

WUFI®

Leitfaden zur Bewertung des Korrosionsrisikos mit WUFI®

Stand: November 2017

Grundlagen

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

WUFI® Corr

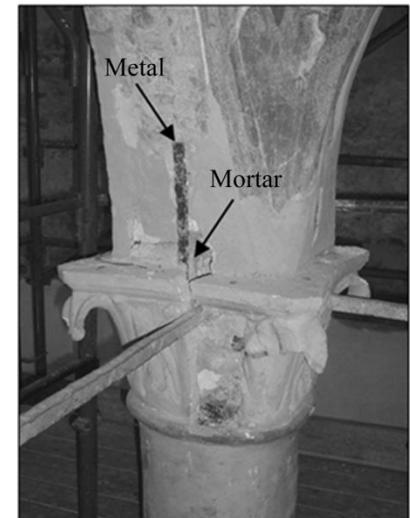
- Modellbeschreibung..... [Folie 7](#)
- Versuchsdaten..... [Folie 8](#)
- Untersuchungsergebnisse..... [Folie 9](#)
- Berechnungsmodell..... [Folie 10](#)
- Eingabedaten..... [Folie 12](#)
- Bewertung der Ergebnisse..... [Folie 15](#)
- Beurteilung der Ergebnisse..... [Folie 17](#)

Beispiele..... [Folie 18](#)

- A: Ungedämmte Außenwand mit Stahlanker..... [Folie 19](#)
- B: Innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker..... [Folie 36](#)

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.

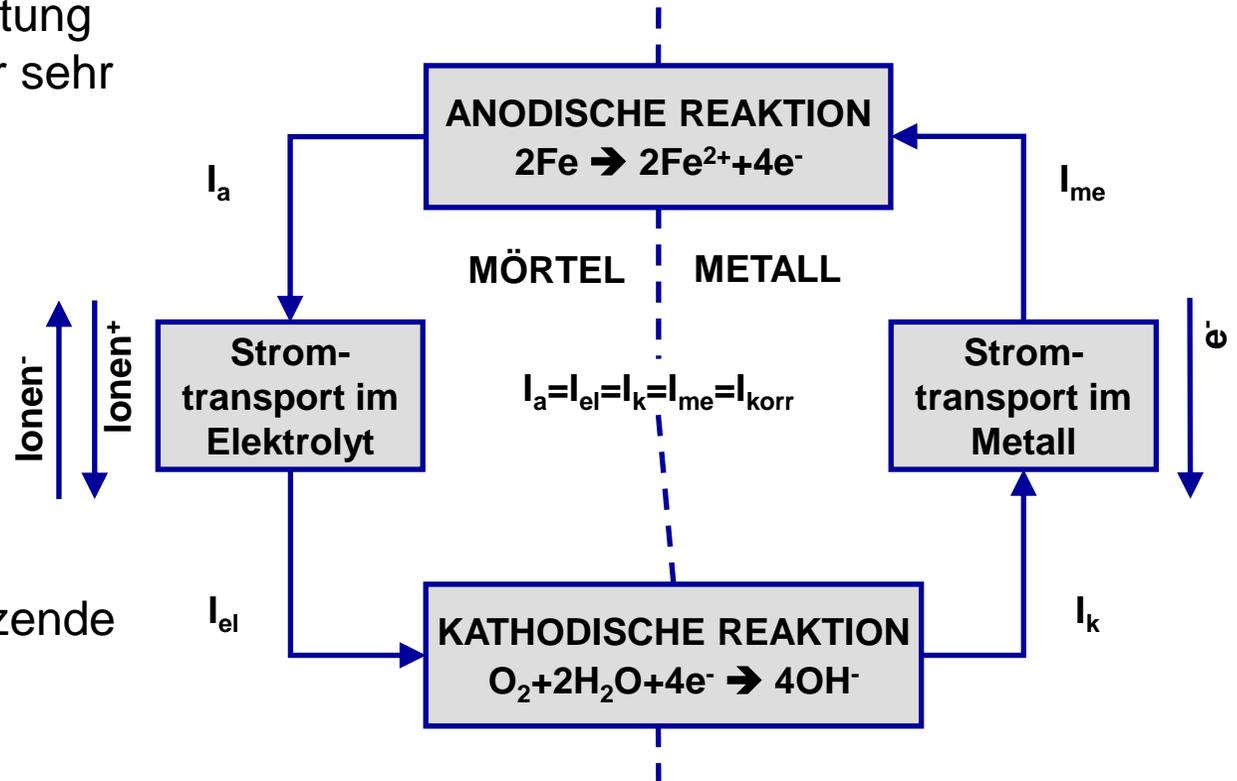


Korrosionsverhalten von eingebetteten Metallen:

- 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.

- 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

- 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 vermengt 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!

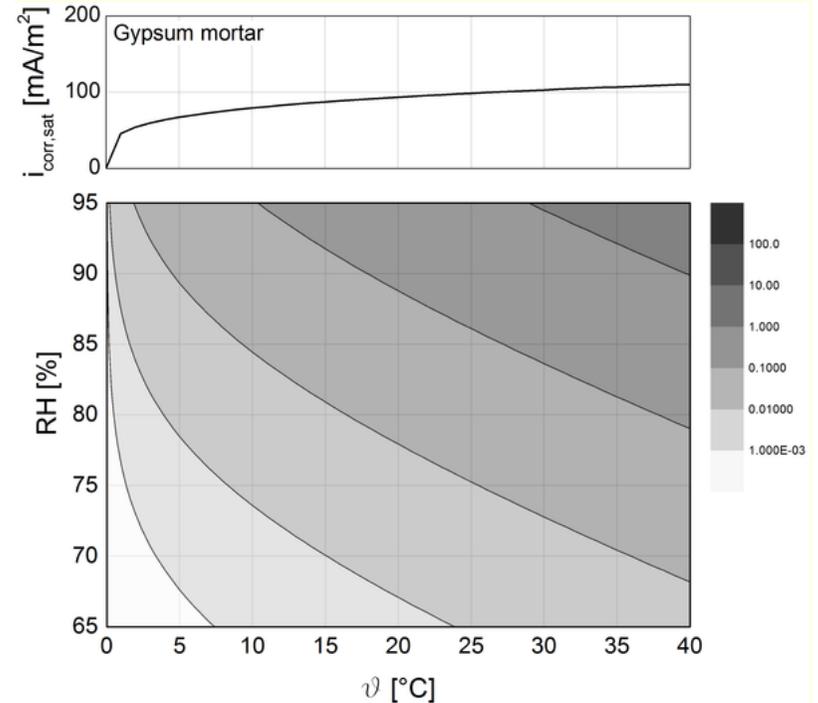
- Kapillarwasserbereich (95 bis 100 % r.F.)

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

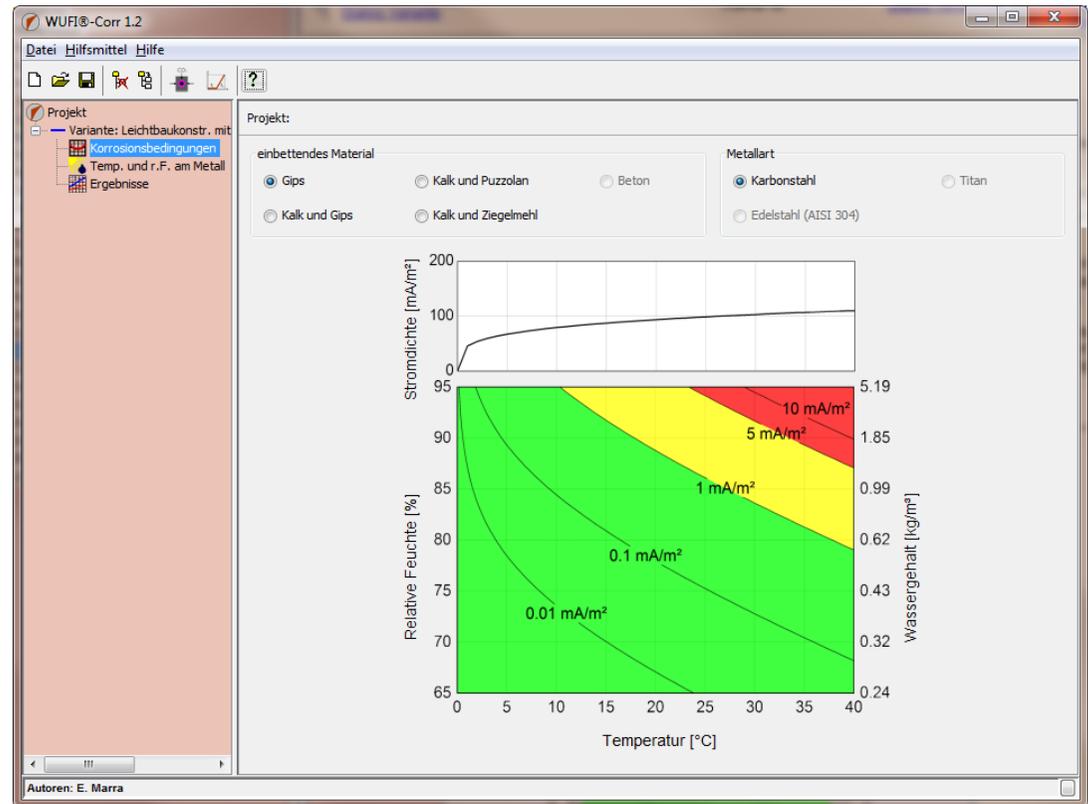
$$i_{corr,2} = i_{corr,sat} \cdot \frac{(k - 100) \cdot RH}{k - RH} \cdot \frac{1}{100} \quad (3)$$

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

- 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.



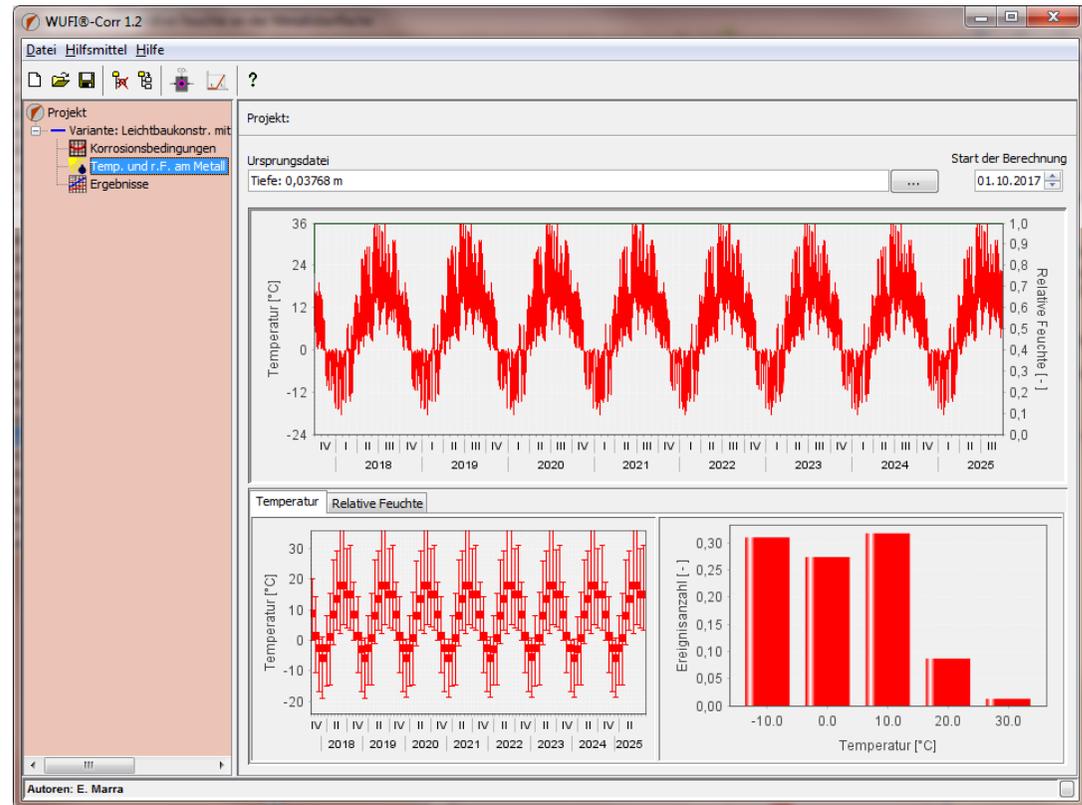
- Die Festlegung der Korrosionsbedingungen erfolgt durch die **Auswahl des Bindemittels / Einbettungsmaterials und des Metalls** (momentan nur Karbonstahl verfügbar).
- Die Art des Einbettungsmaterials beeinflusst mit ihrer Mikrostruktur und der chem. Zusammensetzung der Porenlösung das Korrosionsverhalten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



Hinweise:

