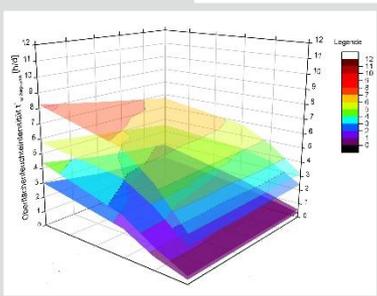
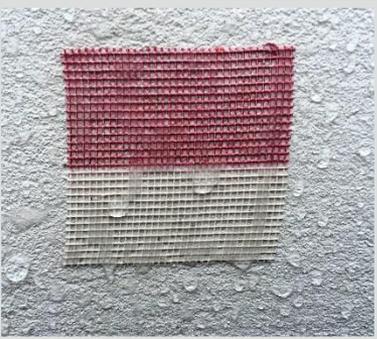
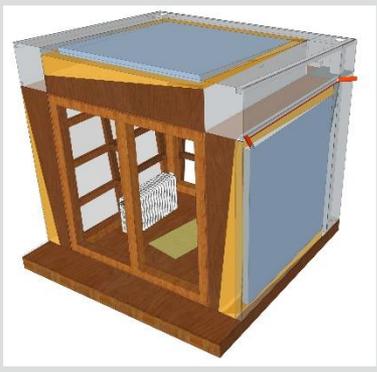


Dr.-Ing. Heide Ackerbauer
Dr.-Ing. Torsten Richter



RESEARCH ACTIVITIES AT THE INSTITUTE FOR BUILDING PHYSICS IN THE FIELD OF EXTERIOR WALL CONSTRUCTIONS

**Mikrobieller Bewuchs aus bauphysikalischer Sicht
- eine neue Kenngröße als Beurteilungswerkzeug**

Microbial fouling from a building physics perspective
- a new parameter as an assessment tool

International ETICS Conference Poland
11.05.2022

Einführung Introduction



The problem: new façade made of ETICS is not so beautiful for so long...

Einführung Introduction



The problem: new façade made of ETICS is not so beautiful for so long...after some time it can look like this

Einführung Introduction

04-2015



09-2016



03-2018



Insulated house walls contain life-threatening biozoids

Gedämmte Hauswände enthalten lebensgefährliche Biozide

08.02.2019, Welt.de, Autor: Richard Haimann

In order to save heating energy and thus achieve climate protection goals, many house facades in Germany have been insulated. Paint is supposed to help against algae and mould that attack the plastic. But they have harmful side effects.

Um Heizenergie zu sparen und damit Klimaschutzziele zu erreichen, werden in Deutschland viele Hausfassaden gedämmt. Farbe soll gegen Algen und Schimmel helfen, die den Kunststoff angreifen. Doch sie haben schädliche Nebenwirkungen.

„Algenbefall kann zu einem großen ästhetischen Problem werden“

Der Anblick grünlich verschleimter Fassaden könne potenzielle Mieter davon abhalten, eine Wohnung in einem solchen Haus zu beziehen.

According to the study, some of the pollutants in the groundwater are "above the health reference values".

Die Belastungen des Grundwassers mit den Schadstoffen liegt der Untersuchung zufolge teils „oberhalb von gesundheitlichen Orientierungswerten“.

Wissenschaftler fordern, auf die Verwendung der Giftstoffe an den Gebäudehüllen „ganz zu verzichten oder Fassaden künftig so zu gestalten, dass solche Anstriche nicht mehr notwendig sind“.

Scientists are calling for the use of the toxins on building envelopes to be "dispensed with altogether or for façades to be designed in such a way in future that such coatings are no longer necessary".

Quelle: <https://www.welt.de/finanzen/immobilien/article188445587/Energetische-Sanierung-Hauswaende-mit-Bioziden-verseucht.html>, © Axel Springer SE
Aufruf: 09.02.2019

Einführung Introduction

BESIEDELNDE ARTEN – colonizing species

- Algen Algae
- Pilze Fungi
- Bakterien Bacteria
- Flechten Lichens
- Moose Mosses

WICHTIGE LEBENSGRUNDLAGEN

Mikroorganismus	Energiequelle Energy source	Kohlenstoffquelle Carbon source	Licht Light	Feuchtigkeit Humidity	Temperatur
Algen	Sonne	CO ₂	needed	needed	Wachstum bei: -10 °C bis 50 °C Optimum: 15 °C bis 45 °C
Pilze	Organische Materie		not required	needed	
Bakterien	Organische Materie		not required	needed	
Flechten	Sonne + Organische Materie		needed	needed	

- Feuchtigkeit an der Fassadenoberfläche ist die Hauptursache für mikrobiellen Bewuchs
Moisture on the façade surface is the main cause of microbial growth
- Quellen für Feuchtigkeit: Tauwasser und Regen
Sources of moisture: condensation and rain

Quelle: u.a. Algen und Pilze an Fassaden (Büchli, Raschle, 2015)

Einführung Introduction

TAUWASSERBILDUNG AN GEDÄMMTEN AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN CONDENSATION ON INSULATED EXTERIOR WALL CONSTRUCTIONS



Feststellung: Effekt der Tauwasserbildung tritt überwiegend bei Wärmedämmverbundsystemen auf

Observation: The effect of condensation occurs predominantly in composite thermal insulation systems.

Gründe: Verminderung des Wärmestroms von Innen nach Außen durch die Wärmedämmung

Geringe wärmespeicherfähige Masse auf der Außenseite (schnelle Erwärmung, schnelle Auskühlung)

Reasons: Reduction of the heat flow from the inside to the outside through the thermal insulation.

Low heat storage mass on the outside (rapid heating, rapid cooling)

Gegenmaßnahmen – Countermeasures

	Chemisch	Mechanisch	Konstruktiv			
Maßnahmen u.a.	Biozide Ausrüstung der Ausgangsmaterialien	Regelmäßige Reinigung	Dachüberstände, Tropfkanten	(Beheizung der Oberfläche)	Stark wasserab- weisende Oberflächen	Saugfähige Dickputz- systeme
	Biocidal finishing of the starting materials	Periodic cleaning	Roof overhangs, drip edges	(Heating the surface)	Highly water repellent surfaces	Absorbent thick plaster systems

LÖSUNGSANSATZ

Auslegung des Wandaufbaus/Maßnahmen/Materialwahl: Es werden gerade so viel

BAUPHYSIK:

Feuchteereignisse zugelassen, dass noch kein mikrobieller Bewuchs stattfindet.

SOLUTION:

Design of the wall structure/measures/choice of materials: Just enough moisture events are allowed that microbial growth does not yet occur.

FORSCHUNGSZIEL:

Festlegung eines allgemeingültigen Grenzniveaus für Feuchteanfall an Oberflächen, ab dem mit mikrobiellem Bewuchs zu rechnen ist

research target:

definition of a generally valid limit level for moisture accumulation on surfaces, above which microbial growth is to be expected.

IDEE:

Ableitung einer Kenngröße über Langzeitbetrachtung des Feuchteverhaltens mikrobiell bewachsener und unbewachsener Oberflächen

Idea:

Derivation of a parameter via long-term observation of the moisture behaviour of microbially overgrown and non-overgrown surfaces

Vorgehen – Procedure

Limit moisture level
GRENZFEUCHTENIVEAU

Beschreibende Größe ?
descriptive value?

Vorgehen – Procedure

	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU

Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU

Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES
 LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN

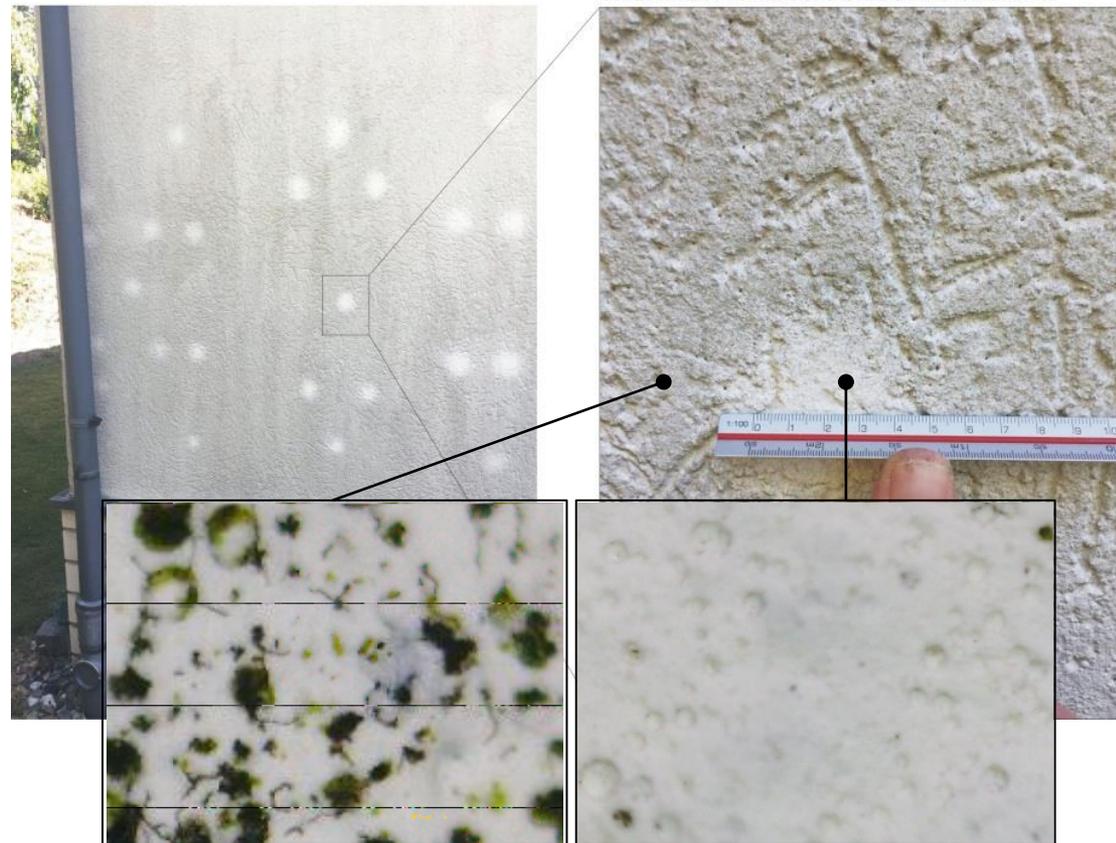
Parameter
 KENNGRÖSSE

Limit moisture level
 GRENZFEUCHTENIVEAU

Messung
 Measurement

Existing building

Temperature
 measurements



Ausschnittsvergrößerung
 Durchmesser unbewachsener Bereich ca. 5 cm

covered with fouling (wall)

free of fouling (center of anchor)

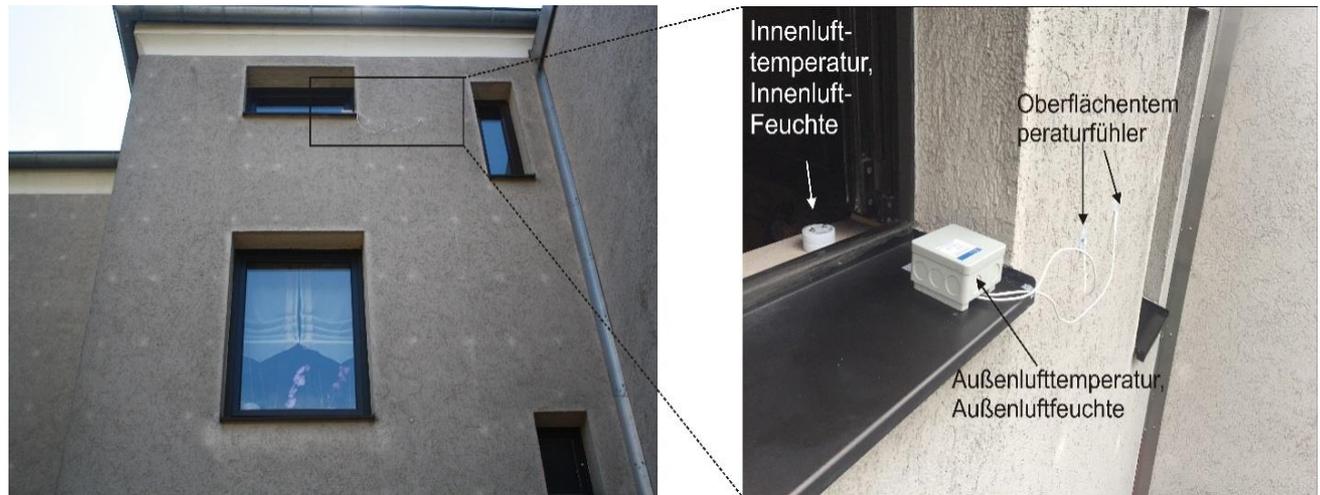
Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU
---	-------------------------	--

Messung
Measurement

Existing building

Temperature
measurements



MESSGRÖSSEN: Oberflächentemperaturen in bewachsenem und unbewachsenem Bereich, Luftfeuchtigkeit und -temperatur außen und innen

Surface temperatures in vegetated and unvegetated areas, humidity and temperature exterior and interior

