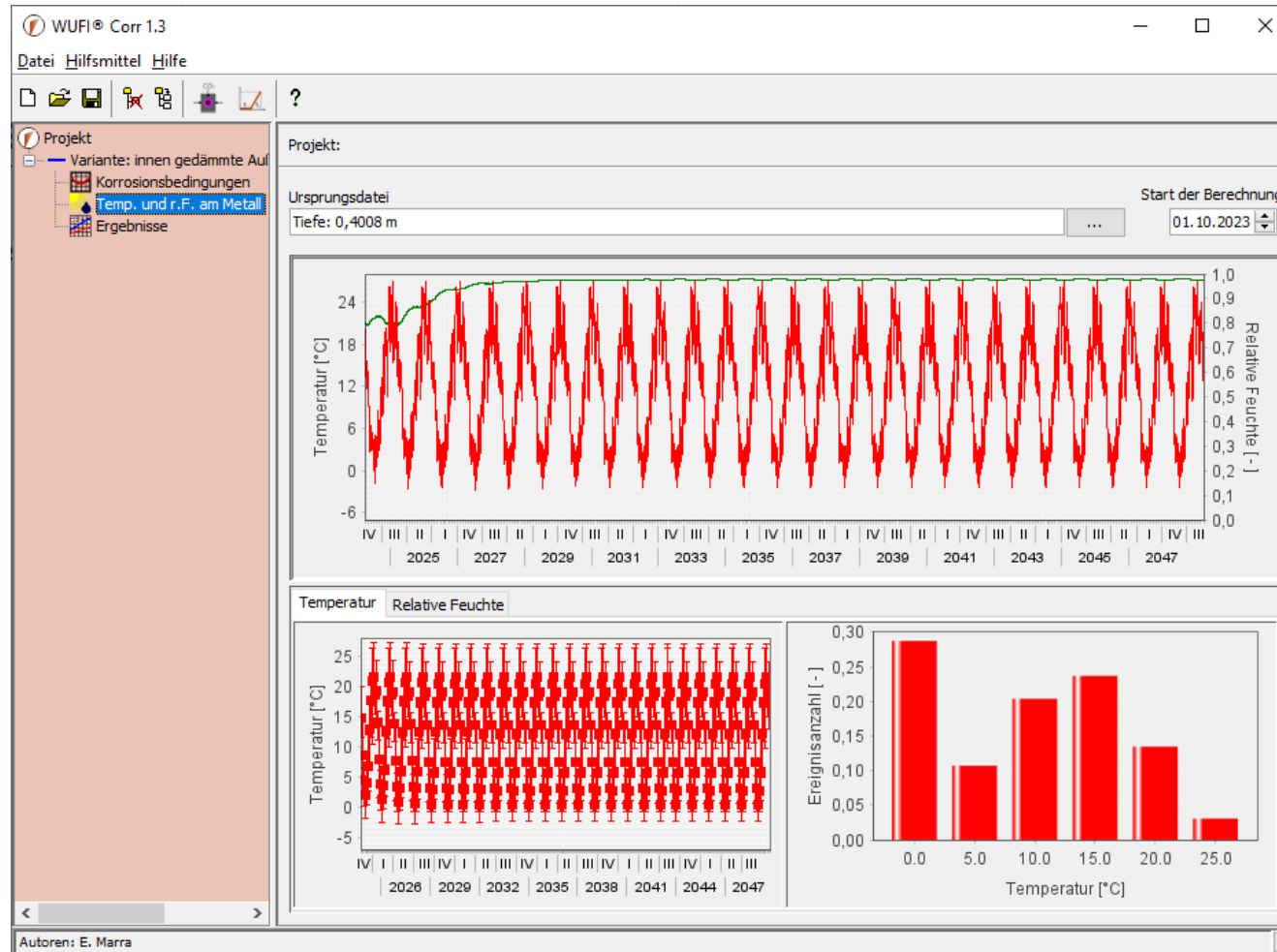
Lokale Bedingungen  
an der Position des Stahlankers