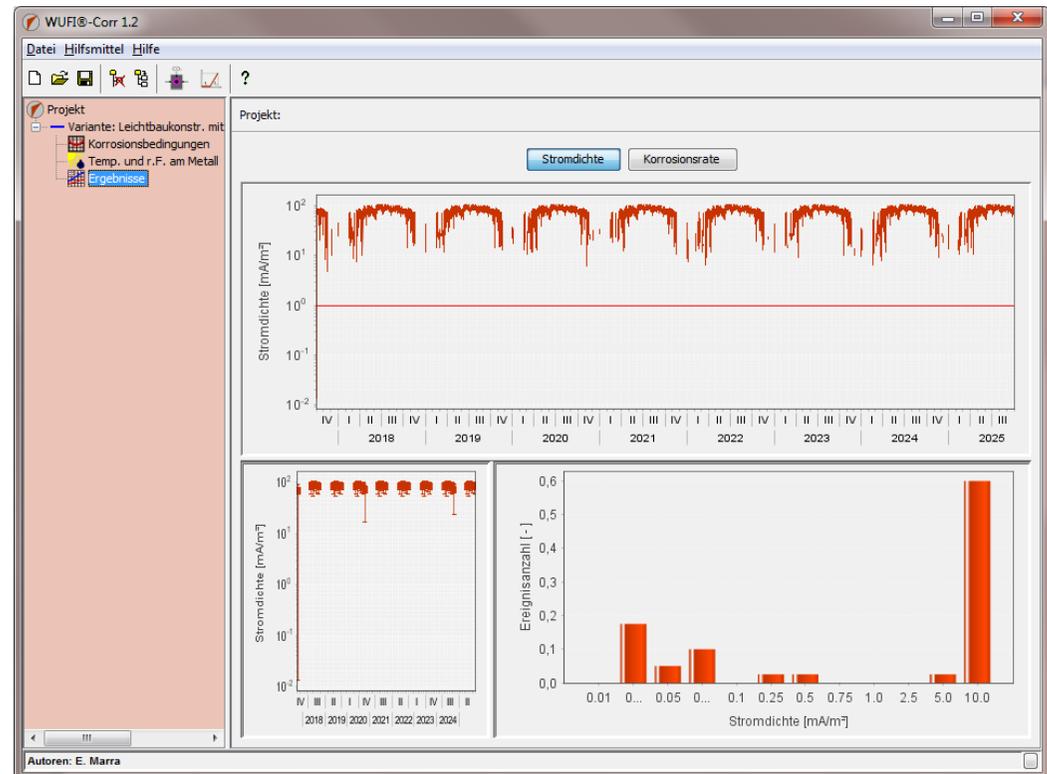
- **Beton** ist bisher noch **nicht implementiert**, da Untersuchungen im entsprechenden Umfang bislang nicht zur Verfügung stehen.
- Vereinfacht und auf der sicheren Seite liegend lässt sich karbonatisierter Beton **durch einen hydraulischen Mörtel** (vorzugsweise Kalk-Puzzolan) in der Simulation **berücksichtigen**, 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 WUFI® oder WUFI® Film, werden die Klimabedingungen automatisch an WUFI® Corr übergeben und angezeigt.
- Andernfalls können Temperatur und relative Feuchte manuell importiert werden.



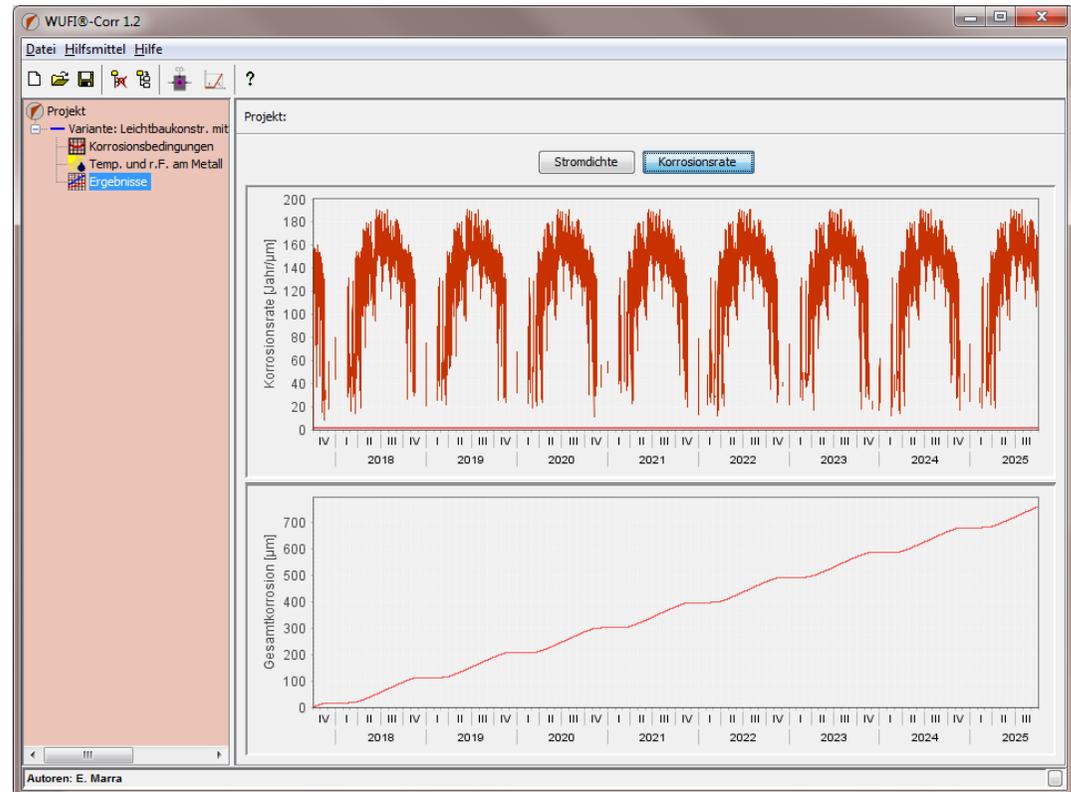
Stromdichte [mA/m²]

- Oberes Diagramm: zeitlicher Verlauf der berechneten Korrosionsrate des Metalls als Stromdichte [mA/m²] und Angabe des Grenzwerts.
- Untere Diagramme: Mittelwerte der einzelnen Monate (links) und relative Häufigkeit der Stromdichte (rechts).



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

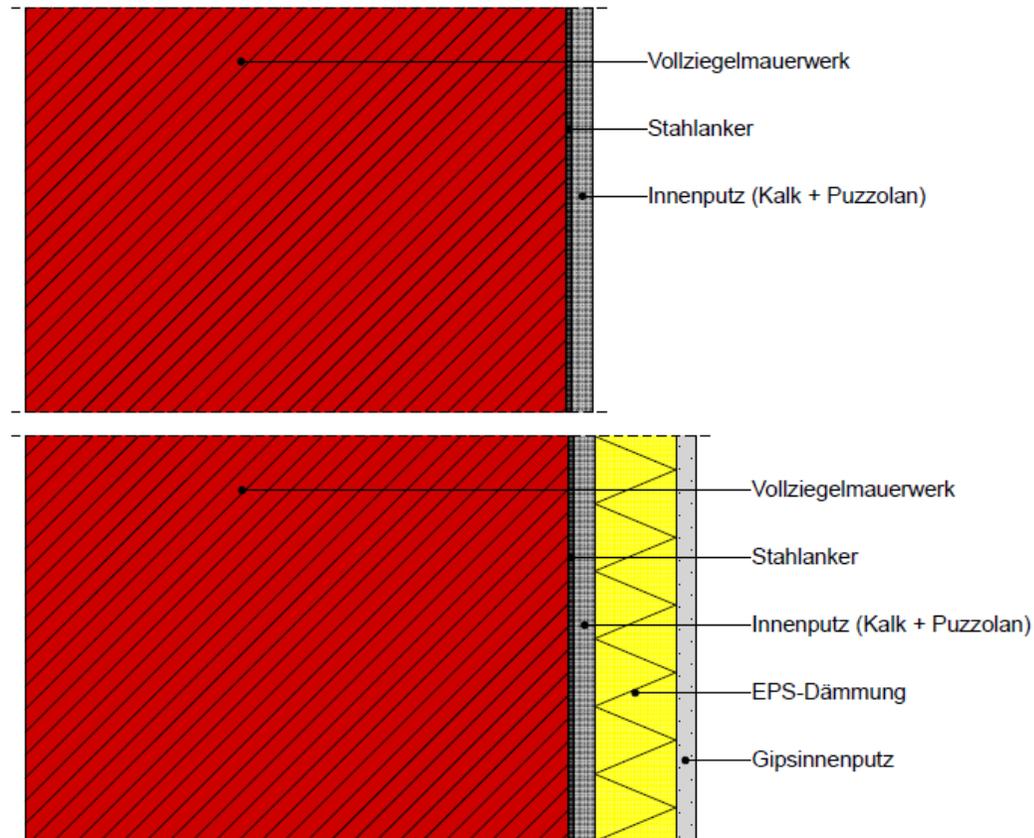
- Oberes Diagramm: zeitlicher Verlauf der berechneten Korrosionsrate des Metalls als Korrosionsgeschwindigkeit [$\mu\text{m}/\text{Jahr}$] und Angabe des Grenzwerts.
- Unteres Diagramm: Die über den gesamten Berechnungszeitraum aufsummierte Querschnittsreduktion.



- Das **Berechnungsergebnis** soll v.a. als **Anhaltswert für den Vergleich und die Einstufung verschiedener Konstruktionsvarianten** dienen.
- 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
($a = 0,68$)
- Explizite Strahlungsbilanz nicht verwendet
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: EN 15026 mit normaler Feuchtelast

Beispiel A: Bauteileingabe

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface for defining a wall assembly. The main window displays the 'Aufbau/Monitorpositionen' (Construction/Monitoring positions) tab for the variant 'ungedämmte Außenwand mit Stahlanker' (undamped exterior wall with steel anchor). The assembly is defined by three layers: an outer layer of 'Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel' (0.4 m thick), a middle layer of 'Stahlanker' (0.015 m thick), and an inner layer of 'Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel' (0.015 m thick). The 'Dicke [m]' (Thickness [m]) field for the steel anchor layer is highlighted with a green box. A blue arrow points from a text box to this field. The interface also shows a tree view on the left, a toolbar at the top, and a bottom status bar indicating 'Einheiten: SI' and 'Letzte Rechnung: 08.08.2017'. The overall wall thickness is 0.415 m, with a thermal resistance of 0.61 m²K/W and a U-value of 1.256 W/m²K.

Position des Stahlankers

Wandaufbau eingeben
ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel A: Orientierung und Neigung des Bauteils

Eingabe: Bauteil - Orientierung

WUFI® Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 ungedämmte Außenwand

Bauteil

Aufbau/Monitorpositionen

✓ Aufbau/Monitorpositionen

✓ Orientierung

✓ Oberflächenübergangskoeff.

✓ Anfangsbedingungen

Steuerung

☀ Klima

📊 Schnellgrafik

Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

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

Orientierung

N

W O

S

West

Neigung

Neigung [°] 90

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 Letzte Rechnung: 08.08.2017

Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel A: Oberflächenübergangskoeffizienten

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

WUFI Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Projekt

Variante: 1 ungedämmte Außenw...

Bauteil

- ✓ Aufbau/Monitorpositionen
- ✓ Orientierung
- ✓ Oberflächenübergangskoeff.
- ✓ Anfangsbedingungen
- Steuerung
- Klima
- Schnellgrafik

Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Außenoberfläche (linke Seite)

Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K] 17.0 Außenwand

beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/m²K] 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 [-] ---

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/m²K] 8.0 (Außenwand)

Sd-Wert [m] --- Keine Beschichtung

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

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 6.1 software interface. The main window is titled 'Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker'. The 'Anfangsbedingungen' (Initial Conditions) tab is active. Two green boxes highlight the 'Anfangsfeuchte im Bauteil' (Initial moisture in the component) and 'Anfangstemperatur im Bauteil' (Initial temperature in the component) sections. Both are set to 'Über das Bauteil konstant' (Constant over the component). Below these, the 'Relative Anfangsfeuchte [-]' is set to 0.8 and the 'Anfangstemperatur im Bauteil [°C]' is set to 20. A table titled 'Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten' (Initial water content in individual layers) is also visible.