MESSZEITRAUM: 1 bis 3 Jahre

MESSOBJEKTE: 5

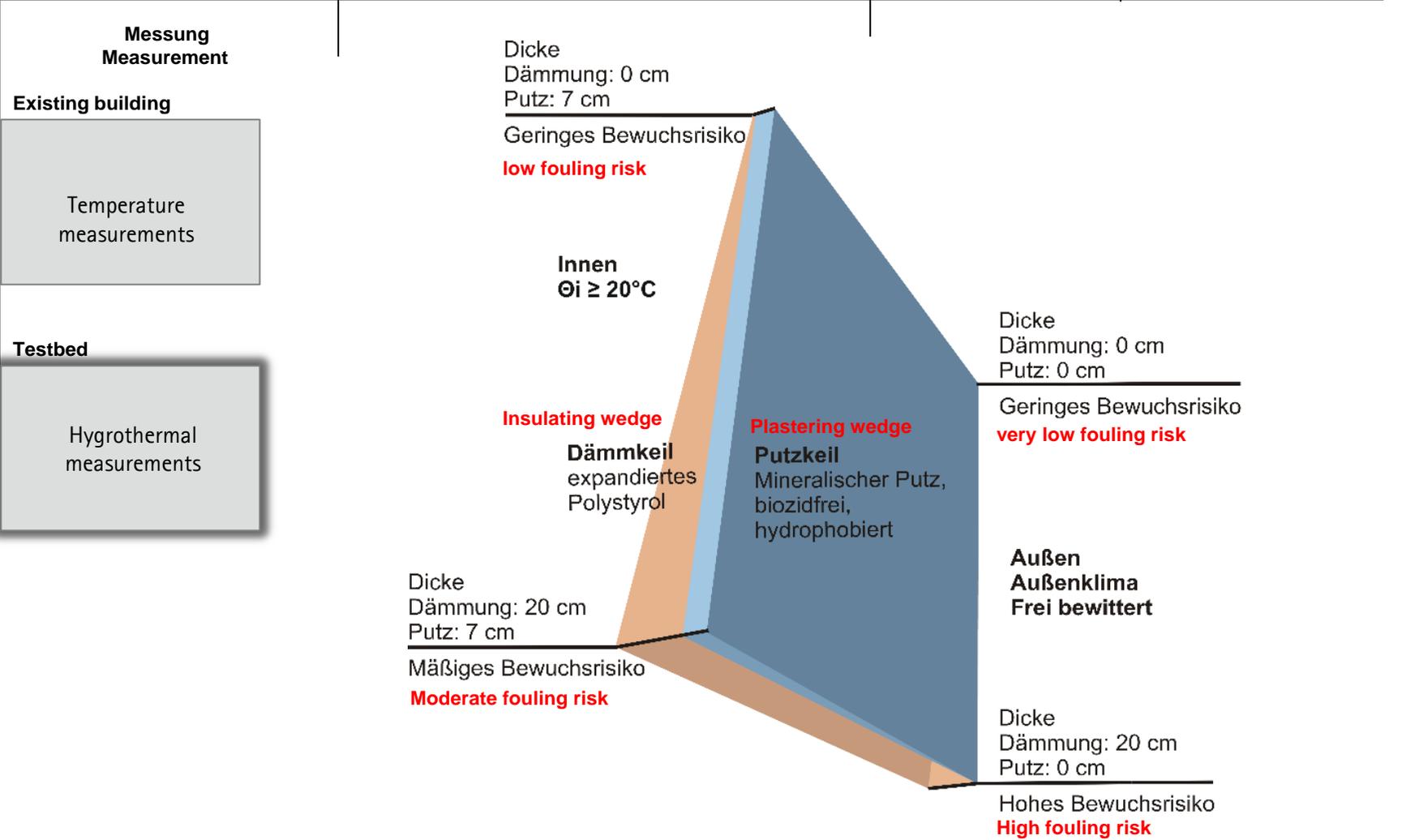
STANDORTE: Berlin (1), Garbsen (3), Hannover (1)

Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES
 LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN

Parameter
 KENNGRÖSSE

Limit moisture level
 GRENZFEUCHTENIVEAU



Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU
---	-------------------------	--

Messung
Measurement

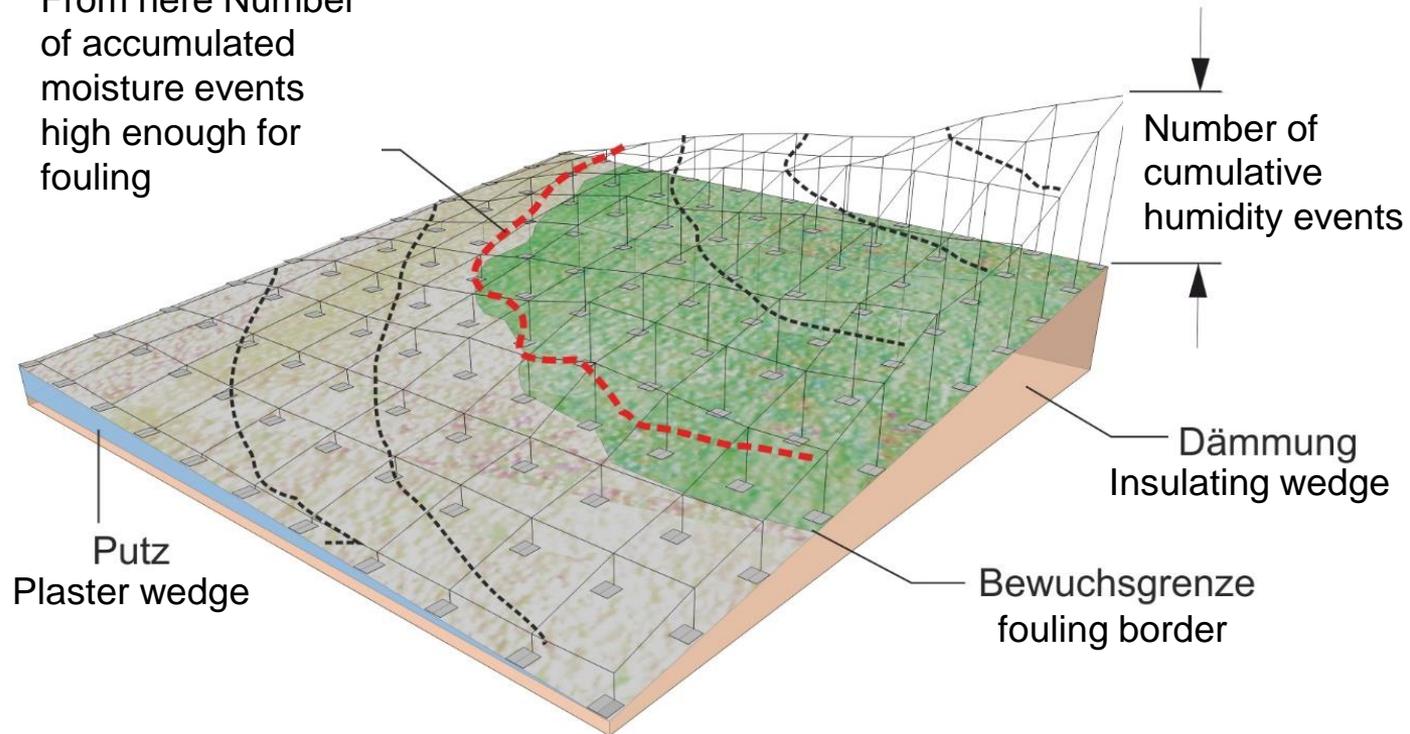
Existing building

Temperature
measurements

Testbed

Hygrothermal
measurements

From here Number
of accumulated
moisture events
high enough for
fouling



Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU
---	-------------------------	--

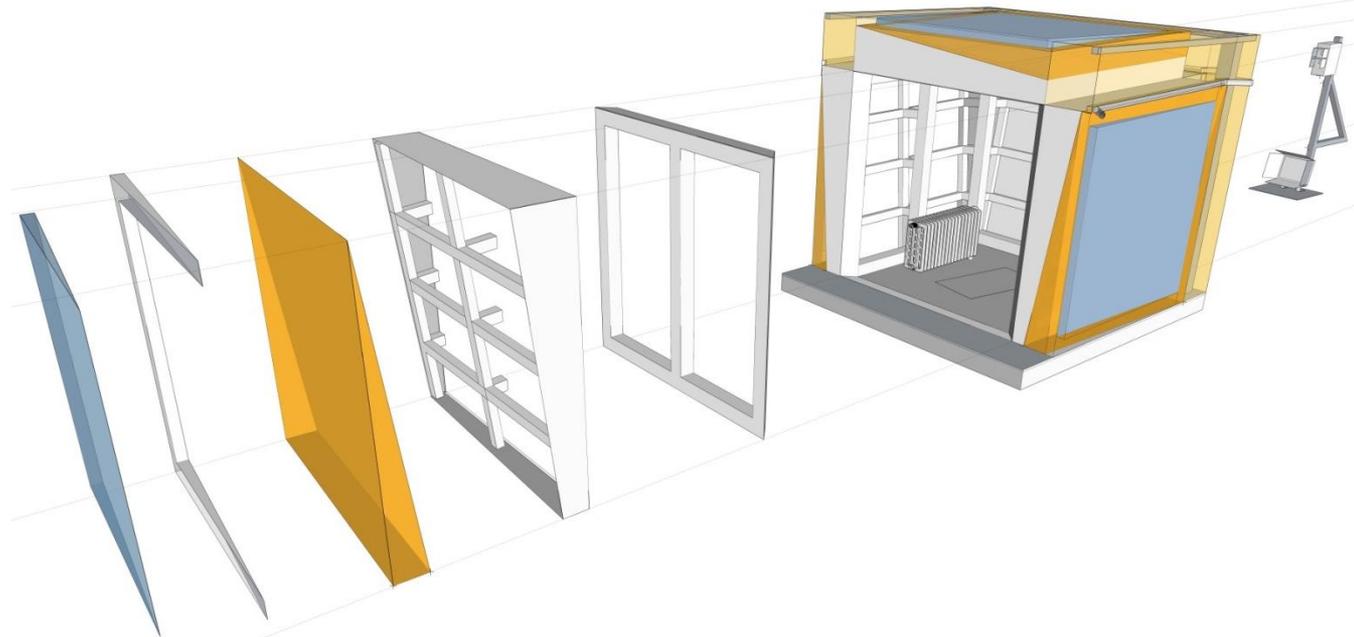
Messung
Measurement

Existing building

Temperature
measurements

Testbed

Hygrothermal
measurements



MEASUREMENT SIZES:	Surface temperatures, surface moisture detection.
MEASUREMENT PERIOD:	2 years (set-up 2016)
MEASUREMENT SETUP:	5 test areas with varying set-up within an area.
TARGET:	Provocation of fouling to derive a fouling limit
LOCATION:	Hanover Herrenhausen

Vorgehen – Procedure

<p>LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN</p>	<p>Parameter KENNGRÖSSE</p>	<p>Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU</p>
--	--	---

Messung
 Measurement

Existing building

Temperature
 measurements

Testbed

Hygrothermal
 measurements

VIDEO: Vorstellung Teststand „Würfel“



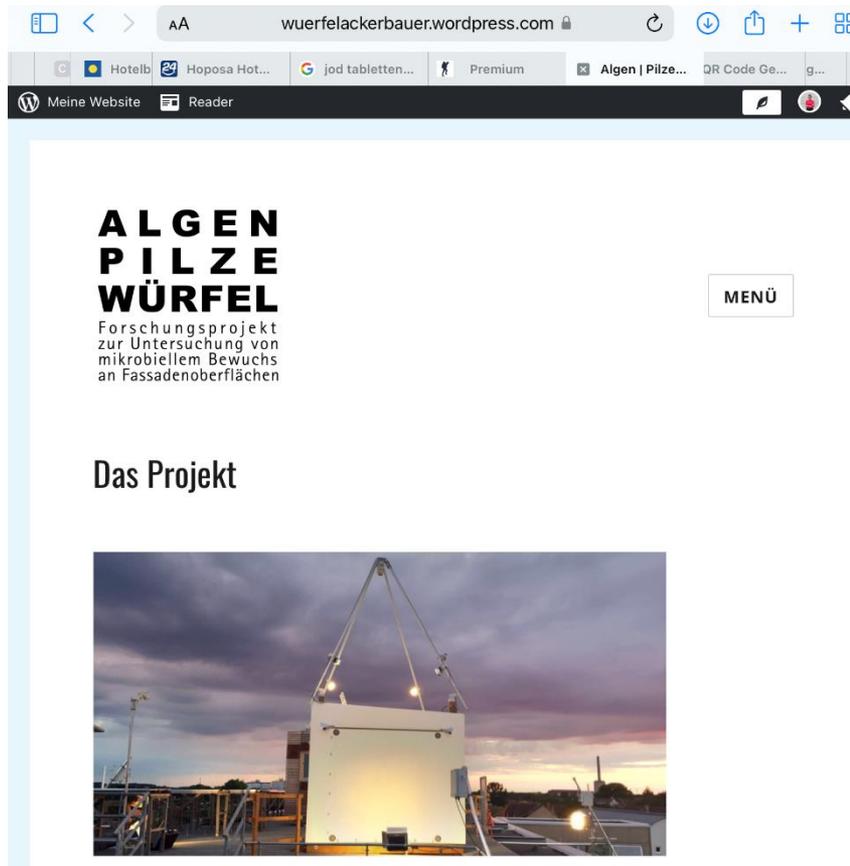
[Hier geht's zum Video](#)



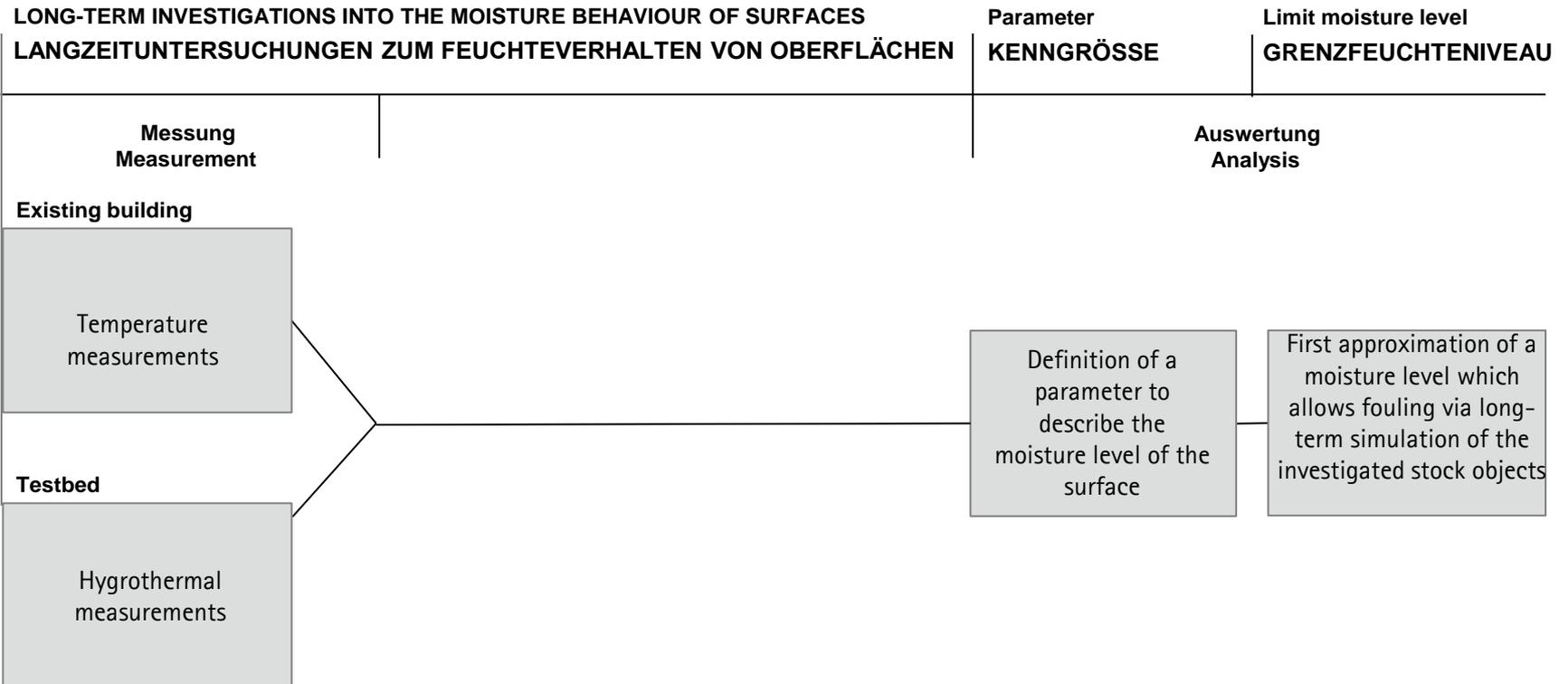
Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	Parameter KENNGRÖSSE	Limit moisture level GRENZFEUCHTENIVEAU
Messung Measurement		