# Beispiel B: Einstellungen WUFI® Corr

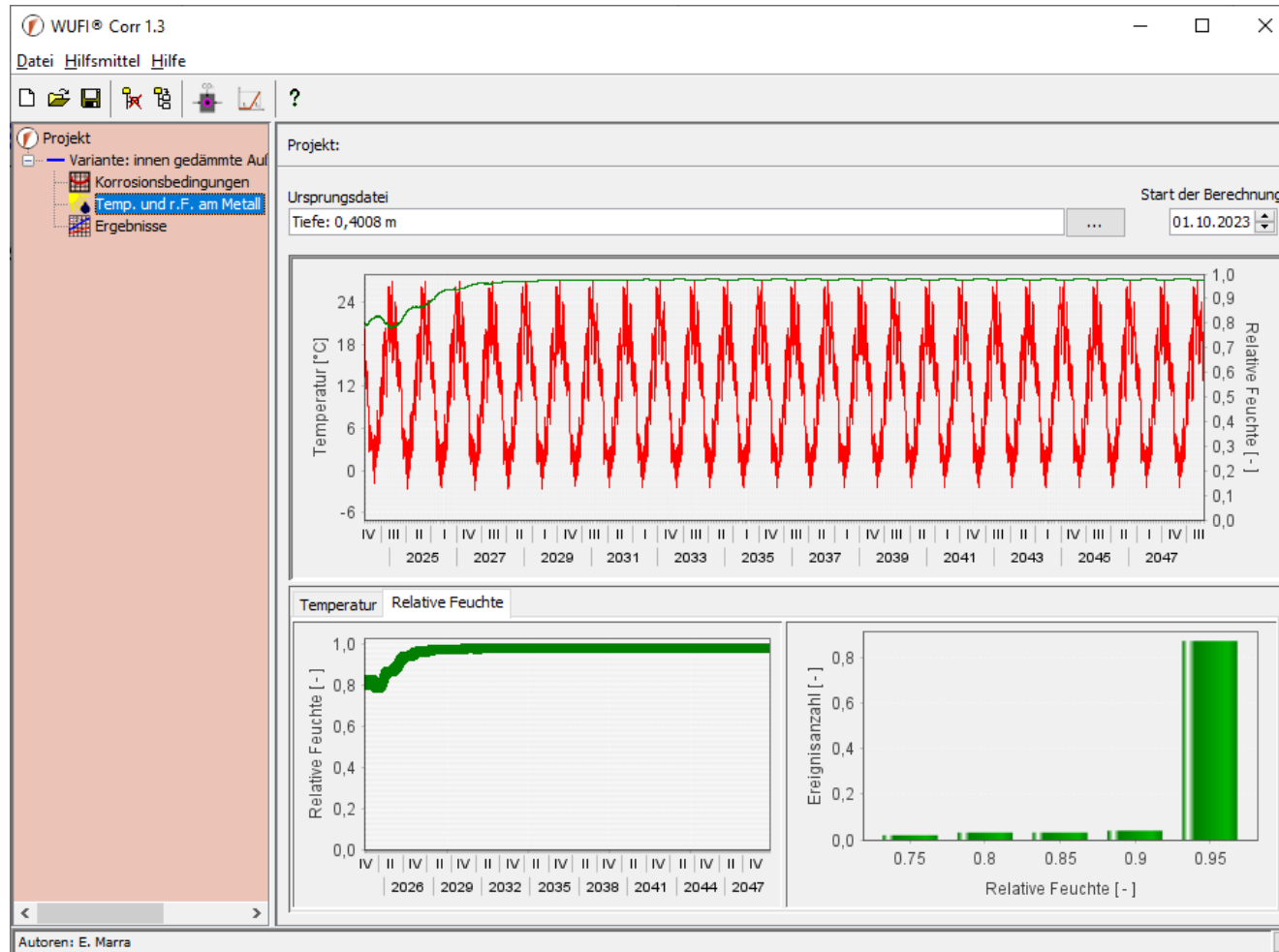
## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers