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Vollziegelmauerwerk	0.4	18.0
2	Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel	0.015	8.36

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

Keine Änderung erforderlich

Beispiel A: Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window is titled 'Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker'. The left sidebar shows a project tree with 'Steuerung' selected, and 'Zeit/Profile' highlighted. The main area displays a table titled 'Start & Ende / Profile' with the following data:

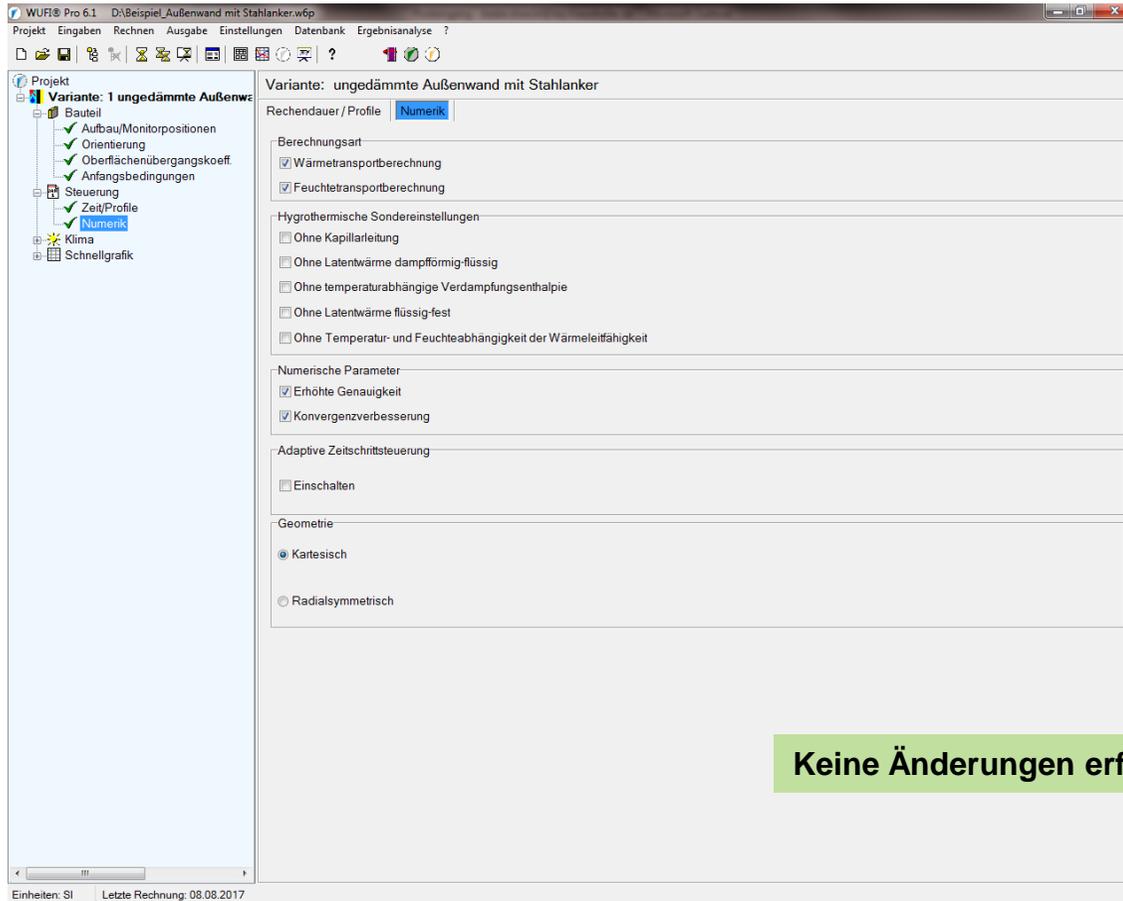
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2017	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2022	00:00:00

Below the table, there is a 'Rechenzeitschritt [h]' input field with the value '1'. The status bar at the bottom indicates 'Einheiten: SI' and 'Letzte Rechnung: 08.08.2017'.

Berechnungszeitraum anpassen

Beispiel A: Numerische Einstellungen

Eingabe: Steuerung – Numerik



The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window title is "WUFI Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Variante: 1 ungedämmte Außenwand" selected, and sub-items like "Bauteil", "Steuerung", and "Klima". The "Steuerung" sub-item is expanded, showing "Zeit/Profile" and "Numerik" (highlighted in blue). The main panel displays the "Numerik" settings for the selected variant. The "Rechendauer / Profile" tab is active, showing the following options:

- Berechnungsart:**
 - Wärmehtransportberechnung
 - Feuchtetransportberechnung
- 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

At the bottom of the window, it says "Einheiten: SI" and "Letzte Rechnung: 08.08.2017".

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel A: Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

WUFI Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

Projekt Eingaben Rechnen Ausgabe Einstellungen Datenbank Ergebnisanalyse ?

Variante: ungedämmte Außenwand mit Stahlanker

Außenklima (linke Seite) Innenklima (rechte Seite)

Aus Karte / Datei 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 Diffuse Solarstrahlung

ISD [W/m²]

Daten-Info

Klimaort:	Holzkirchen
Breite [°]:	47,88 Nord
Länge [°]:	11,73 Ost
Höhe über NN [m]:	680
Zeitzone:	1,0
Anzahl Datenzeilen:	8760
Beschreibung:	...
Kommentar:	...

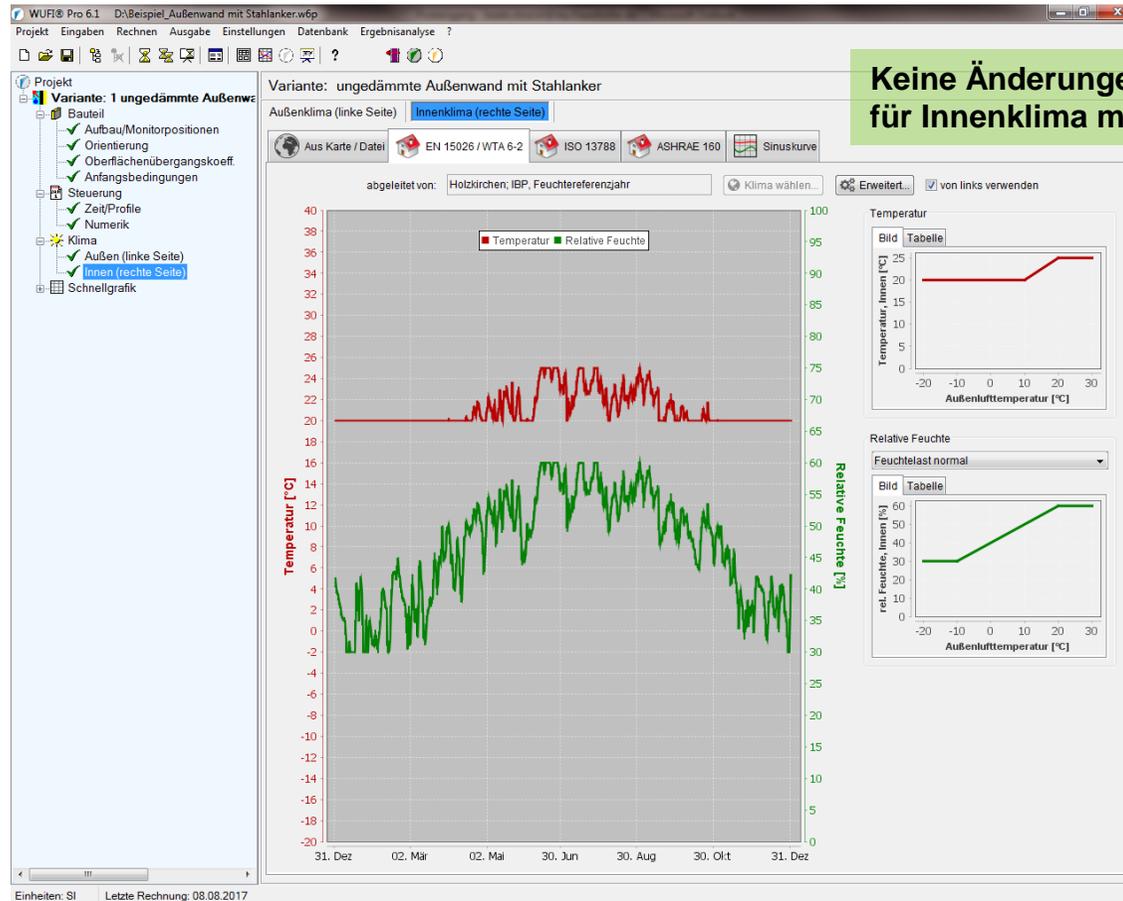
Klimaelemente

Temperatur:	TA
Relative Feuchte:	HREL
Kurzwellige Strahlung:	ISGH, ISD
Langwellige Strahlung:	ILAH
Wind:	WS, WV, WD
Regen:	RN
Bewölkungsgrad:	—
Luftdruck:	PSTA

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

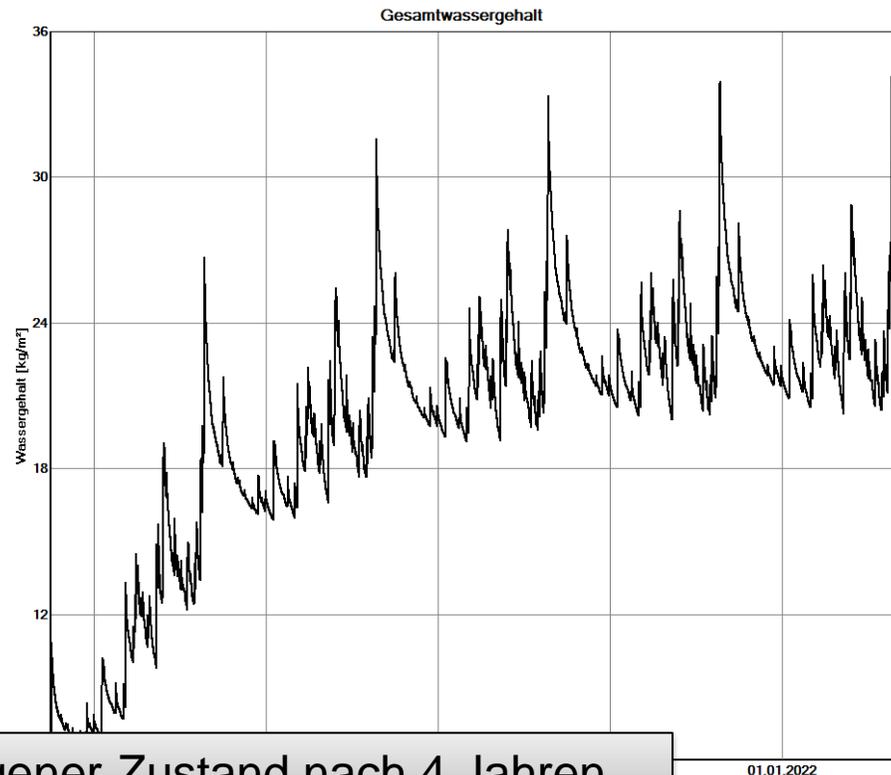
Beispiel A: Raumklima

Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



Beispiel A: Auswertung Gesamtwassergehalt

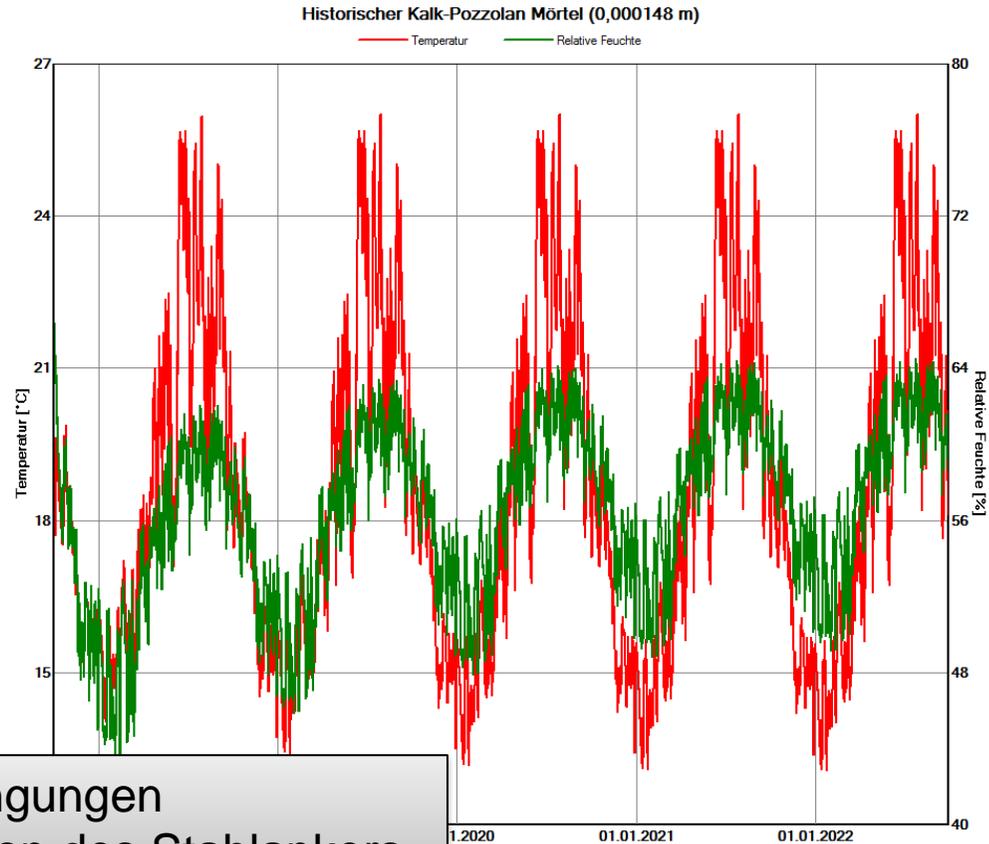
Auswertung: Gesamtwassergehalt



Eingeschwungener Zustand nach 4 Jahren.