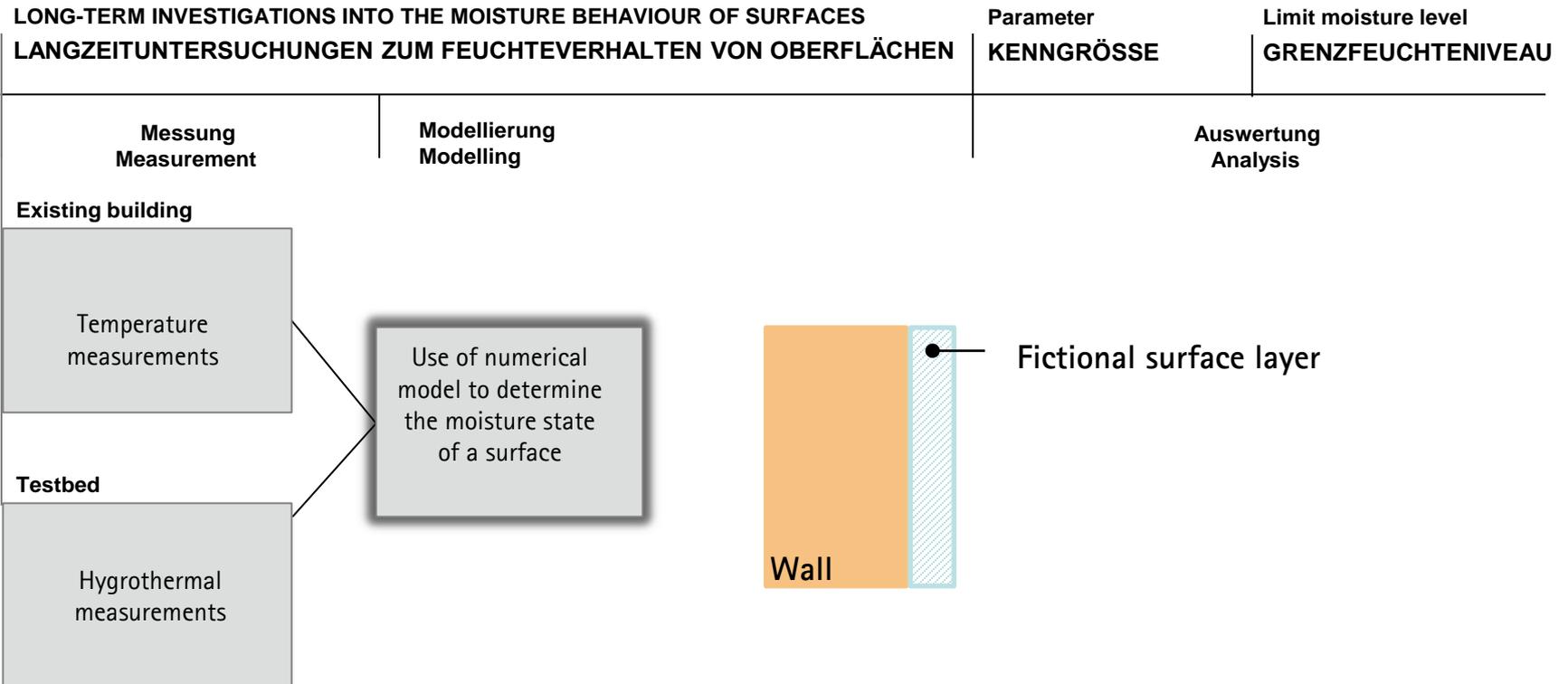
More information on the research project „Algen | Pilze | Würfel“: <https://wuerfelackerbauer.wordpress.com>



Vorgehen – Procedure



Vorgehen – Procedure

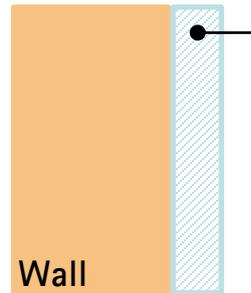
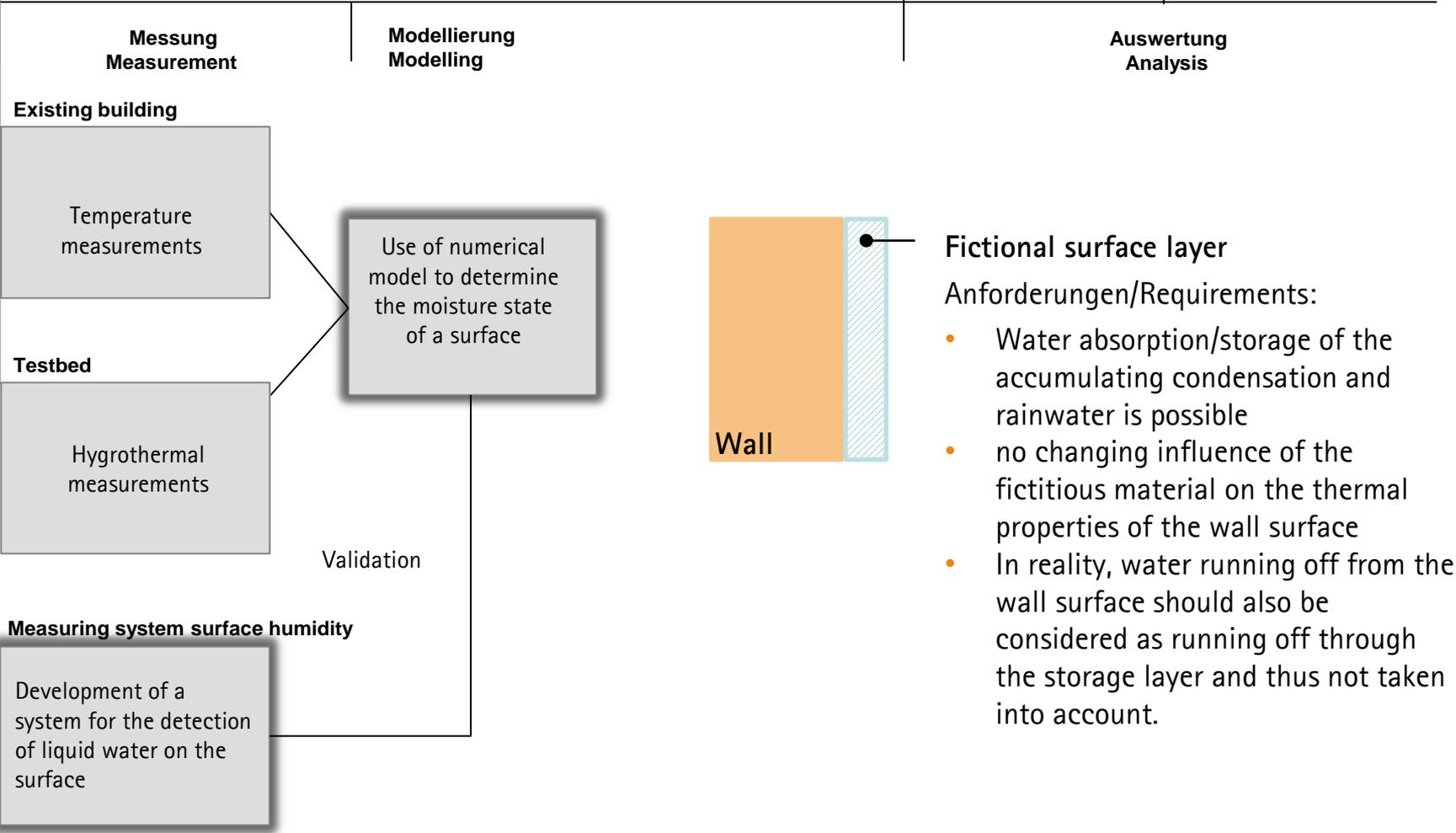


Vorgehen – Procedure

LONG-TERM INVESTIGATIONS INTO THE MOISTURE BEHAVIOUR OF SURFACES
 LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN

Parameter
 KENNGRÖSSE

Limit moisture level
 GRENZFEUCHTENIVEAU



Wall

Validation

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model



Idea generator: an umbrella that was printed with a colour and changes colour when moistened

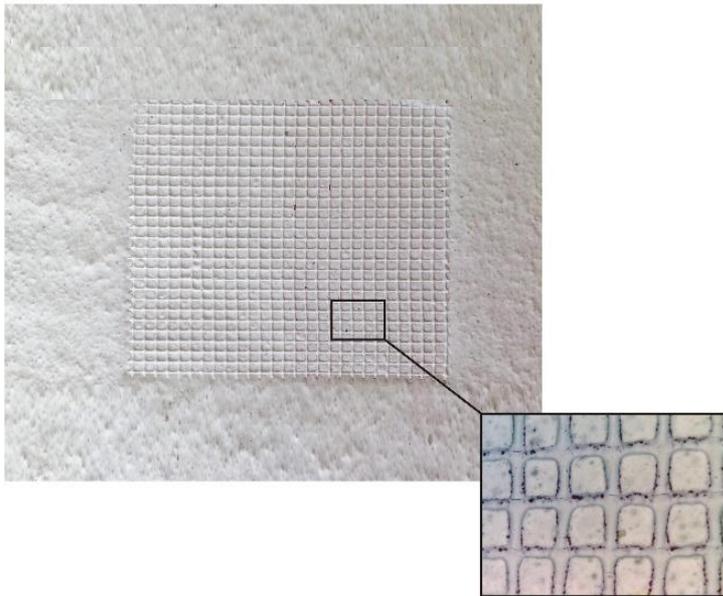
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

- Zerstörungsfreie Detektion von Oberflächenwasser
Non-destructive detection of surface water
 - Geringster Einfluss auf hygrothermische Parameter
Least possible influence on hygrothermal parameters
 - Kontinuierliche Messung und Auswertungsmöglichkeit
Continuous measurement and evaluation possibility
- Feuchtedetektion verfärbende Messbereiche
Moisture detection via reversibly discolouring measuring areas on the surface
 - Gitterartige Struktur der Feuchtedetektoren
Grid-like structure of the moisture detectors
 - Softwaregestützte Auswertung von Bildreihen
Software-supported evaluation of image series

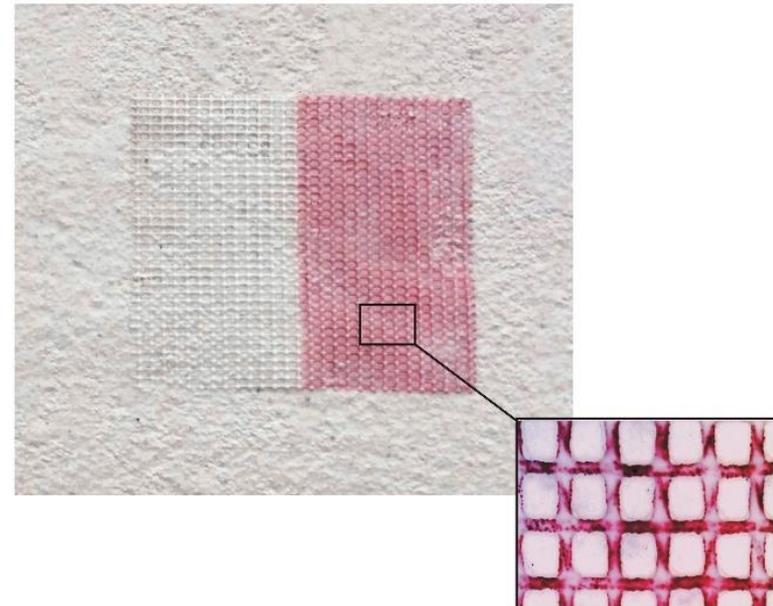
Trockene Oberfläche

Messbereich nicht verfärbt



Nasse Oberfläche

Messbereich rot verfärbt



System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

VIDEO: Functionality of the moisture detector

hydrodetect[💧]

Feuchtedetektion für Oberflächen

[Hier gehts zum Video](#)

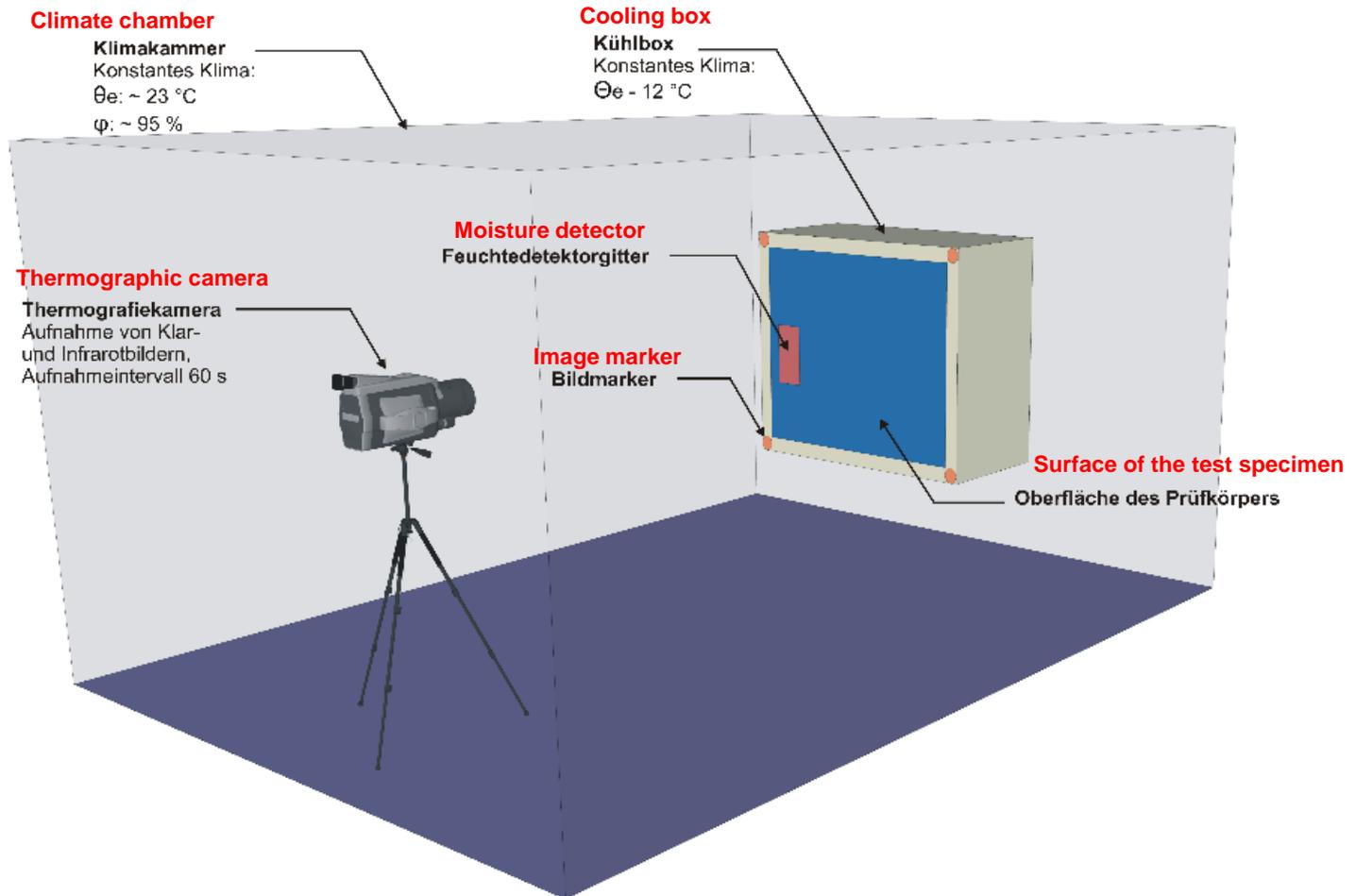


System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 1 - Small-scale tests under defined laboratory boundary conditions - Condensation on a glass pane