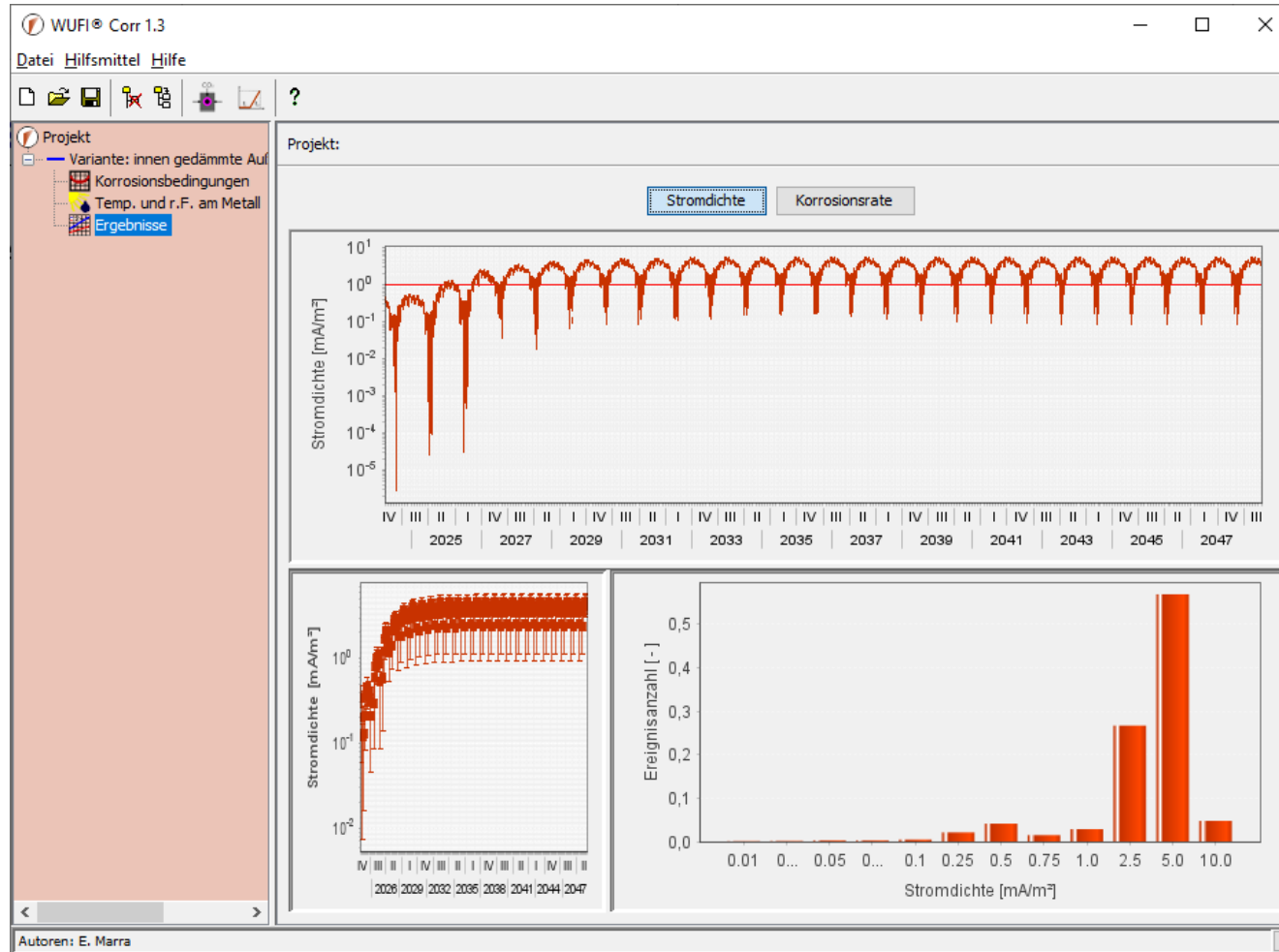


## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



# Beispiel B: Auswertung WUFI® Corr

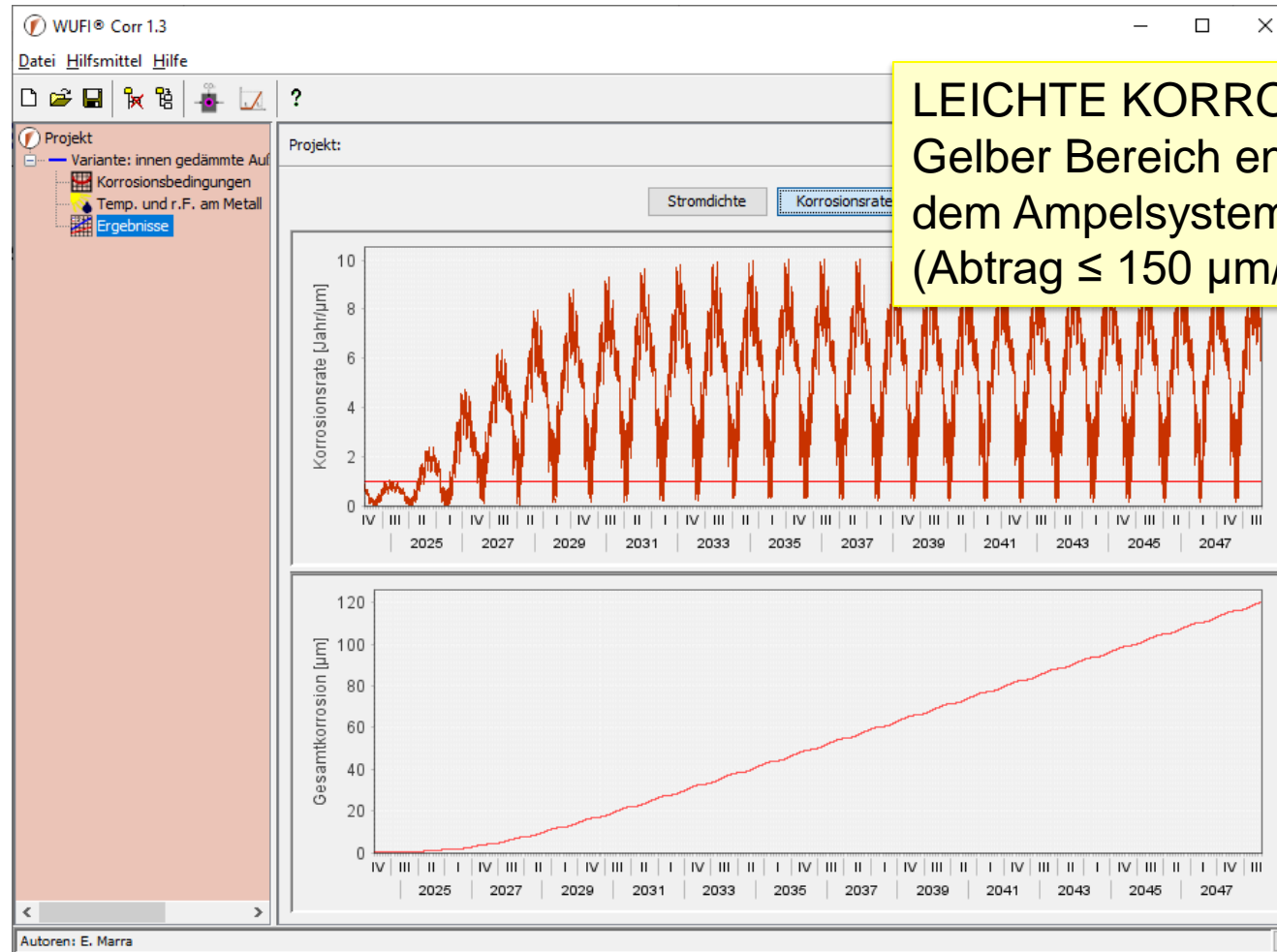
## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers





# Beispiel B: Auswertung WUFI® Corr

## Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



**LEICHTE KORROSION!**  
Gelber Bereich entsprechend dem Ampelsystem auf Folie 10 (Abtrag  $\leq 150 \mu\text{m}/25\text{Jahre}$ ).