Beispiel A: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

Auswertung: Monitor an der Position des Stahlankers

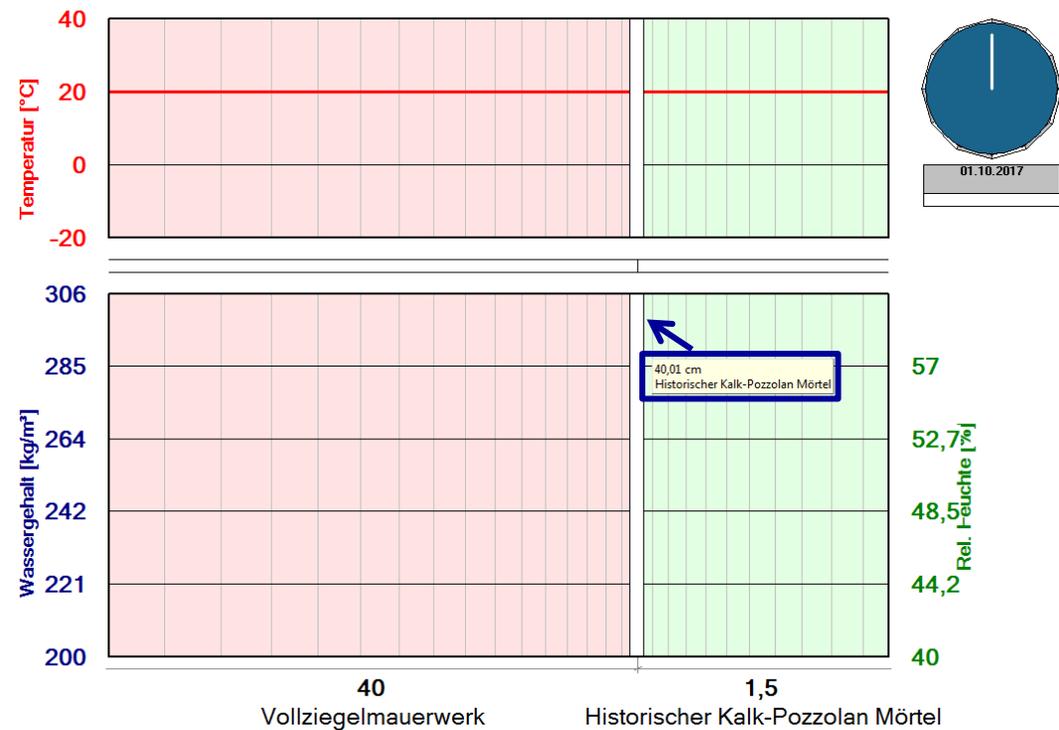


Lokale Bedingungen
an der Position des Stahlankers

Beispiel A: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

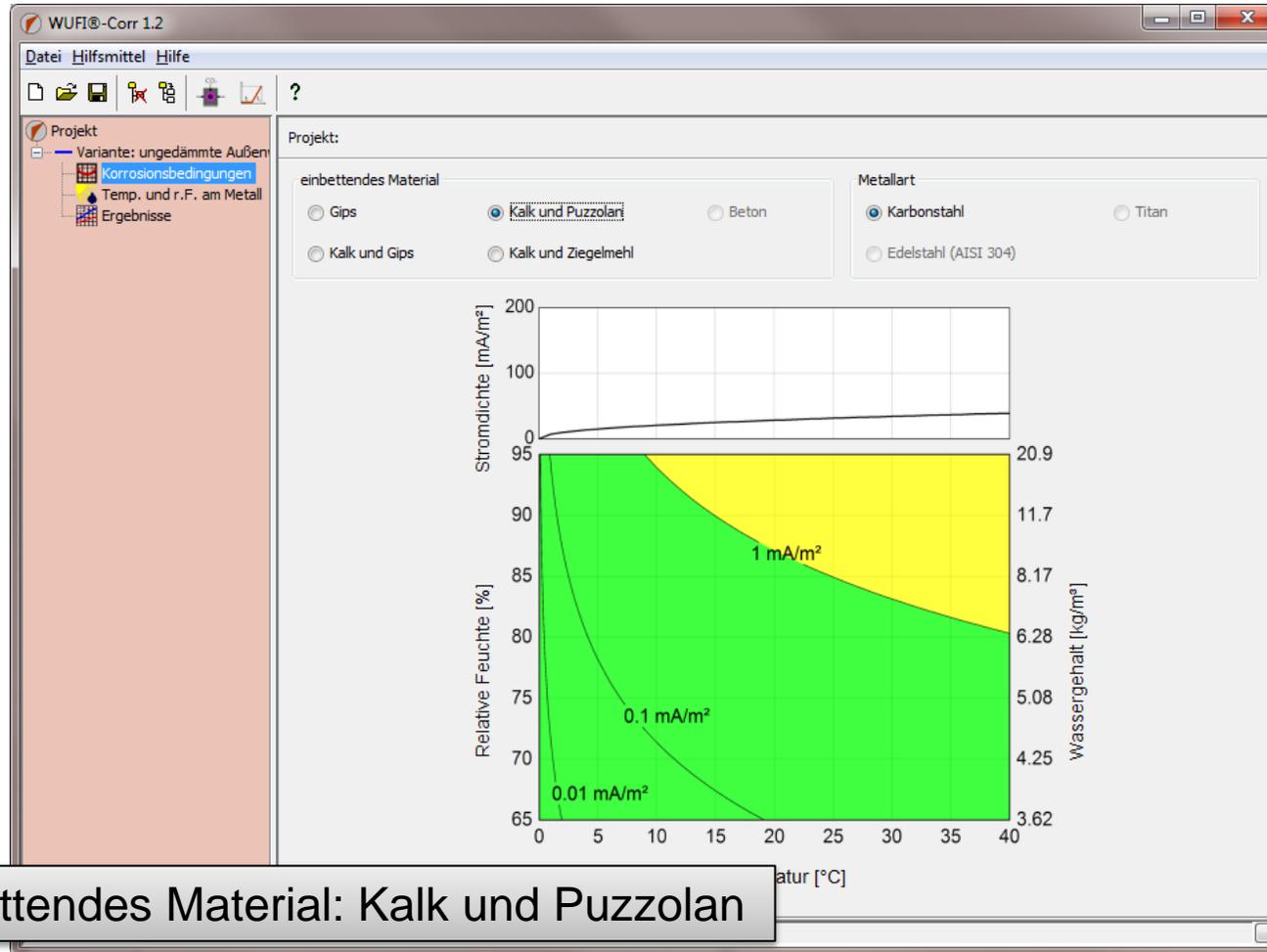
Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahlankers

- 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.



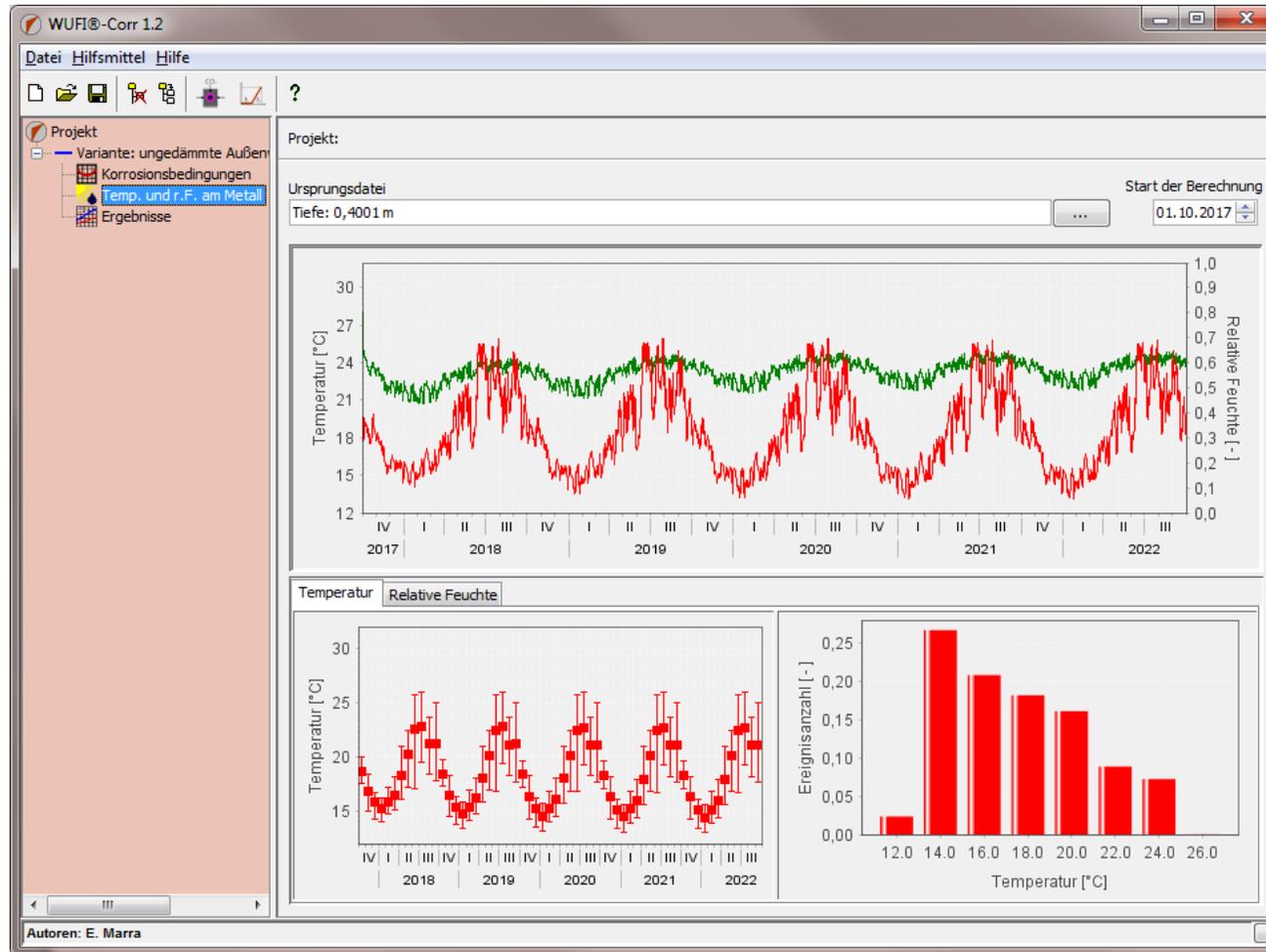
Beispiel A: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



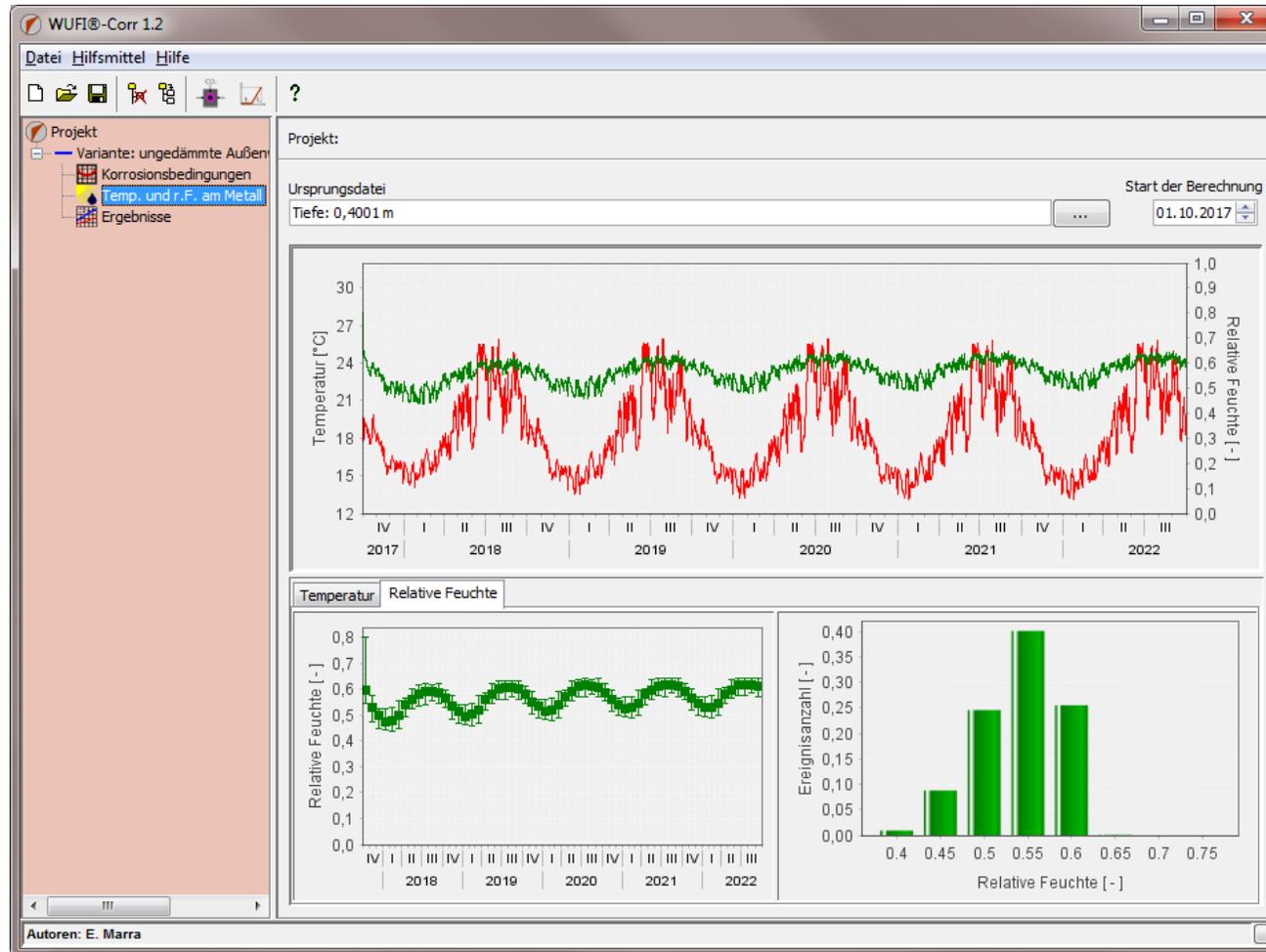
Beispiel A: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