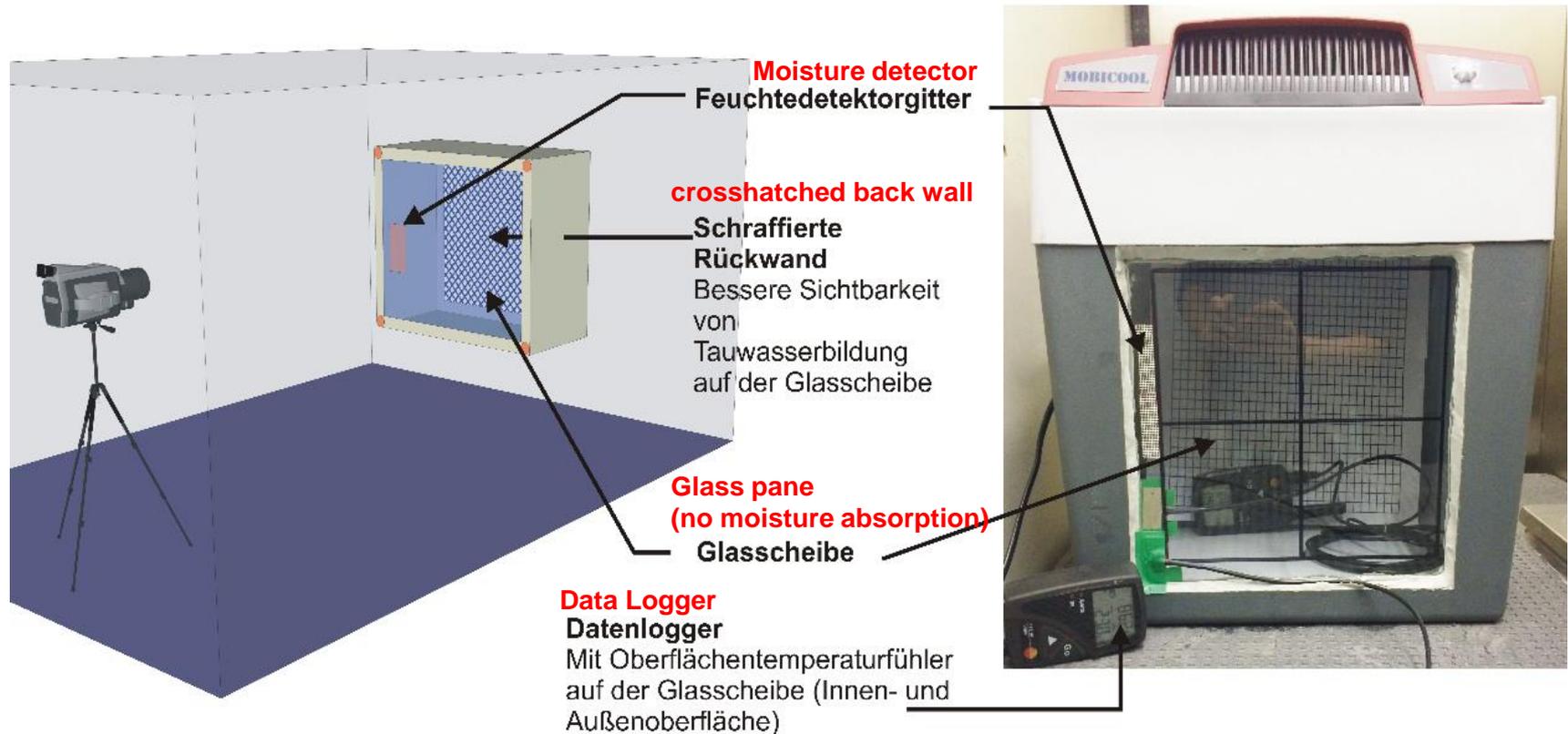


System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 1 - Small-scale tests under defined laboratory boundary conditions - Condensation on a glass pane



System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

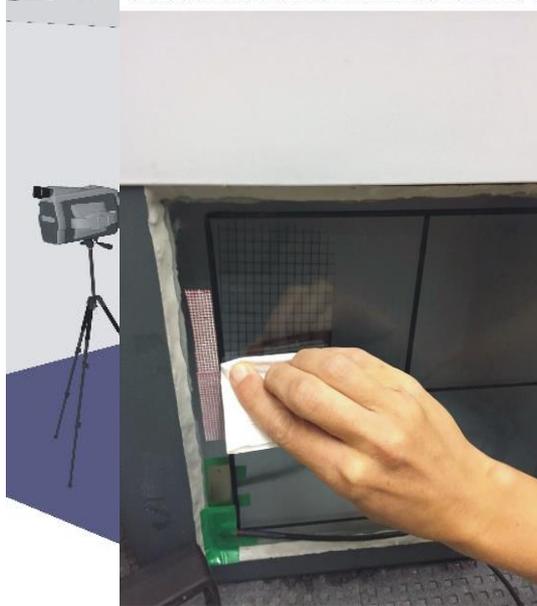
Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 1 – Small-scale tests under defined laboratory boundary conditions – Condensation on a glass pane

- Exclusion of suction and conduction processes of the surface through the use of glass
- Start of condensation and time of drying visually confirmed by fogging of the pane and by colour change of a newly developed moisture detector and thus determinable
- The amount of condensation water produced is determined by taking a sample with highly capillary-active cellulose.

Abnahme des angefallenen Oberflächenwassers im Viertelbereich der Glasscheibe durch Abwischen mit einem Zellstofftuch



Wiegen des Zellstofftuchs unmittelbar nach Wasserabnahme



System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 1 - Small-scale tests under defined laboratory boundary conditions - Condensation on a glass pane

Beobachtungen Betauung/Abtrocknung

Zeitpunkt 1: nach ca. 45 Min Zeitpunkt 2: nach ca. 3,5 Std. Zeitpunkt 3: nach ca. 7 Std.



Legende:

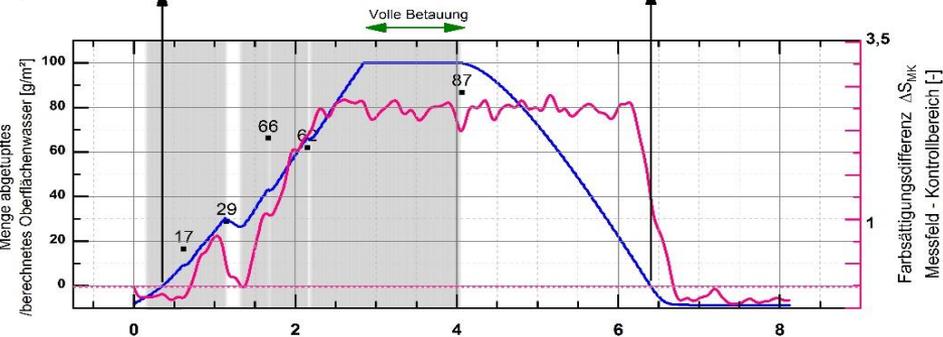
— Sichtbare Betauung [0...2]

Sichtbares Wasser an Oberfläche
[kein=0, ja=1, Herunterlaufen=2]

Farbanalyse Feuchtedetektorgitter Feuchtemessung

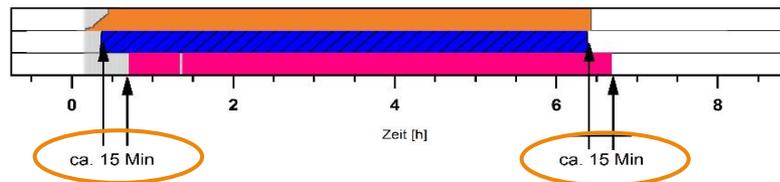
Legende:

- Menge Oberflächenwasser - Messwert durch Abnehmen [g/m²]
- Menge Oberflächenwasser - Rechenwert [g/m²]
- ΔS_{MK} - Farbsättigungsdifferenz [-]
- - Schwellwert für freies Wasser an der Materialoberfläche Messung und Rechnung



Zeitdauer freies Oberflächenwasser

- Beobachtung zu Betauung
- Rechenwert aus Simulation
- Messwert aus Feuchtedetektion



FAZIT:

- Moisture detector validated via visual control with dewing and drying times
- Numerical model calculates the amount of water accumulated as well as the time of dew formation and drying with good agreement

Calculated values (dashed) and measured values (full-surface)

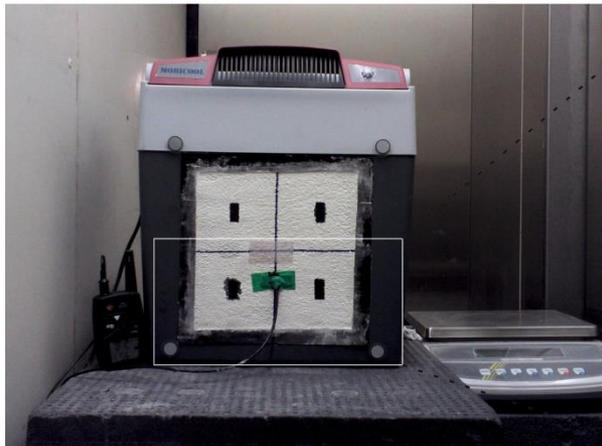
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 2 - Small-scale tests under defined laboratory boundary conditions - Condensation on plaster

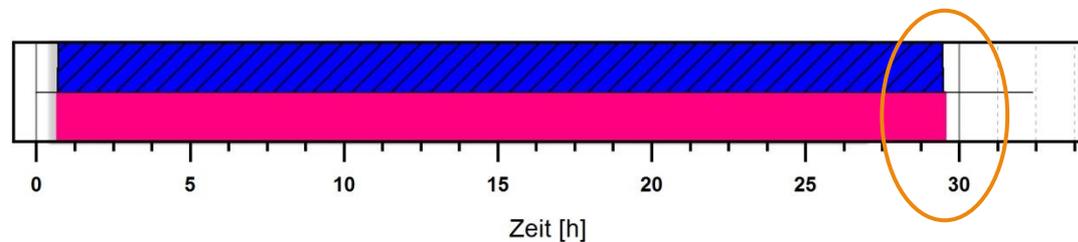
Durch Ablaufwasser verlaufene Markierung am Ende des Versuchs



Zeitraum freies Oberflächenwasser

-  Messwert aus Feuchtedetektion
-  Rechenwert aus Simulation

Calculated values (dashed) and measured values (full-surface)

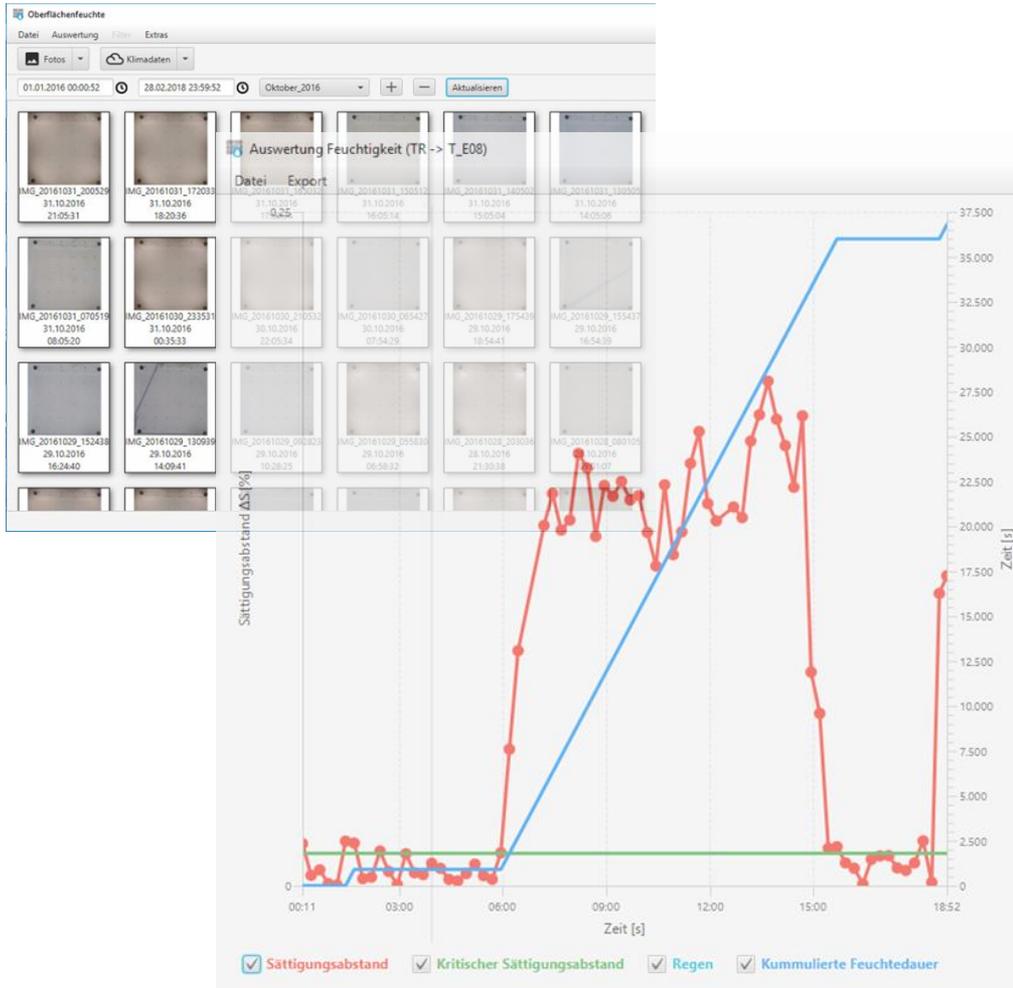


Zeitversatz ca. 15 Min.
Time offset approx. 15 min

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MEASUREMENT SYSTEM FOR DETERMINING THE TIME PERIODS WITH A WET SURFACE- software-supported analysis