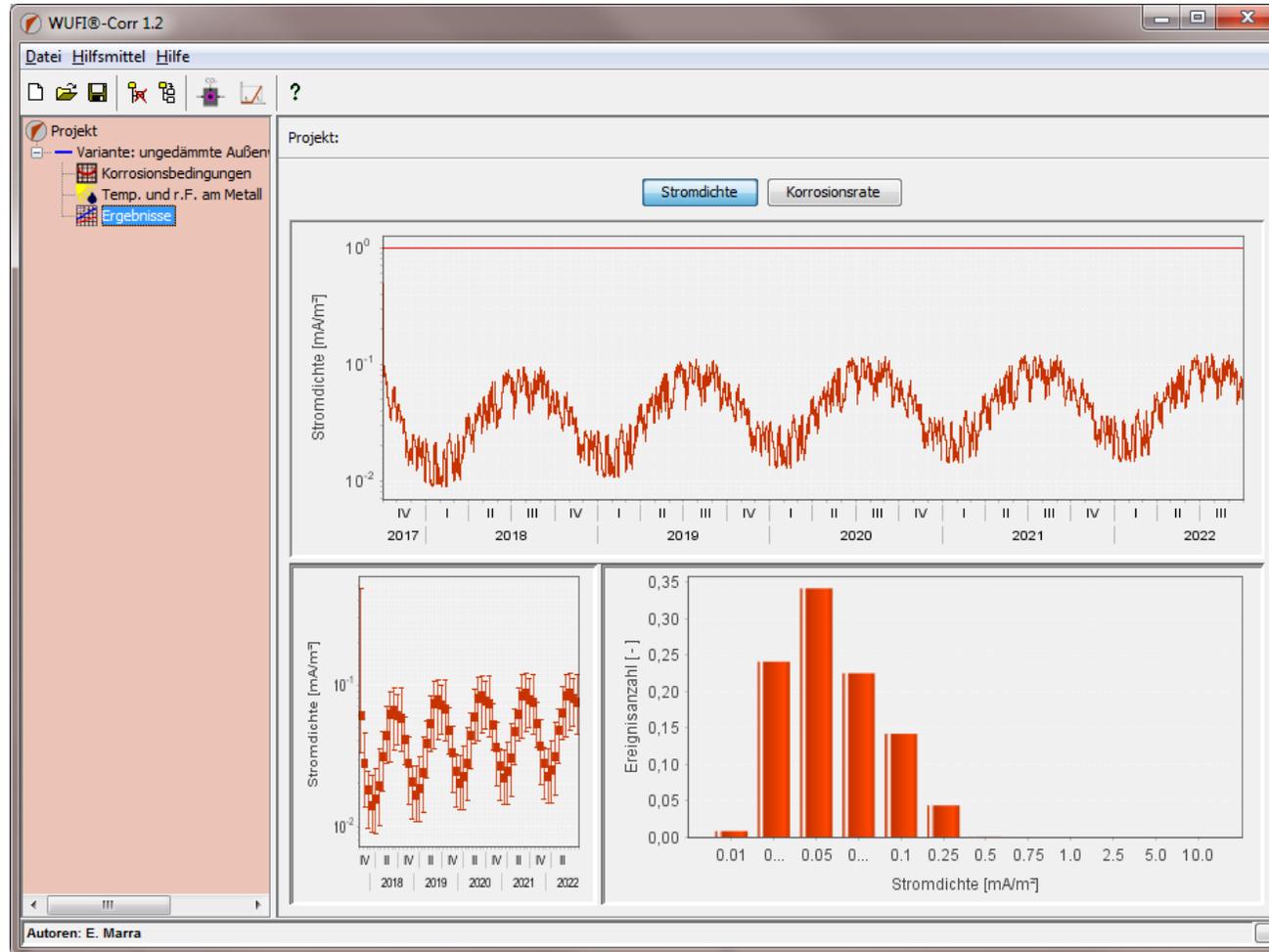
Beispiel A: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



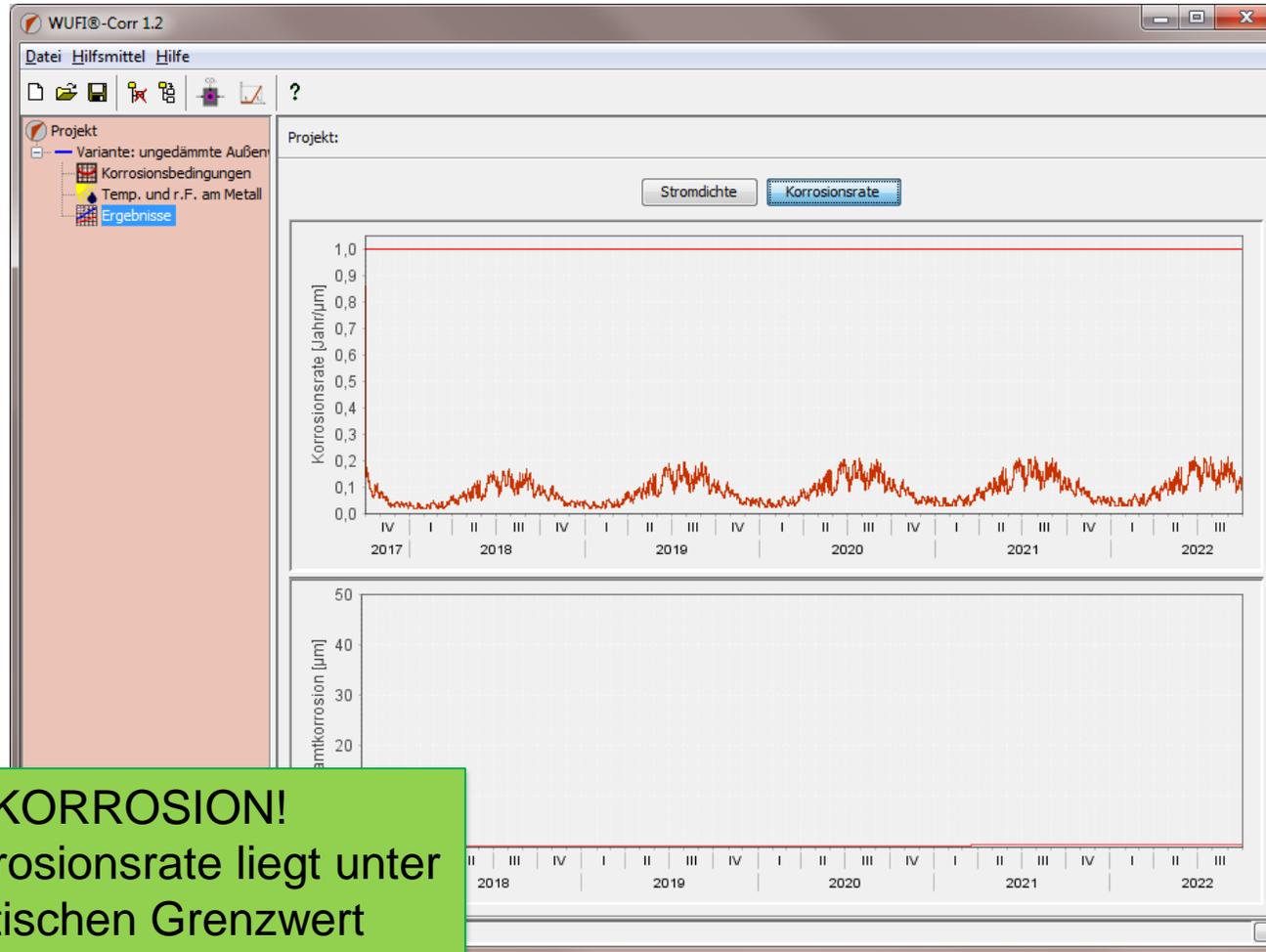
Beispiel A: Auswertung WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



Beispiel A: Auswertung WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahlankers



KEINE KORROSION!
Die Korrosionsrate liegt unter dem kritischen Grenzwert

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/m³) 0,06 m
- Innenputz (Gips) 0,015 m

Randbedingungen:

- Außenwand nach Westen orientiert
- Rotes Vollziegelmauerwerk
($a = 0,68$)
- Explizite Strahlungsbilanz nicht verwendet
- Außenklima: Holzkirchen
- Innenklima: EN 15026 mit normaler Feuchtelast

Beispiel B: Bauteilaufbau

Eingabe: Bauteil - Aufbau / Monitorpositionen

WUFI® Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

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
- Schnellgrafik

Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker

Aufbau/Monitorpositionen Orientierung/Neigung/Höhe Oberflächenübergangskoeff. Anfangsbedingungen

Schichtname

Innenputz (Gips) **Dicke [m]** 0,015

Außen (linke Seite) 0,4 Innen (rechte Seite) 0,015 0,06 0,015

Quellen, Senken

Neue Schicht

Duplizieren

Löschen

Arbeiten Aufbau

Bild

Tabelle

Zuordnung aus Datenbanken

Materialdatenbank

Konstruktionsdatenbank

Gitteraufbau

Automatisch (II)

100 Fein

Aut. Unterteilung in Manuelle kopieren

Gesamtdicke

Dicke: 0,49 m

Wärmeschutzigenschaften

Wärmedurchlasswiderstand: 2,18 m²K/W

U-Wert: 0,423 W/m²K

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

Position des Stahlankers

Wandaufbau eingeben
ggf. Schichtdicken anpassen

Beispiel B: Orientierung und Neigung des Bauteils

Eingabe: Bauteil - Orientierung

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window title is "WUFI® Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Variante: 2 innen gedämmte Außenwand" selected. The main workspace is titled "Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker" and has tabs for "Aufbau/Monitorpositionen", "Orientierung/Neigung/Höhe", "Oberflächenübergangskoeff.", and "Anfangsbedingungen". The "Orientierung/Neigung/Höhe" tab is active and contains two panels: "Orientierung" and "Neigung". The "Orientierung" panel shows a compass rose with a yellow arrow pointing West, and a dropdown menu set to "West". The "Neigung" panel shows a diagram of a vertical wall with a yellow arrow indicating a 90-degree tilt, and a dropdown menu set to "90". Below these panels is a section for "Höhe/Schlagregenkoeffizienten" with a checkbox for "Regenbelastung nach ASHRAE Standard 160", a diagram of a building, and input fields for "R1 [-]" (0) and "R2 [s/m]" (0.07). A note states "Hinweis: Regenbelastung = Regen*(R1 + R2*Vwind)". A dropdown menu at the bottom of this section is set to "Kleines Gebäude, Höhe bis 10 m". The status bar at the bottom left shows "Einheiten: SI" and "Letzte Rechnung: 08.08.2017".

Orientierung und Neigung anpassen

Beispiel B: Oberflächenübergangskoeffizient

Eingabe: Bauteil - Oberflächenübergangskoeffizient

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window is titled 'Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker'. The 'Oberflächenübergangskoeff' tab is active. The 'Außenoberfläche (linke Seite)' section contains the following input fields:

- Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]: 17.0 (highlighted in green)
- beinhaltet langwellige Strahlungsanteile [W/m²K]: 6.5
- Windabhängig:
- Sd-Wert [m]: ---- (Keine Beschichtung)
- Kurzwellige Strahlungsabsorptionszahl [-]: 0,68 (highlighted in blue)
- Langwellige Strahlungsemissionszahl [-]: ----
- Explizite Strahlungsbilanz: (highlighted in green)
- Terrestr. kurzw. Reflexionsgrad [-]: 0,2 (Standardwert)
- Anhaltender Anteil des Regens [-]: 0,7 (Gemäß Bauteilneigung, highlighted in yellow)

The 'Innenoberfläche (rechte Seite)' section contains:

- Wärmeübergangskoeffizient [W/m²K]: 8,0 (Außenwand)
- Sd-Wert [m]: ---- (Keine Beschichtung)

Annotations on the right side of the screenshot:

- Wärmeübergangskoeffizient für Wand = 17 W/m²K (green box)
- Farbgebung des Vollziegels (a = 0,68) (blue box)
- Explizite Strahlungsbilanz nicht verwendet (green box)
- Regenwasserabsorption gemäß Bauteilneigung (yellow box)
- Oberflächenübergangskoeffizienten anpassen! (green box)

At the bottom left, it says 'Einheiten: SI' and 'Letzte Rechnung: 08.08.2017'.

Beispiel B: Anfangsbedingungen

Eingabe: Bauteil - Anfangsbedingungen

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window is titled 'Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker'. The 'Anfangsbedingungen' (Initial Conditions) tab is active. Two green boxes highlight the 'Anfangsfeuchte im Bauteil' and 'Anfangstemperatur im Bauteil' sections. In both, the 'Über das Bauteil konstant' (constant over the component) option is selected. Below these, the 'Relative Anfangsfeuchte [-]' is set to 0.8 and the 'Anfangstemperatur im Bauteil [°C]' is set to 20. A table titled 'Anfangswassergehalt in einzelnen Schichten' (Initial moisture content in individual layers) is displayed below the input fields.

Nr.	Material Schicht	Dicke [m]	Wassergehalt [kg/m³]
1	Vollziegelmauerwerk	0.4	18.0
2	Historischer Kalk-Pozzolan Mörtel	0.015	8.36
3	EPS (Wärmeleit.: 0.04 W/mK - Dichte: 15 kg/m³)	0.06	1.79
4	Innenputz (Gips)	0.015	6.3

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

Keine Änderung erforderlich

Beispiel B: Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The main window title is 'WUFI Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p'. The menu bar includes 'Projekt', 'Eingaben', 'Rechnen', 'Ausgabe', 'Einstellungen', 'Datenbank', and 'Ergebnisanalyse'. The left sidebar shows a project tree with 'Variante: 2 innen gedämmte Außenwand' selected, and 'Steuerung' is expanded to show 'Zeit/Profile' checked. The main area displays 'Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker' and a 'Rechendauer / Profile' table. The table has columns for 'Rechnung', 'Profile', 'Datum', and 'Stunde'. The data rows are: 'Start' with 'Profil 1' on '01.10.2017' at '00:00:00', and 'Ende' with 'Profil 2' on '01.10.2022' at '00:00:00'. Below the table, there is a 'Rechenzeitschritt [h]' input field with the value '1'. A green box highlights the table, and a green callout box points to it with the text 'Berechnungszeitraum anpassen'. The status bar at the bottom indicates 'Einheiten: SI' and 'Letzte Rechnung: 08.08.2017'.

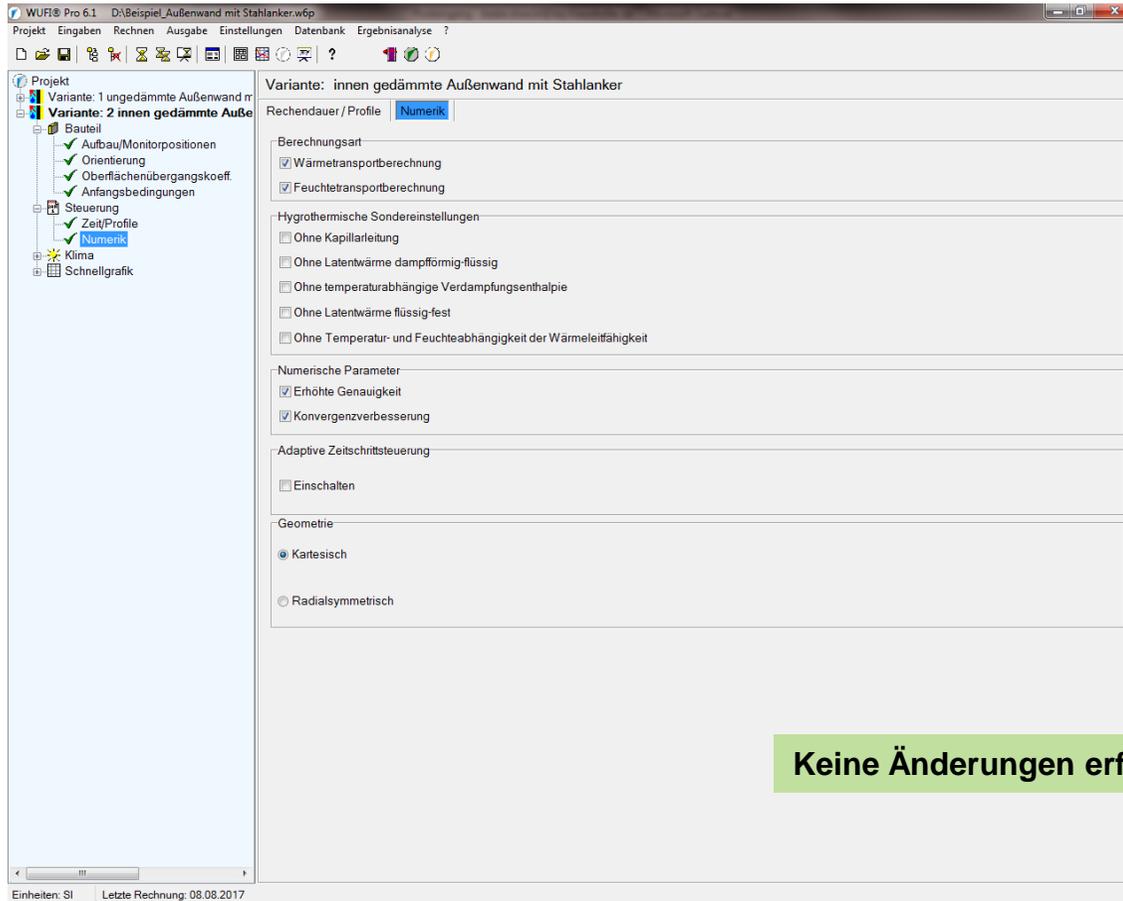
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2017	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2022	00:00:00

Rechenzeitschritt [h] 1

Berechnungszeitraum anpassen

Beispiel B: Numerische Einstellungen

Eingabe: Steuerung – Numerik



The screenshot shows the WUFI Pro 6.1 software interface. The window title is "WUFI Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p". The menu bar includes "Projekt", "Eingaben", "Rechnen", "Ausgabe", "Einstellungen", "Datenbank", and "Ergebnisanalyse". The left sidebar shows a project tree with "Variante: 2 innen gedämmte Außenwand" selected, and sub-items like "Bauteil", "Steuerung", and "Numerik". The main panel displays settings for "Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker" under the "Rechendauer / Profile" tab. The "Numerik" sub-tab is active, showing the following settings:

- Berechnungsart:**
 - Wärmehtransportberechnung
 - Feuchtetransportberechnung
- 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

At the bottom of the window, it says "Einheiten: SI" and "Letzte Rechnung: 08.08.2017".

Keine Änderungen erforderlich

Beispiel B: Außenklima

Eingabe: Klima – Außen (linke Seite)

WUFI® Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

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
 - Zeit/Profile
 - Numerik
- Klima
 - Außen (linke Seite)
 - Innen (rechte Seite)
- Schnellgrafik

Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker

Außenklima (linke Seite) Innenklima (rechte Seite)

Aus Karte / Datei 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

Diffuse Solarstrahlung

ISD [W/m²]

Datei-Info

Klimaort:	Holzkirchen
Breite [°]:	47,88 Nord
Länge [°]:	11,73 Ost
Höhe über NN [m]:	680
Zeitzone:	1,0
Anzahl Datenzellen:	8760
Beschreibung:	...
Kommentar:	...

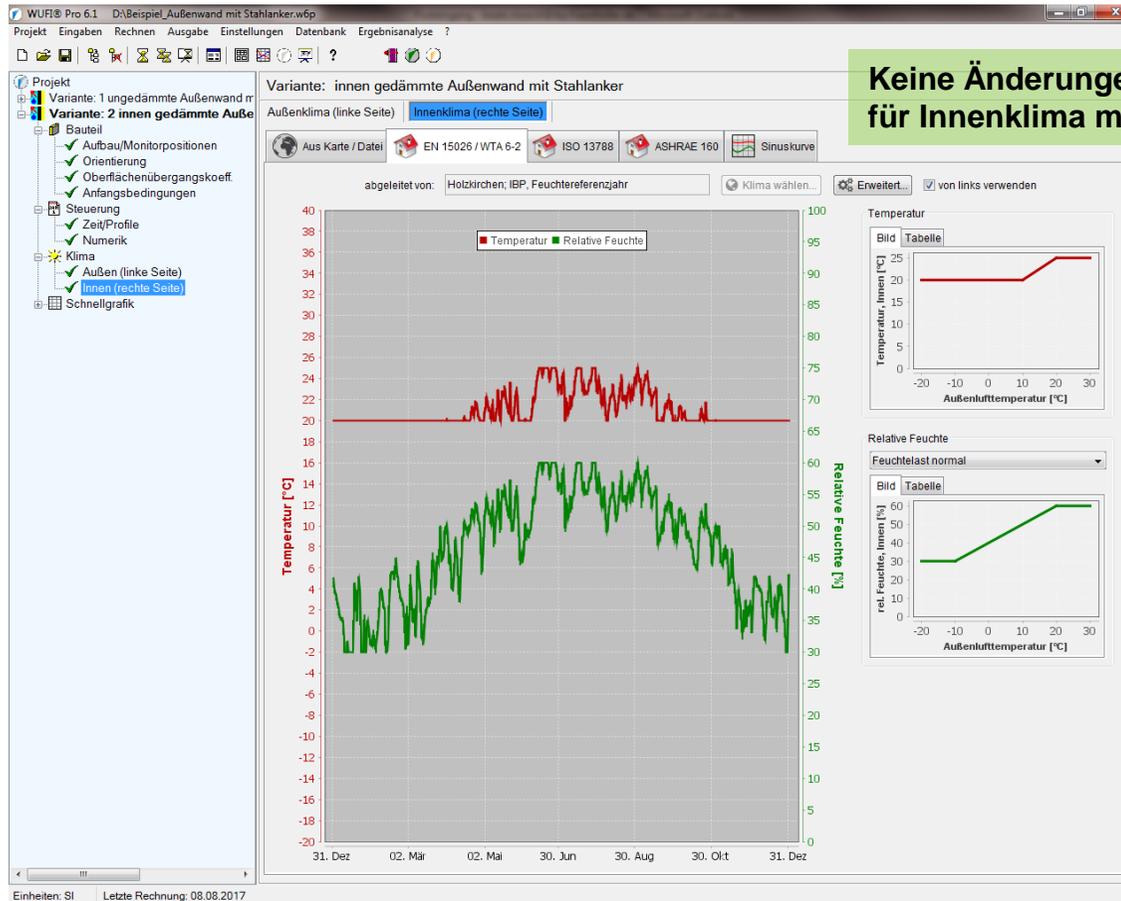
Klimaelemente

Temperatur:	TA
Relative Feuchte:	HREL
Kurzwellige Strahlung:	ISGH, ISD
Langwellige Strahlung:	ILAH
Wind:	WS, WV, WD
Regen:	RN
Bewölkungsgrad:	—
Luftdruck:	PSTA

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

Beispiel B: Raumklima

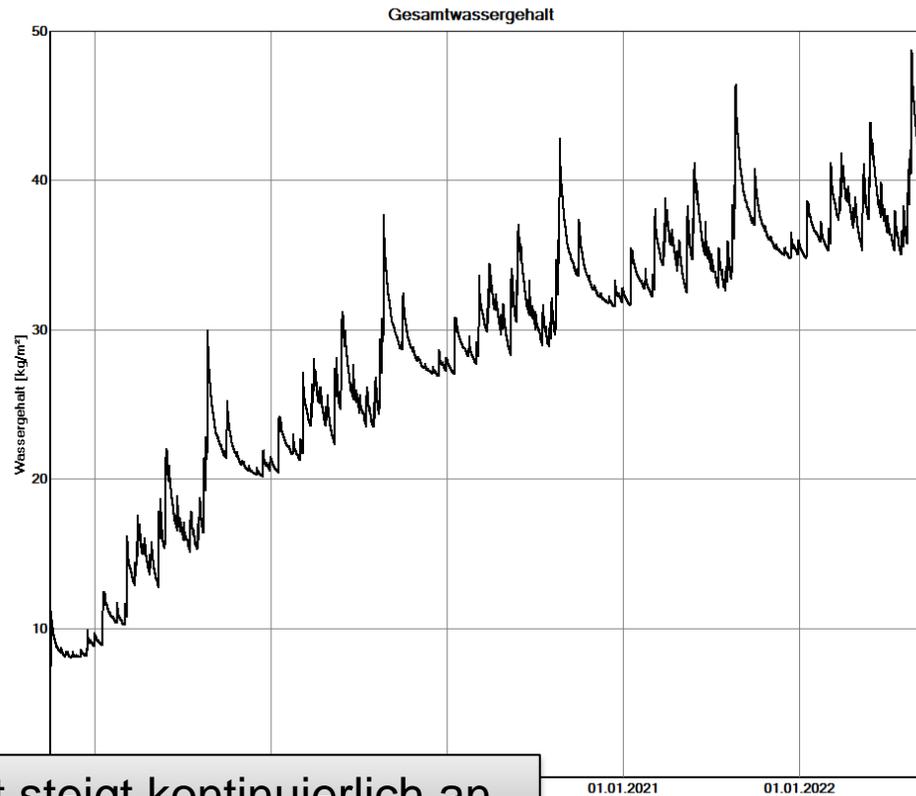
Eingabe: Klima – Innen (rechte Seite)



**Keine Änderungen erforderlich
für Innenklima mit normaler Feuchtelast**

Beispiel B: Auswertung Gesamtwassergehalt

Auswertung: Gesamtwassergehalt



Wassergehalt steigt kontinuierlich an.