Demo-Video Software:
<https://wuerfelackerbauer.wordpress.com/monitoring/>

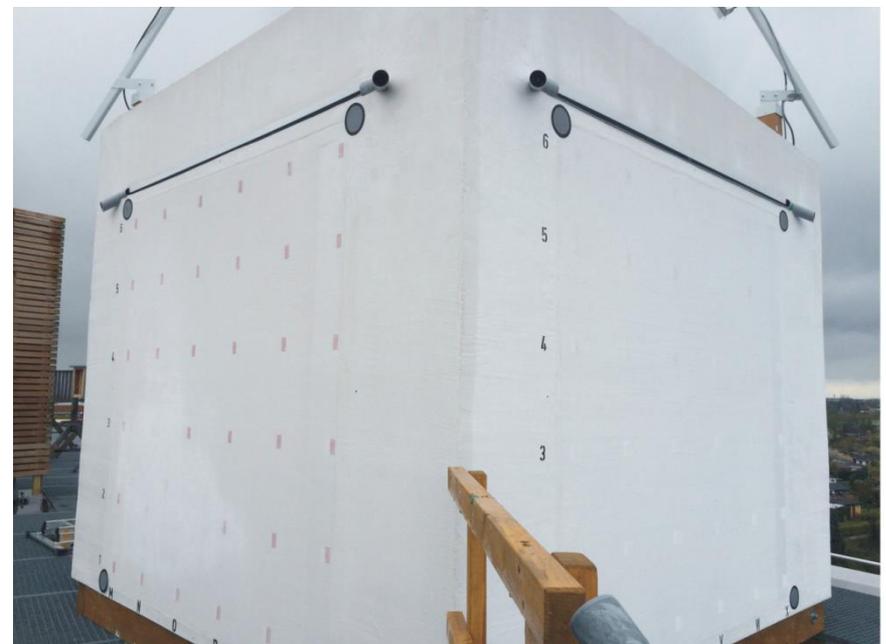
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 3 – Moisture events at the open field testing site

- Known design and material parameters
- Defined indoor climate identical for all sides



Wandfläche teilweise feucht -
Messfelder verfärbt

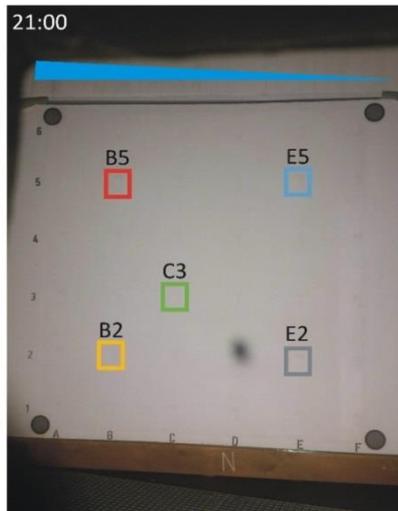
Wandfläche trocken - Messfelder
nicht verfärbt

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 3 – Moisture events at the open field testing site – real Condensation events of the test area (north side)



Wandoberfläche im trockenen Zustand

Wall surface is dry



Beginn Tauwasserbildung siehe Felder E2, E5

Start of condensation events (see E2)



Betaute Wand nach Sonnenaufgang, sichtbar an rot verfarbten Feuchtedetektoren

fully dewed wall after sunrise



Ende Tauwasserereignis. Wandoberfläche trocken und Feuchtedetektoren wieder weiß

End of condensation events, wall surface dry again, moisture detectors are white again

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

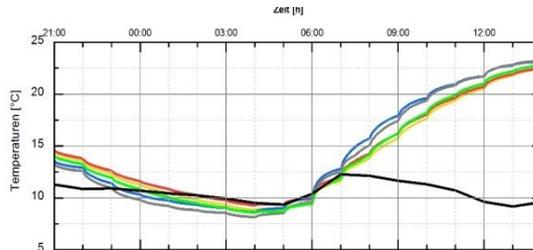
Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 4 – Moisture events at the open field testing site – calculated Condensation events of the test area (north side)

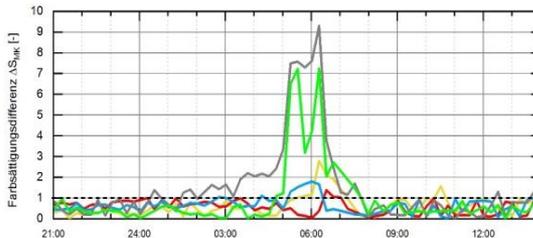
Temperaturverläufe berechnet

- $\theta_{se,B2}$ [°C]
- $\theta_{se,C3}$ [°C]
- θ_j [°C]
- $\theta_{se,B5}$ [°C]
- $\theta_{se,E5}$ [°C]
- $\theta_{se,E2}$ [°C]



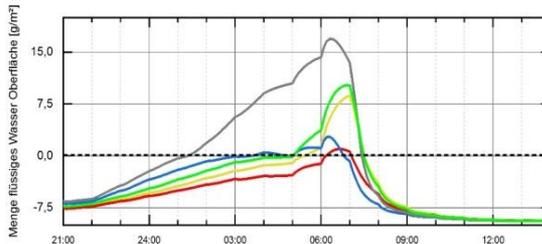
Oberflächenfeuchteverlauf Messwerte Feuchtedetektion

- $\Delta S_{MK,B2}$ [-]
- $\Delta S_{MK,B5}$ [-]
- $\Delta S_{MK,E5}$ [-]
- $\Delta S_{MK,E2}$ [-]
- $\Delta S_{MK,C3}$ [-]
- Schwellwert flüssiges Wasser an der Oberfläche



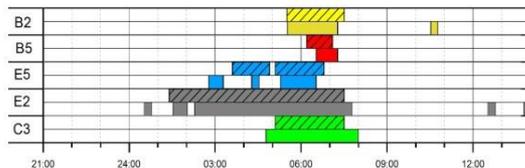
Oberflächenfeuchteverlauf Rechenwerte

- w_{B2} [g/m²]
- w_{B5} [g/m²]
- w_{E5} [g/m²]
- w_{E2} [g/m²]
- w_{C3} [g/m²]
- Schwellwert flüssiges Wasser an der Oberfläche



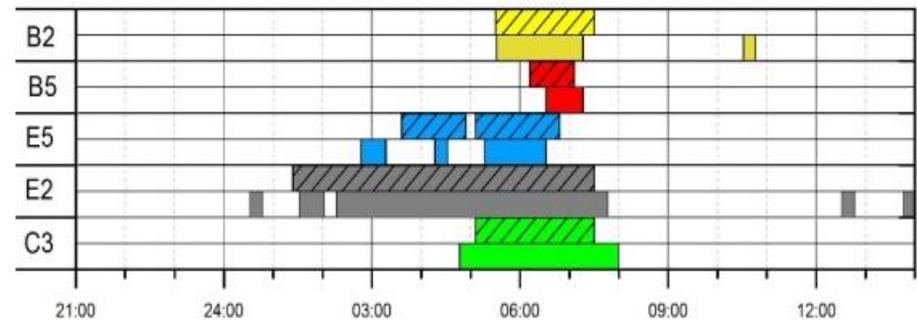
Vergleich Zeiträume mit nasser Oberfläche

- Nasse Oberfläche
Messwert Feuchtedetektor
- Nasse Oberfläche
Rechenwert



Vergleich Zeiträume mit nasser Oberfläche

- Nasse Oberfläche
Messwert Feuchtedetektor
- Nasse Oberfläche
Rechenwert



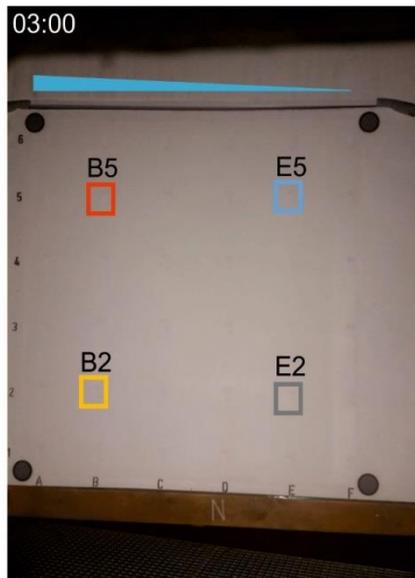
Conclusion: Calculated values (dashed) and measured values (full-surface) with good agreement

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

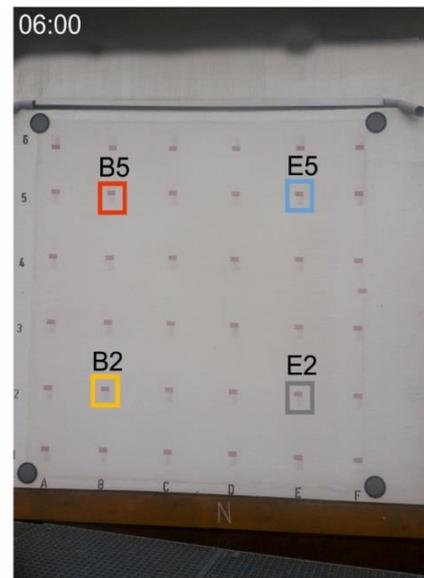
MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

Stage 4 – Moisture events at the open field testing site – rain events of the test area (north side)



Wandoberfläche im trockenen Zustand

Wall surface is dry



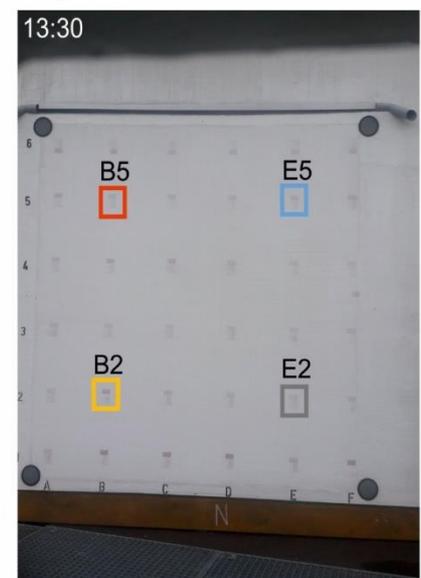
Wandoberfläche nach 1. Regenereignis
komplett nass

**Start of rain events
(see E5)**



Wandoberfläche nach 2. Regenereignis
komplett nass

**Wall surface
completely wet**



Wandoberfläche teilweise abgetrocknet,
Feld B2 noch leicht verfärbt

**Wall surface nearly
completely dry**

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

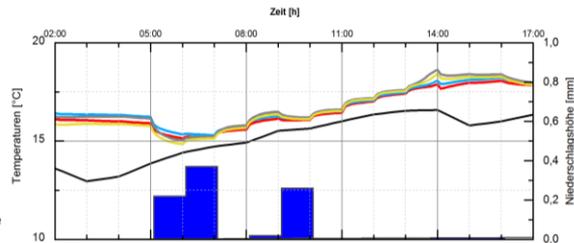
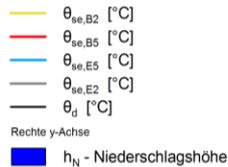
Moisture detection system and validation of the numerical model

MULTI-STAGE VERIFICATION OF THE MOISTURE DETECTOR AND NUMERICAL MODEL

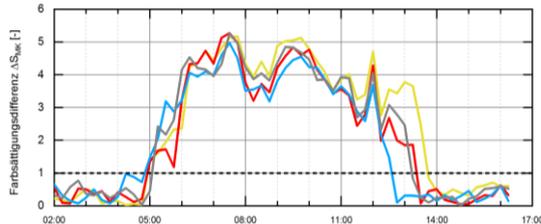
Stage 4 – Moisture events at the open field testing site – rain events of the test area (north side)

Regenereignis am 17.09.2016

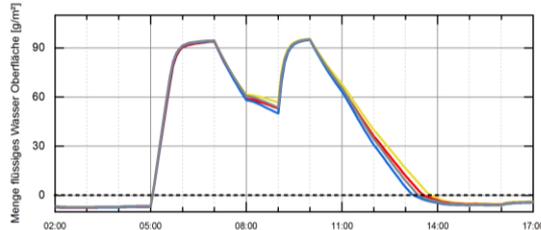
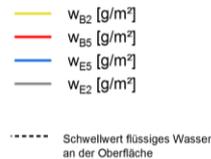
Temperaturverläufe/
Niederschlagshöhe



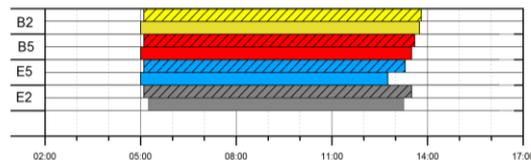
Oberflächenfeuchteverlauf
Messwerte Feuchtedetektor



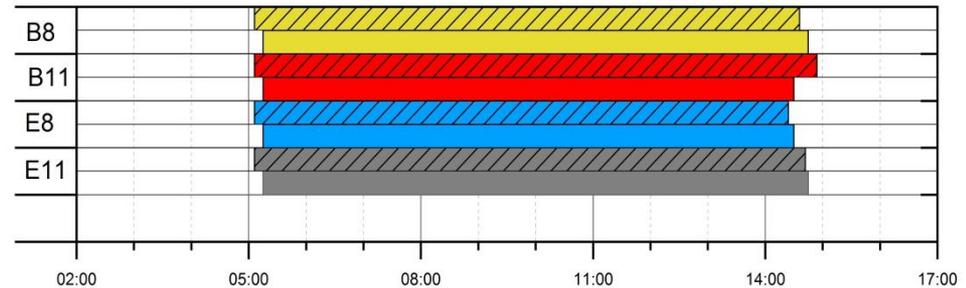
Oberflächenfeuchteverlauf
Rechenwerte



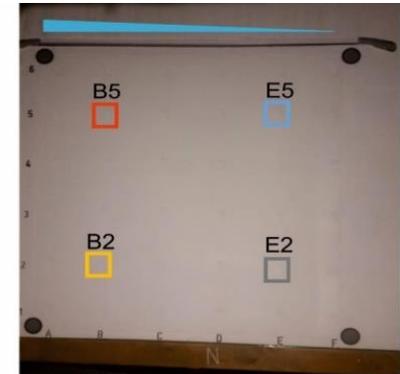
Vergleich Zeiträume mit
nasser Oberfläche



Vergleich Zeiträume mit
nasser Oberfläche



Conclusion: Calculated values (dashed) and measured values (full-surface) with good agreement