Beispiel B: Längerer Berechnungszeitraum

Eingabe: Steuerung – Zeit / Profile

WUFI® Pro 6.1 D:\Beispiel_Außenwand mit Stahlanker.w6p

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
 - Zeit/Profile
 - Numerik
- Klima
 - Außen (linke Seite)
 - Innen (rechte Seite)
- Schnellgrafik

Variante: innen gedämmte Außenwand mit Stahlanker

Rechendauer / Profile Numerik

Start & Ende / Profile			
Rechnung	Profile	Datum	Stunde
Start	Profil 1	01.10.2017	00:00:00
Ende	Profil 2	01.10.2027	00:00:00

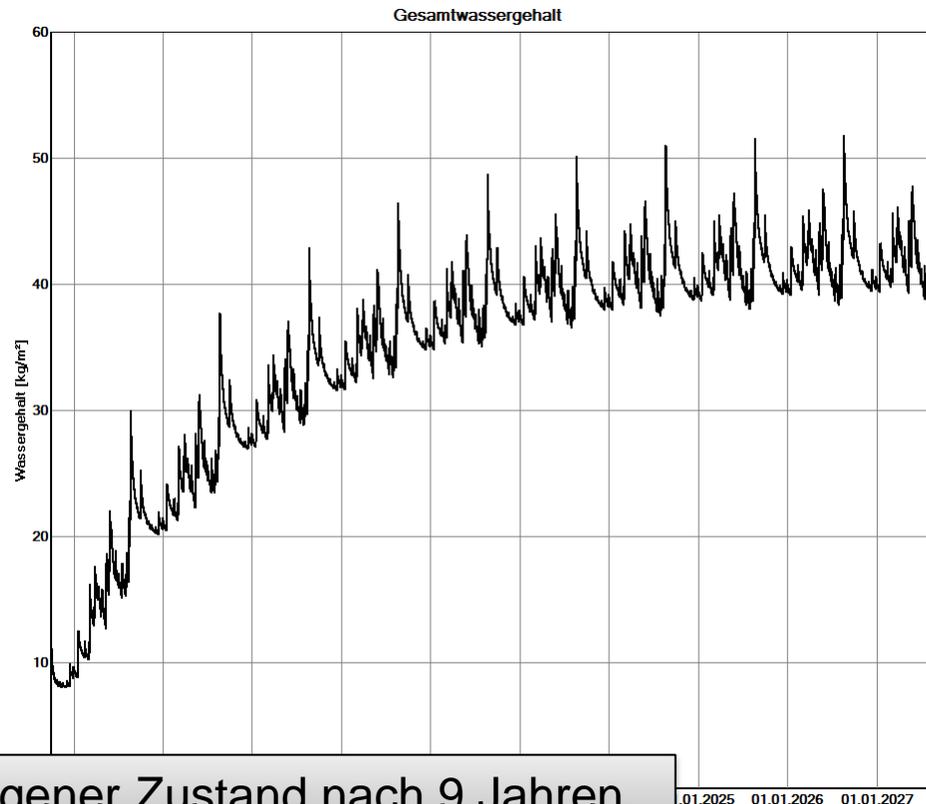
Rechenzeitschritt [h] 1

Einheiten: SI Letzte Rechnung: 08.08.2017

Längerer Berechnungszeitraum notwendig

Beispiel B: Auswertung Gesamtwassergehalt

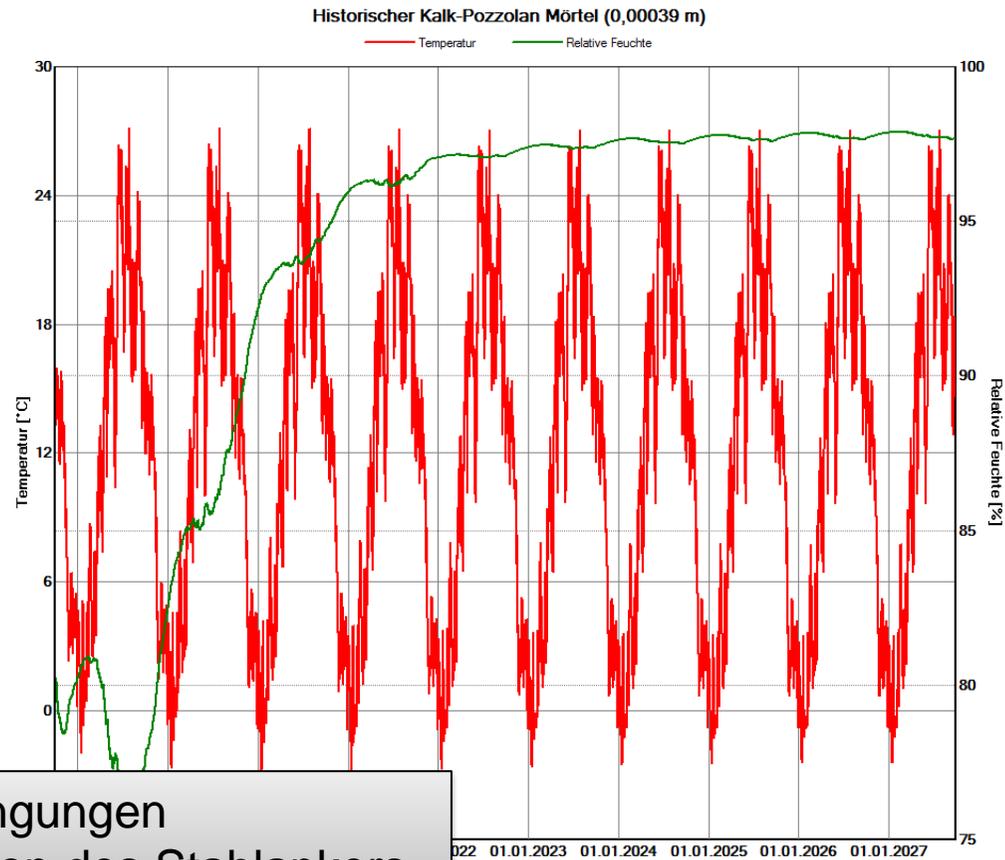
Auswertung: Gesamtwassergehalt



Eingeschwungener Zustand nach 9 Jahren.

Beispiel B: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

Auswertung: Monitor an der Position des Stahlankers

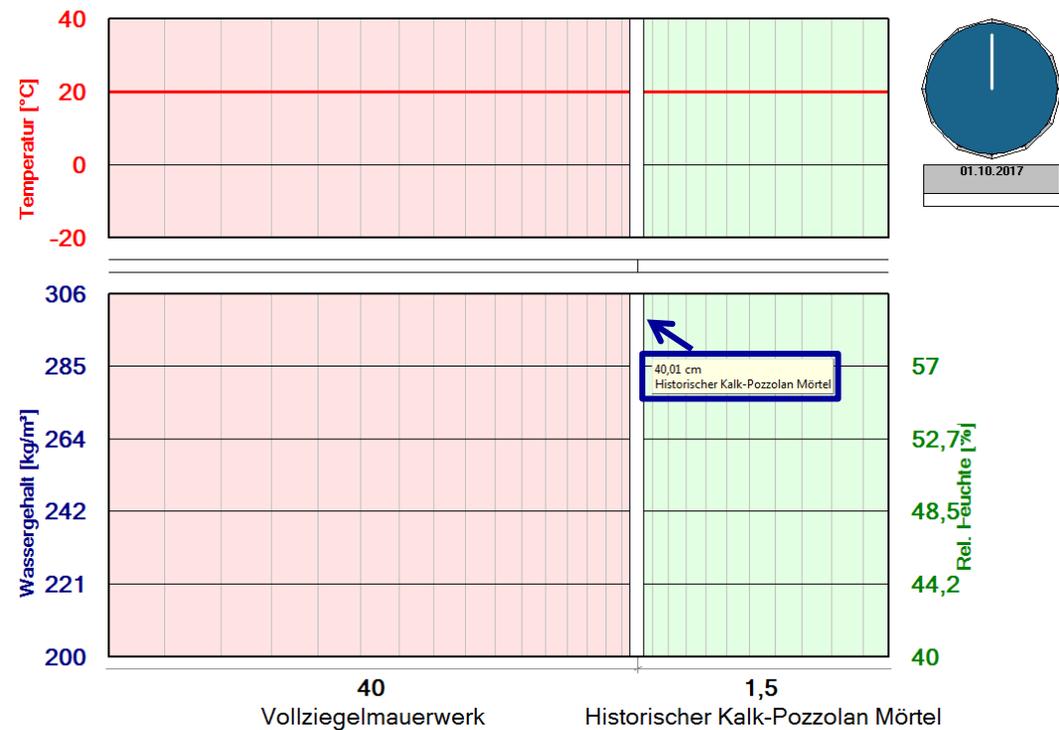


Lokale Bedingungen
an der Position des Stahlankers

Beispiel B: Auswertung Feuchteverhältnisse am Stahlanker

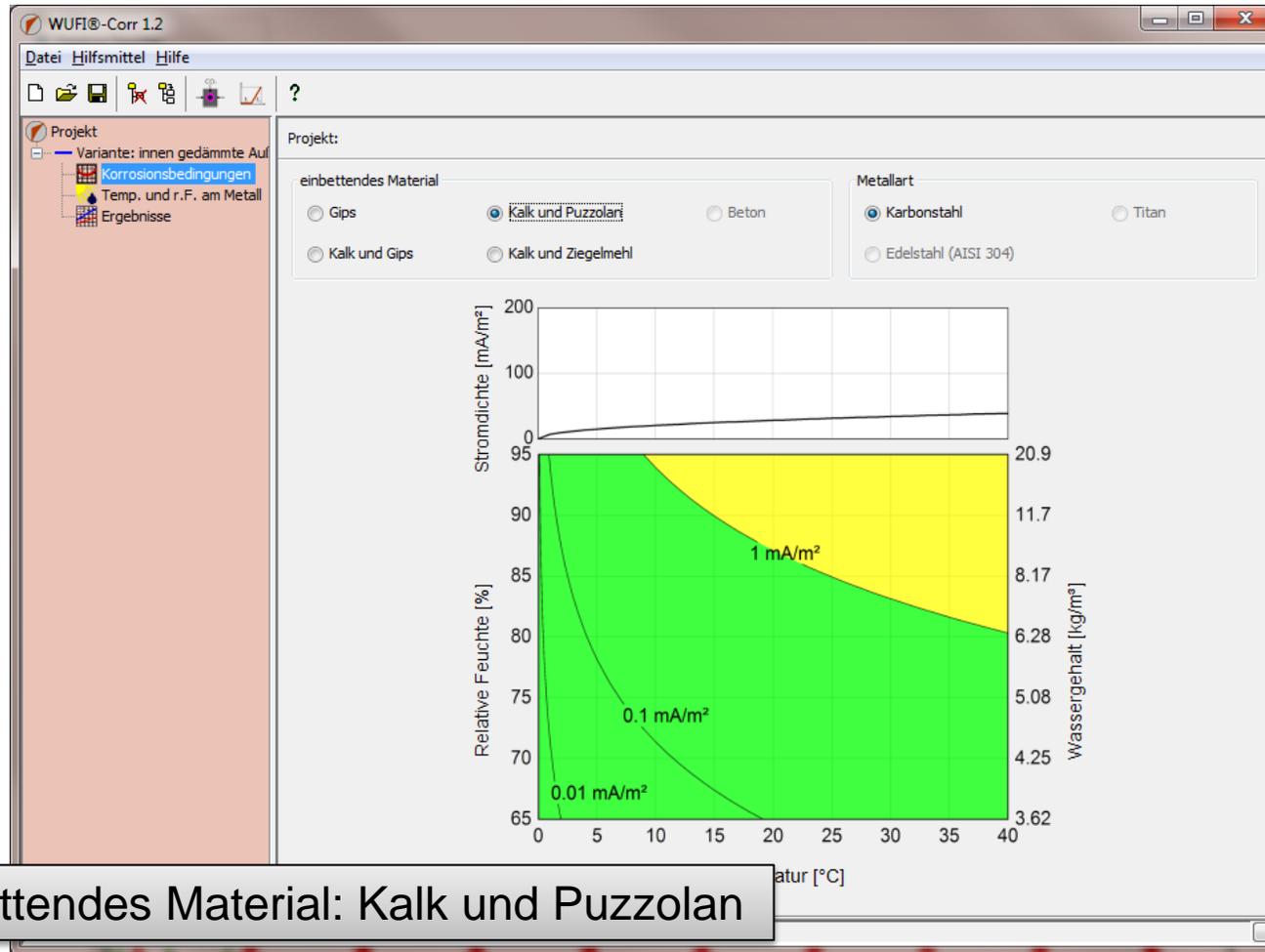
Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahlankers

- 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.



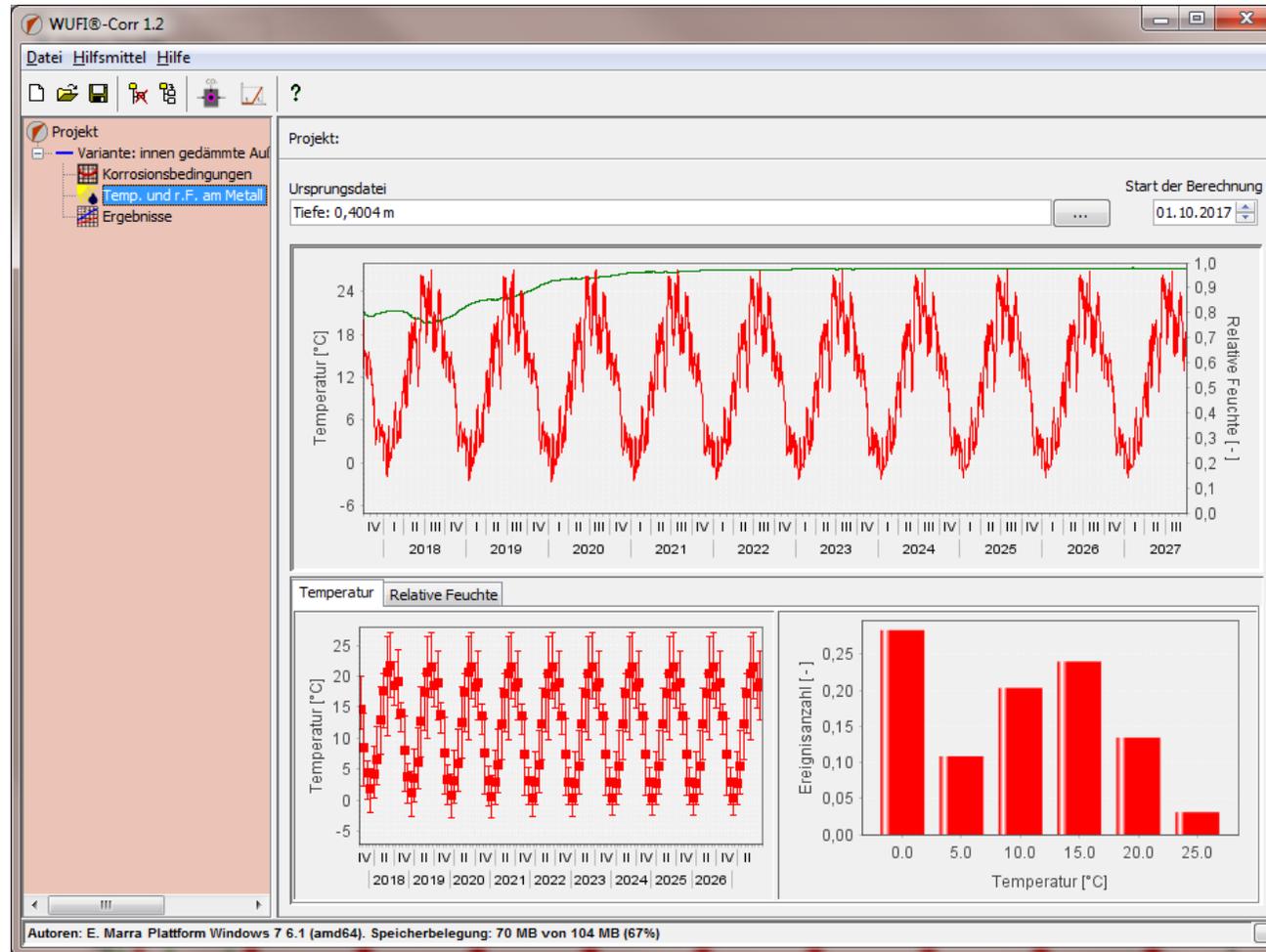
Beispiel B: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



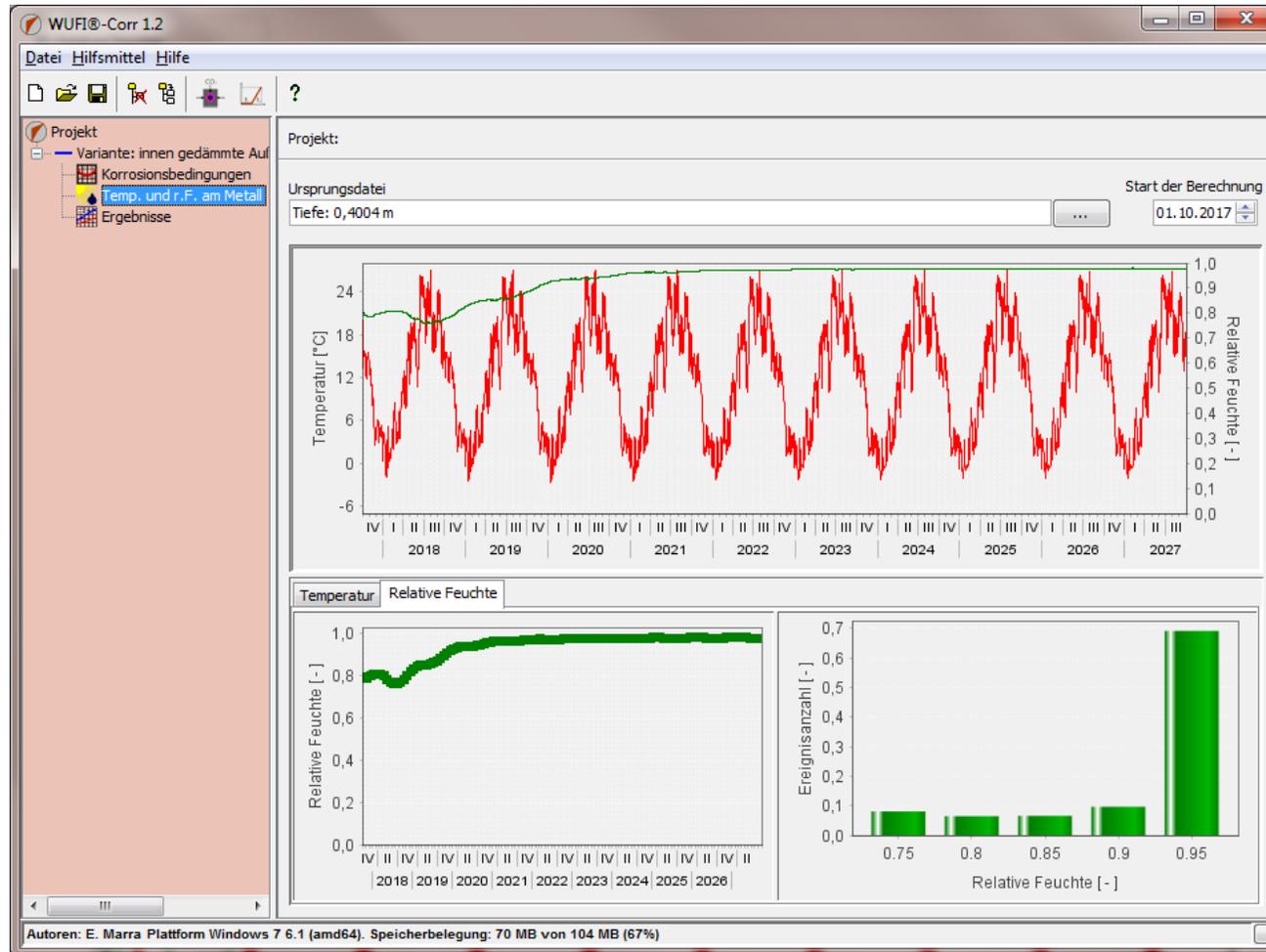
Beispiel B: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



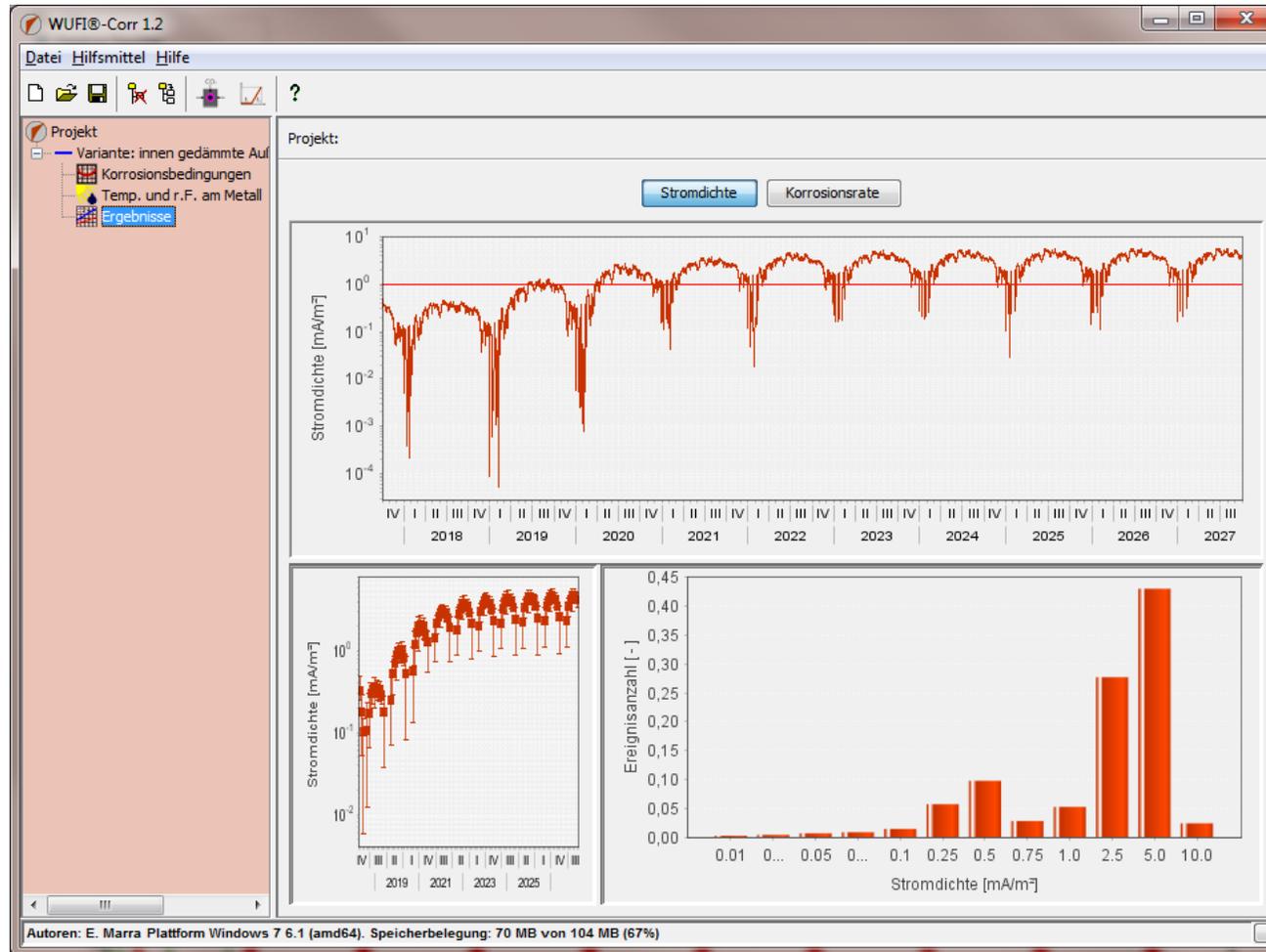
Beispiel B: Einstellungen WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



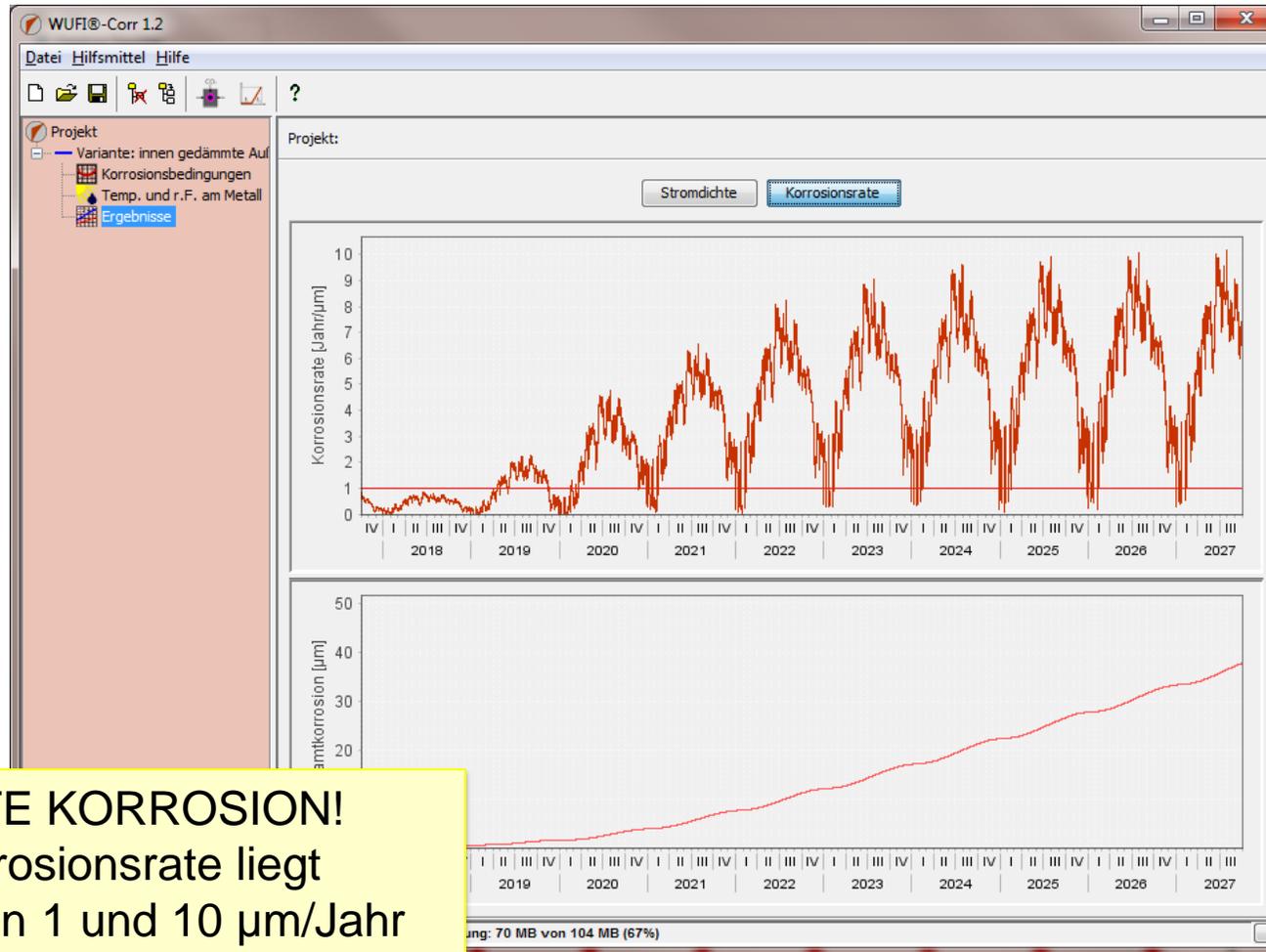
Beispiel B: Auswertung WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



Beispiel B: Auswertung WUFI® Corr

Auswertung: Korrosionsrisiko an der Position des Stahllankers



LEICHTE KORROSION!
Die Korrosionsrate liegt
zwischen 1 und 10 $\mu\text{m}/\text{Jahr}$