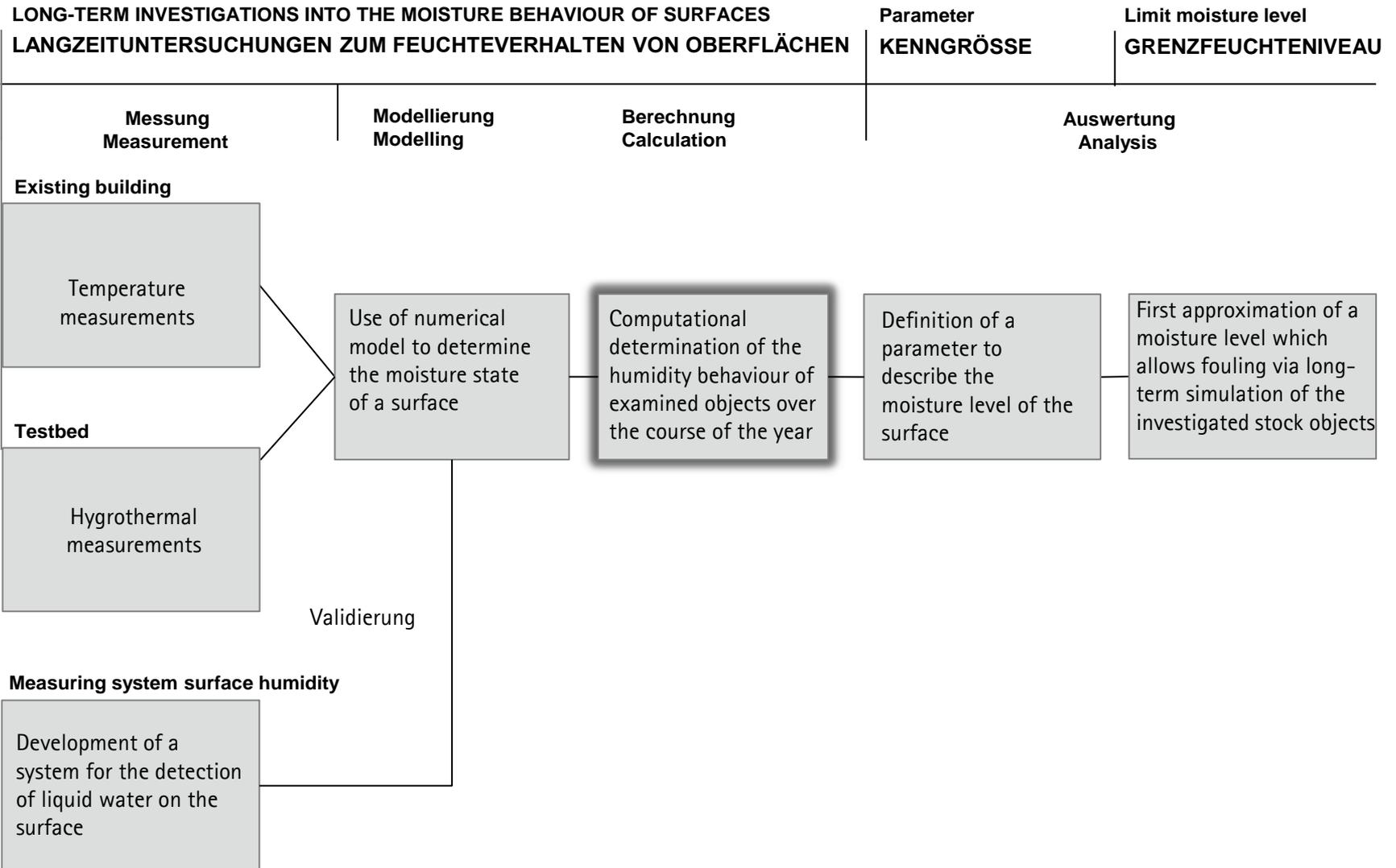
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

Moisture detection system and validation of the numerical model

Fazit MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

- Anzeigegenauigkeit des Messsystems: Zeitversatz bis zu 15 Minuten
Display accuracy of the measuring system: time offset up to 15 minutes
- Maximale Haftwassermenge: 100 g/m²
Maximum amount of adhesive water: 100 g/m²
- Simulationsmodell im Labor und bei freier Bewitterung validiert
Simulation model validated in the lab and during free weathering

Vorgehen – Procedure



Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

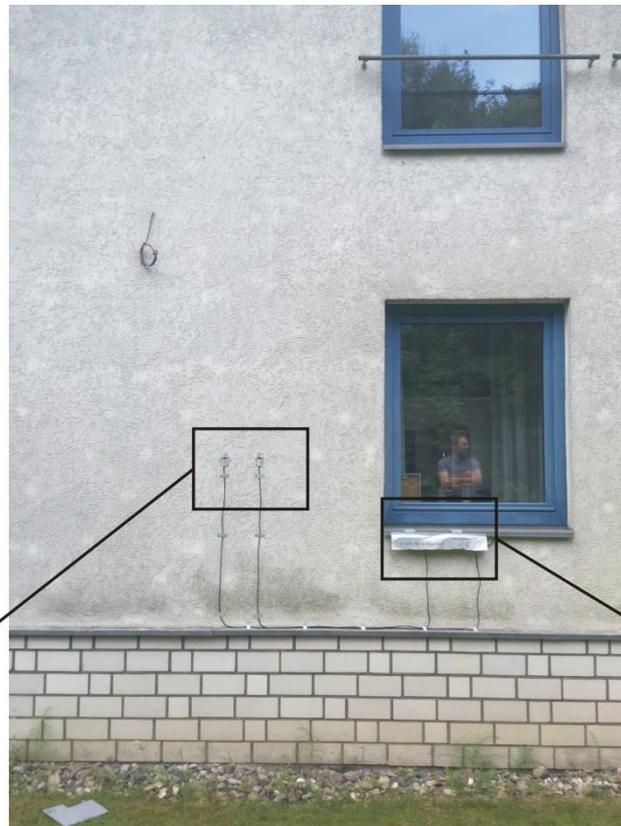
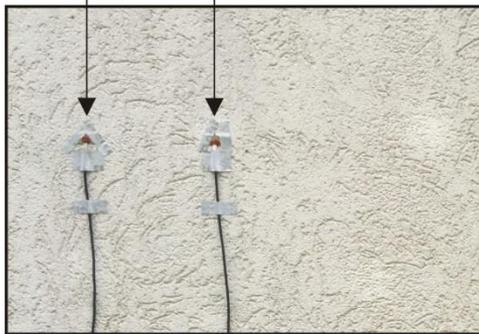
Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS

Measurement setup

Surface temperature measurement on wall surface with fouling
undisturbed wall

temperature measurement on wall on surface without fouling -
Anchor area



Ort: Hannover-Garbsen
Datum: 07/2016
Ausrichtung: Norden

Data logger for recording surface temperatures Exterior air temperature and relative humidity



Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS

Konstruktionsaufbau des WDVS im Bereich des Dübels - Construction structure of the ETICS in the anchor area

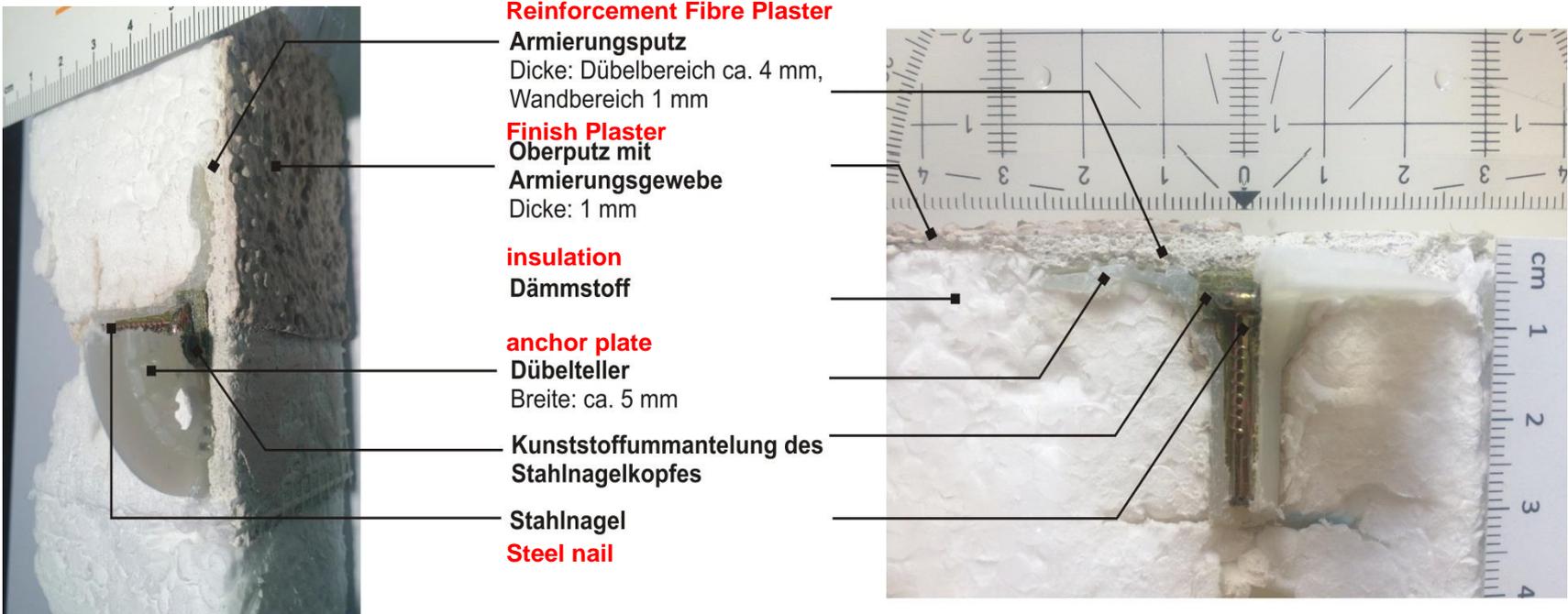


Stahlnagel mit Kunststoffummantelung
Steel nail with plastic coating

Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS

Konstruktionsaufbau des WDVS im Bereich des Dübels - Construction structure of the ETICS in the anchor area



Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

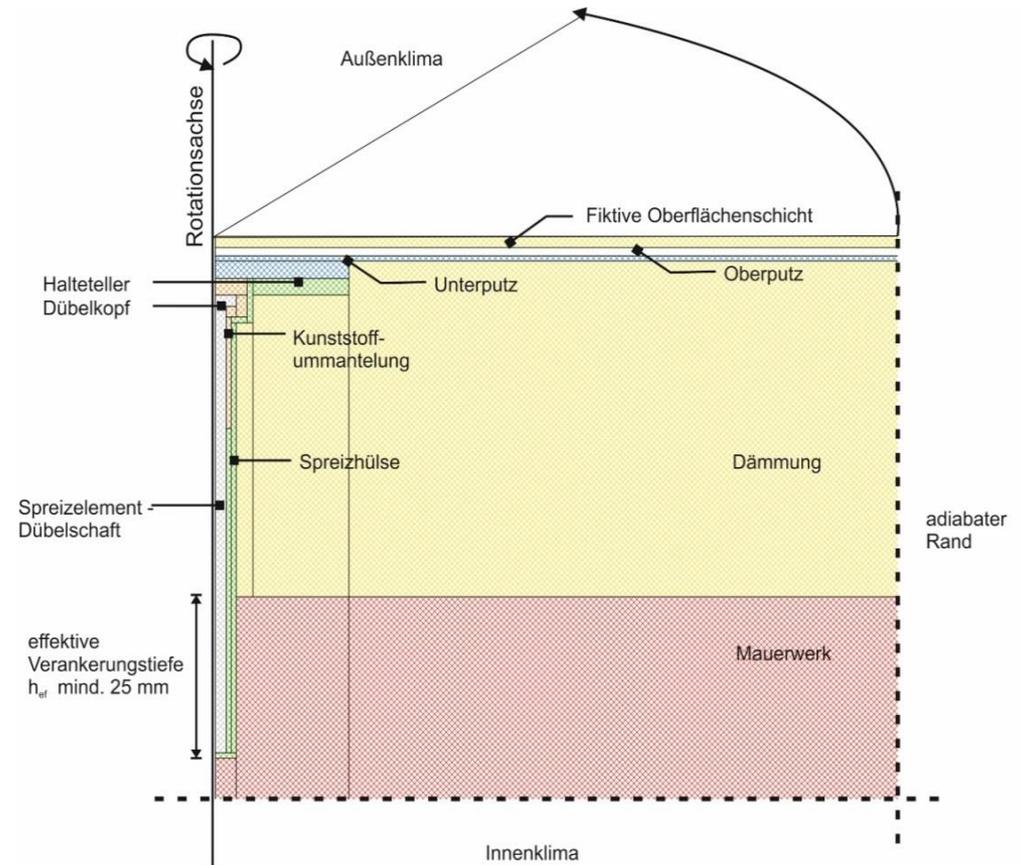
LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS

Setup of the simulation model

- Consideration of the real 3D effect by the anchor via rotation of a two-dimensional body (special feature in software WUFI)



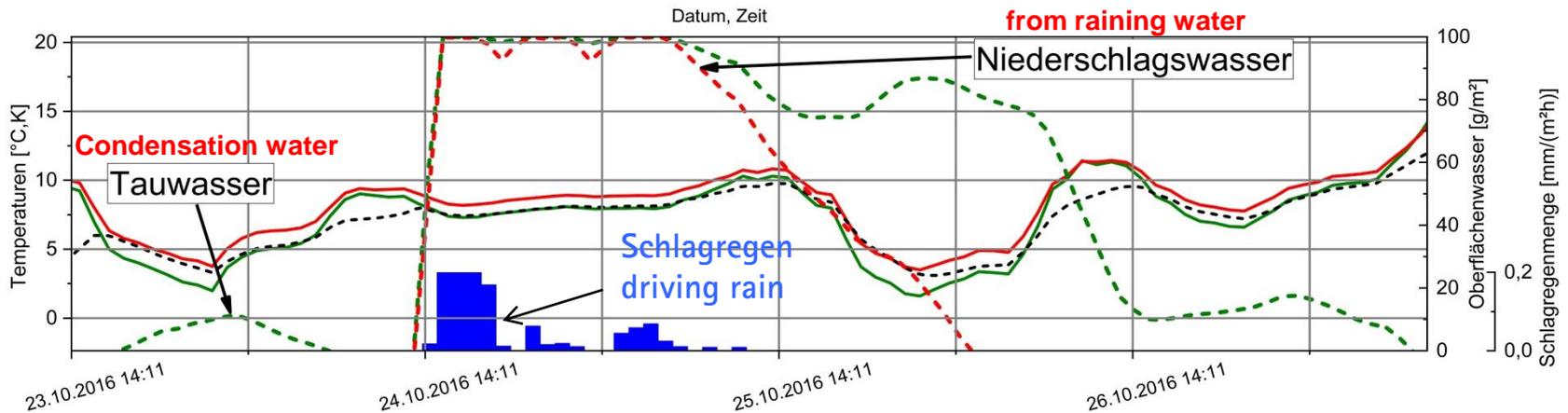
Real structure on the anchor (anchor plate cut open)



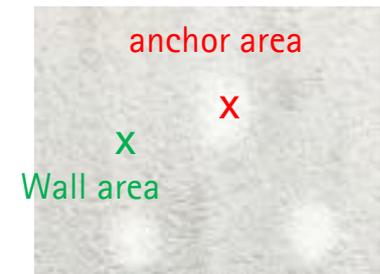
Model for Simulation

Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Calculation results (here north wall)



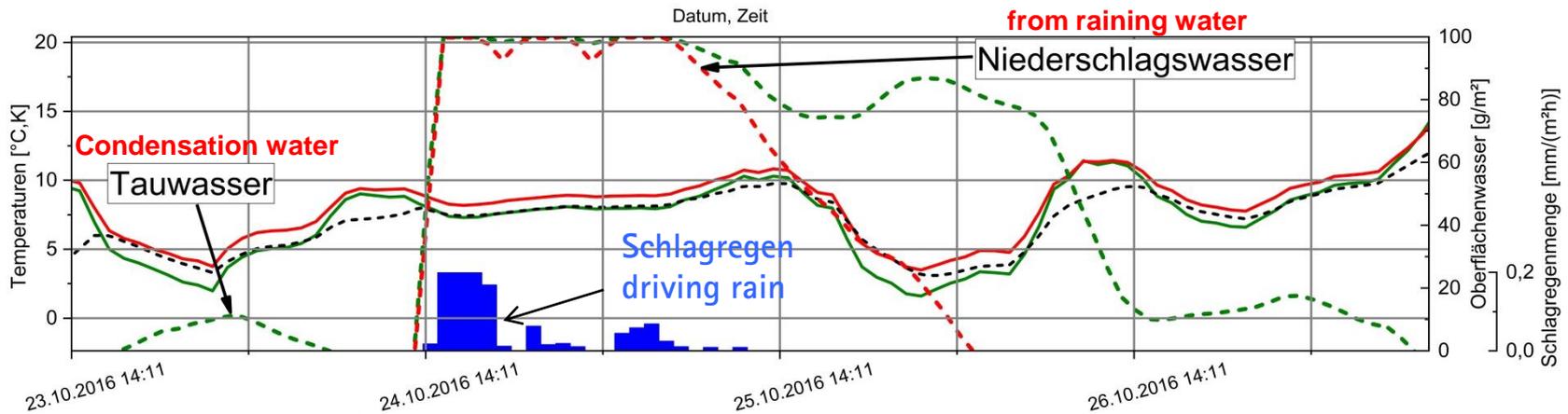
- Taupunkttemperatur dew point temp θ_d [°C]
- - - - - Oberflächenwassergehalt Dübelbereich water content anchor $w_{\text{Dübel}}$ [g/m²]
- - - - - Oberflächenwassergehalt Wandbereich water content wall w_{Wand} [g/m²]
- — — — — Oberflächentemperatur Dübelbereich surface temp. anchor $\theta_{\text{se,Dübel}}$ [°C]
- — — — — Oberflächentemperatur Wandbereich surface temp. wall $\theta_{\text{se,Wand}}$ [°C]



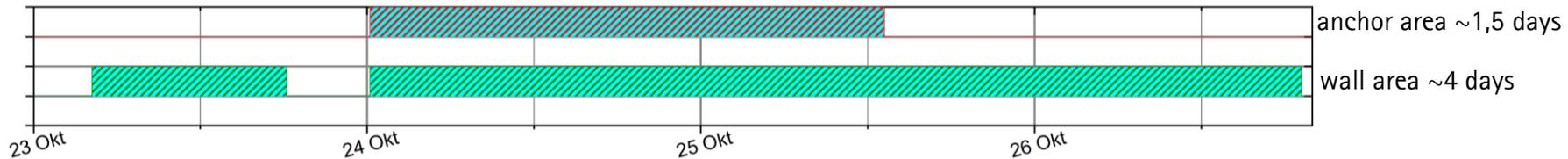
Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

Long-term studies on the moisture behaviour of surfaces

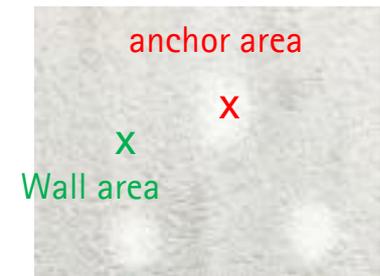
LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Calculation results (here north wall)



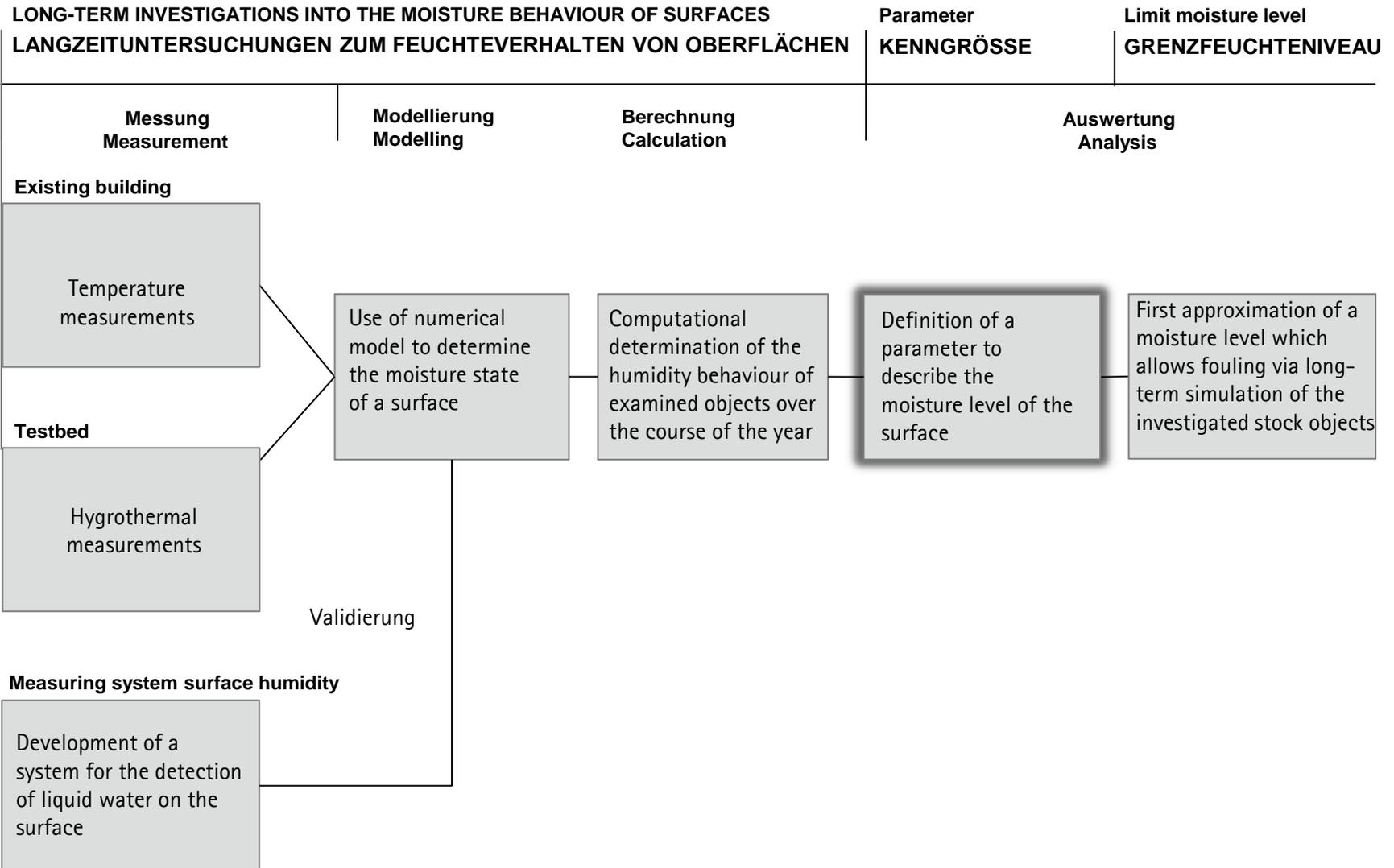
Zeiträume Nasse Oberfläche **Period of wet surfaces**



- Taupunkttemperatur dew point temp θ_d [°C]
- - - - - Oberflächenwassergehalt Dübelbereich water content anchor $w_{\text{Dübel}}$ [g/m²]
- · - · - Oberflächenwassergehalt Wandbereich water content wall w_{Wand} [g/m²]
- — — — — Oberflächentemperatur Dübelbereich surface temp. anchor $\theta_{\text{se,Dübel}}$ [°C]
- — — — — Oberflächentemperatur Wandbereich surface temp. wall $\theta_{\text{se,Wand}}$ [°C]



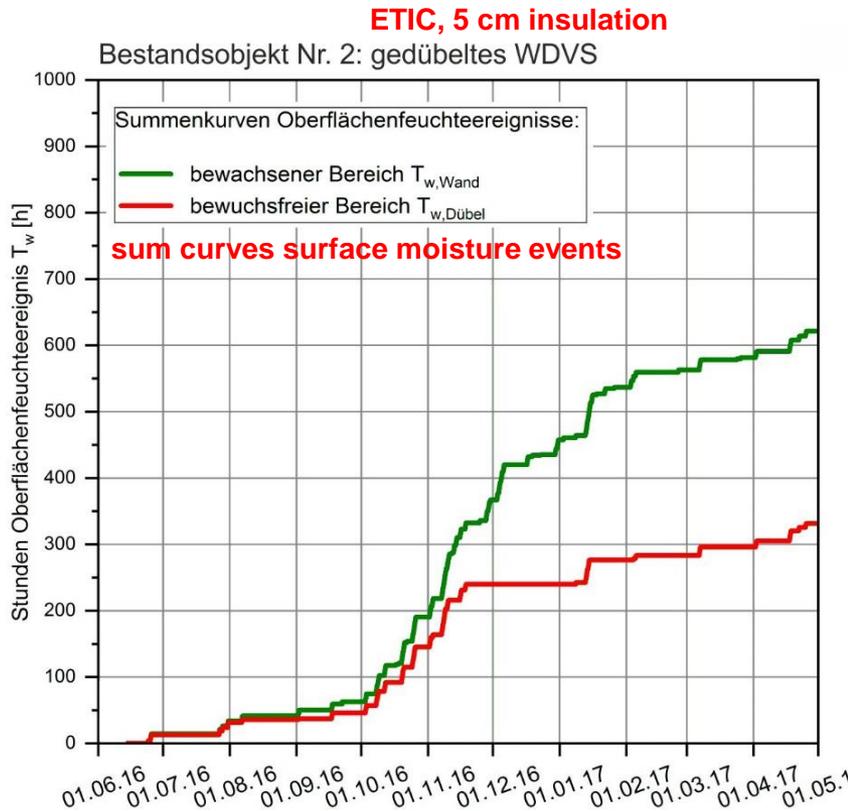
Vorgehen – Procedure



Ableitung einer Kenngröße

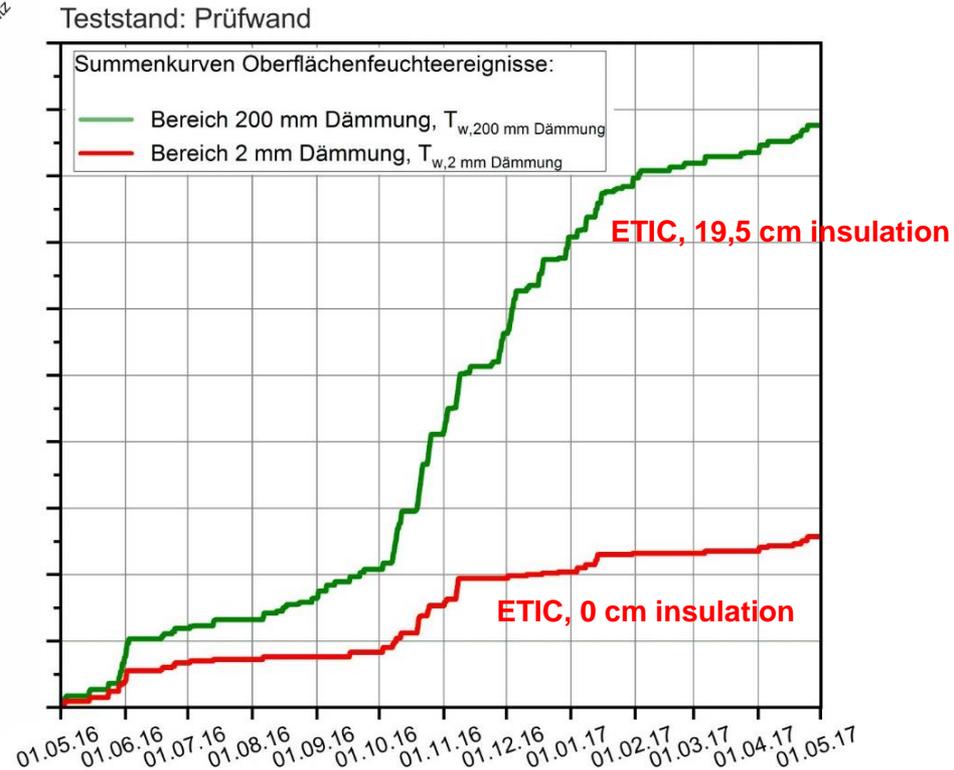
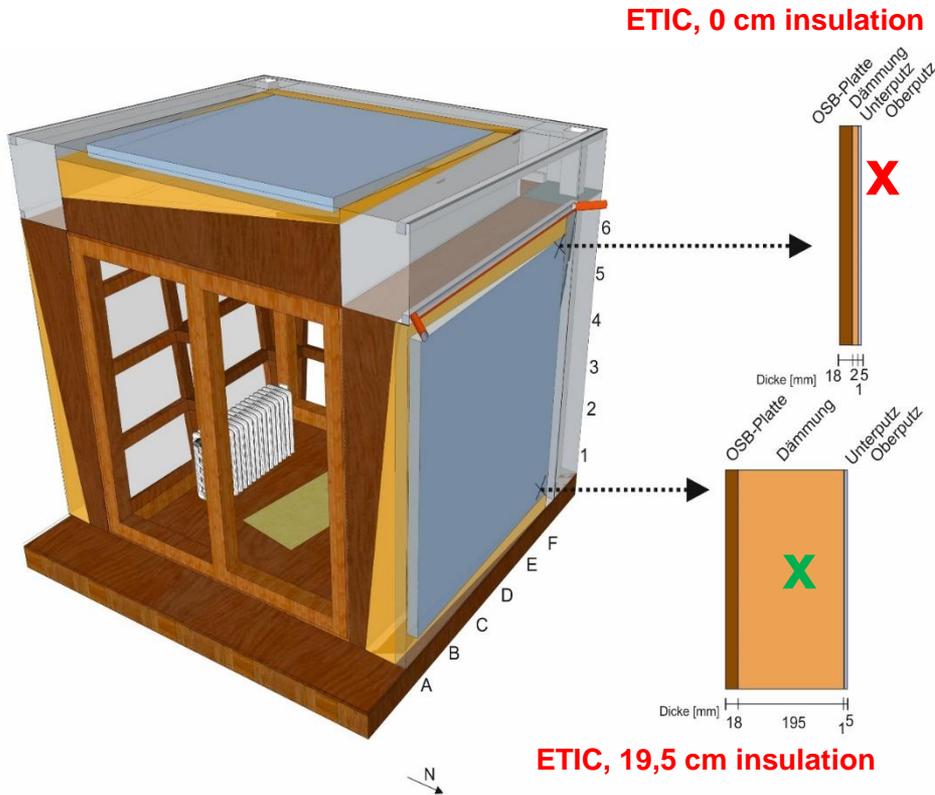
Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Evaluation of the calculation results –
Auswertung der Berechnungsergebnisse



Ableitung einer Kenngröße Definition of a parameter

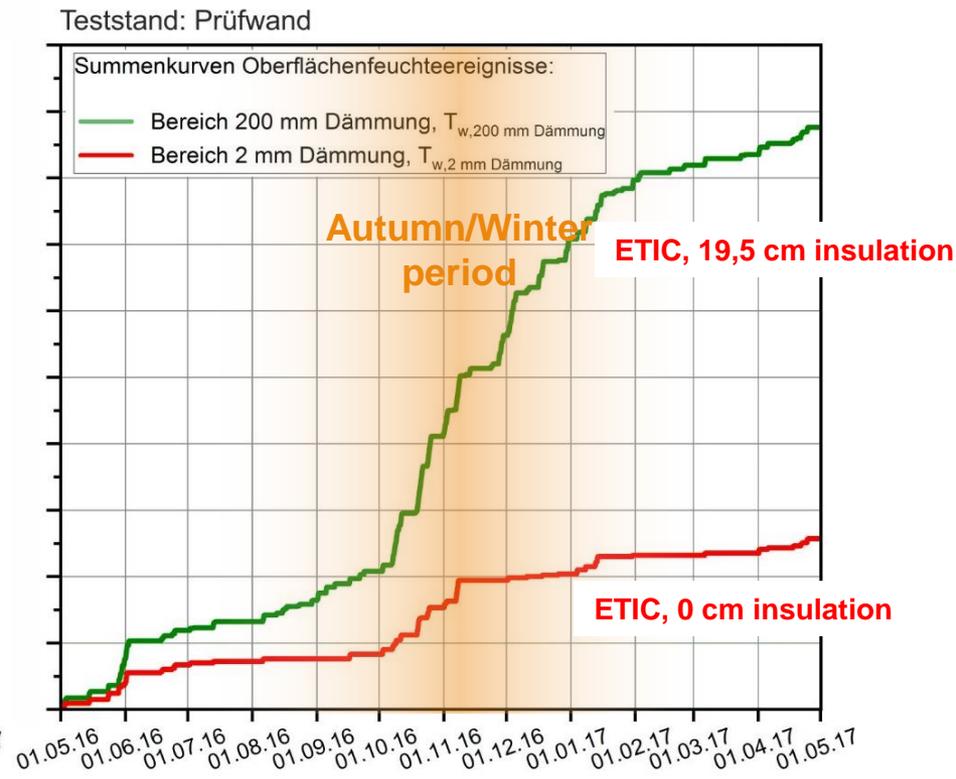
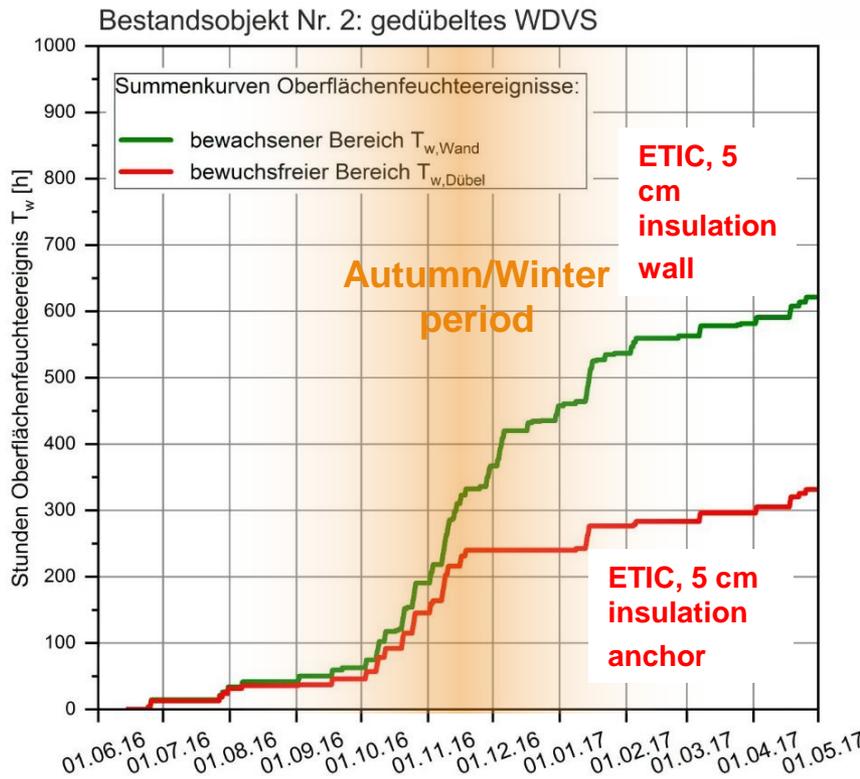
LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Evaluation of the calculation results –
Auswertung der Berechnungsergebnisse



Ableitung einer Kenngröße

Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Evaluation of the calculation results –
Auswertung der Berechnungsergebnisse



Ableitung einer Kenngröße Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Evaluation of the calculation results –
Auswertung der Berechnungsergebnisse



- Hauptwachstumsphase Ende Herbst bis Ende Winter sichtbar an intensiver Grünfärbung
Main growth phase end of autumn to end of winter visible by intensive green colouring of the fouling

Ableitung einer Kenngröße Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Evaluation of the calculation results –
Auswertung der Berechnungsergebnisse

Sommer



Winter



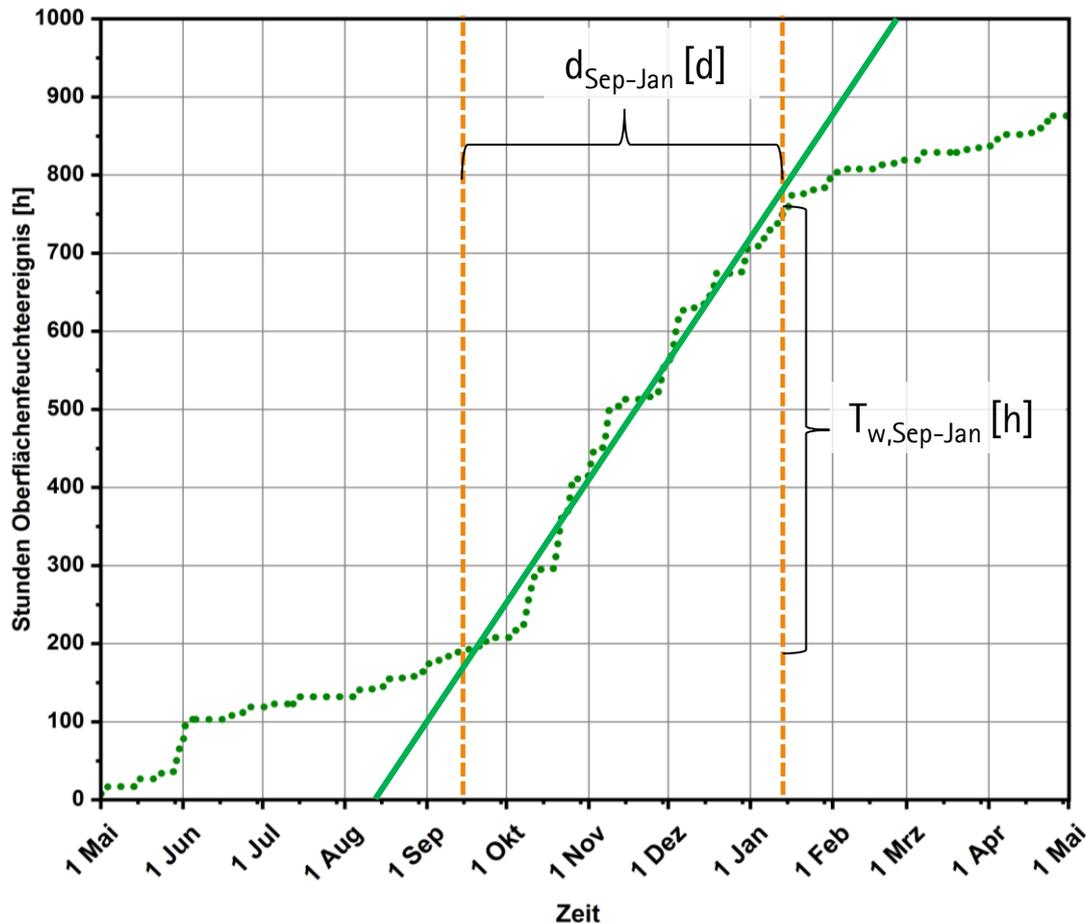
- Intensive Grünfärbung auch an anderen Freiflächen in der Herbst-/Winterperiode erkennbar, daher Berücksichtigung im Kennwert (Auswertung vom 15.09. bis 15.01.)

Intense green colouration also visible on other outdoor areas in the autumn/winter period, therefore the value is calculated (evaluation from 15.09. to 15.01.).

Ableitung einer Kenngröße

Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Method for determining a characteristic value
 Methode zur Bestimmung einer Kenngröße



Summenkurve **Sum curves moisture events**

..... Oberflächenfeuchteereignisse T_w
 für rechn. Feuchte $w_{se} \geq 99\%$
Surface moisture events

— Regressionsgerade $f_{T_w}(x)$
Regression line

Regressionsanalyse in der Zeit von
 September bis Januar

$$f_{T_w}(x) = \text{Reg} \left(\frac{T_{w,\text{Sep-Jan}}}{d_{\text{Sep-Jan}}} \right) = t'_{w,\text{Sep-Jan}} \cdot x + n$$

With a new parameter to describe the
 moisture stress on a surface:

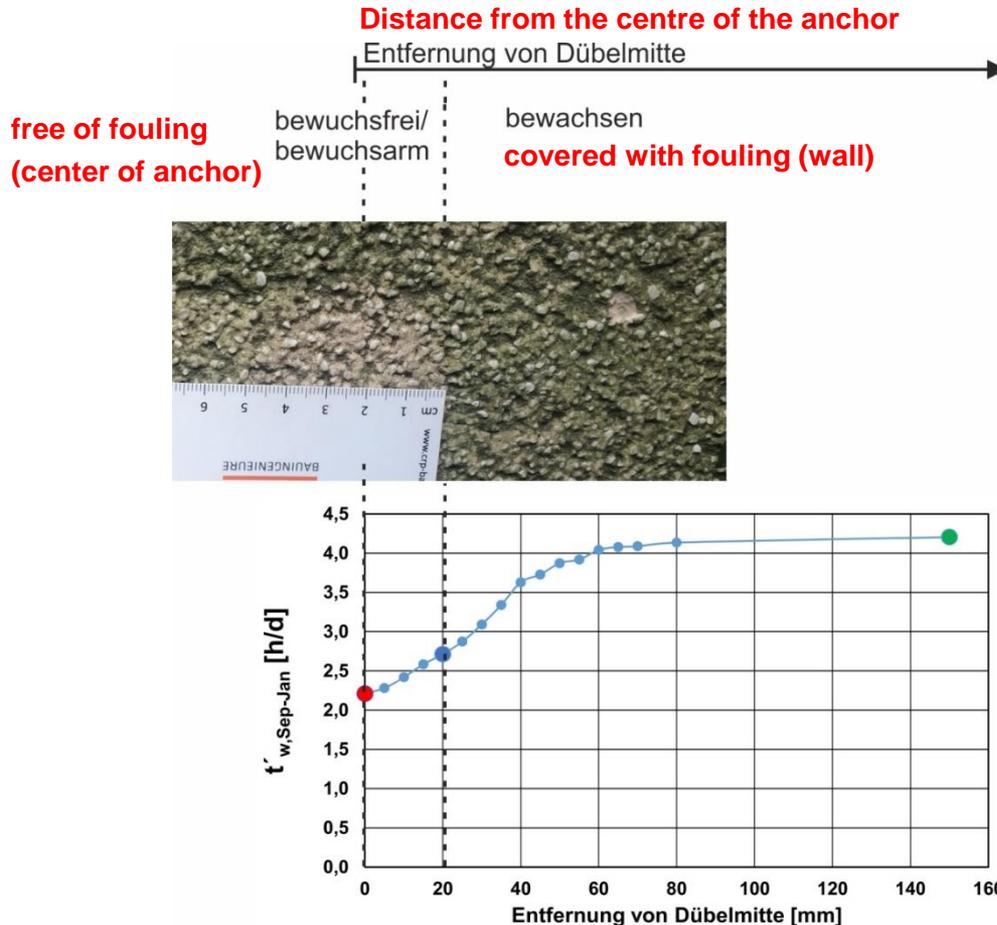
Surface moisture intensity
Oberflächenfeuchteintensität

$t'_{w,\text{Sep-Jan}}$ in [h/d]

Ableitung einer Kenngröße

Definition of a parameter

LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON EXISTING OBJECTS – Use of the new parameter
Anwendung der neuen Kenngröße



OBSERVATION:

- Fouling increases with increasing distance from the centre of the anchor
- $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ increases with distance from the anchor centre
- correlation between fouling and surface moisture intensity $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$

Entwicklung einer Bewertungsmethode Development of a valuation method

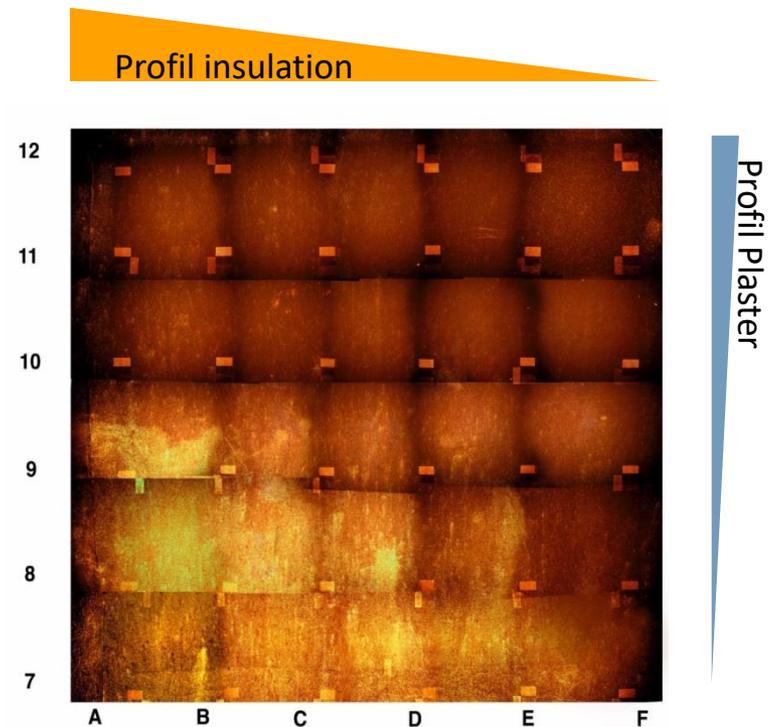
LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON A TEST STAND - Application of the new parameter on a test stand

- Anfangsbewuchs und Verlauf einer Bewuchsgrenze seit Herbst 2016 über Fluoreszenzaufnahmen sichtbar
Initial fouling and course of a fouling boundary since autumn 2016 visible via fluorescence images
- Visuell sichtbare Bewuchsgrenze und Bewuchstendenz seit Oktober 2017 aufgetreten
fouling visible and fouling tendency occurred since October 2017

Klarbild

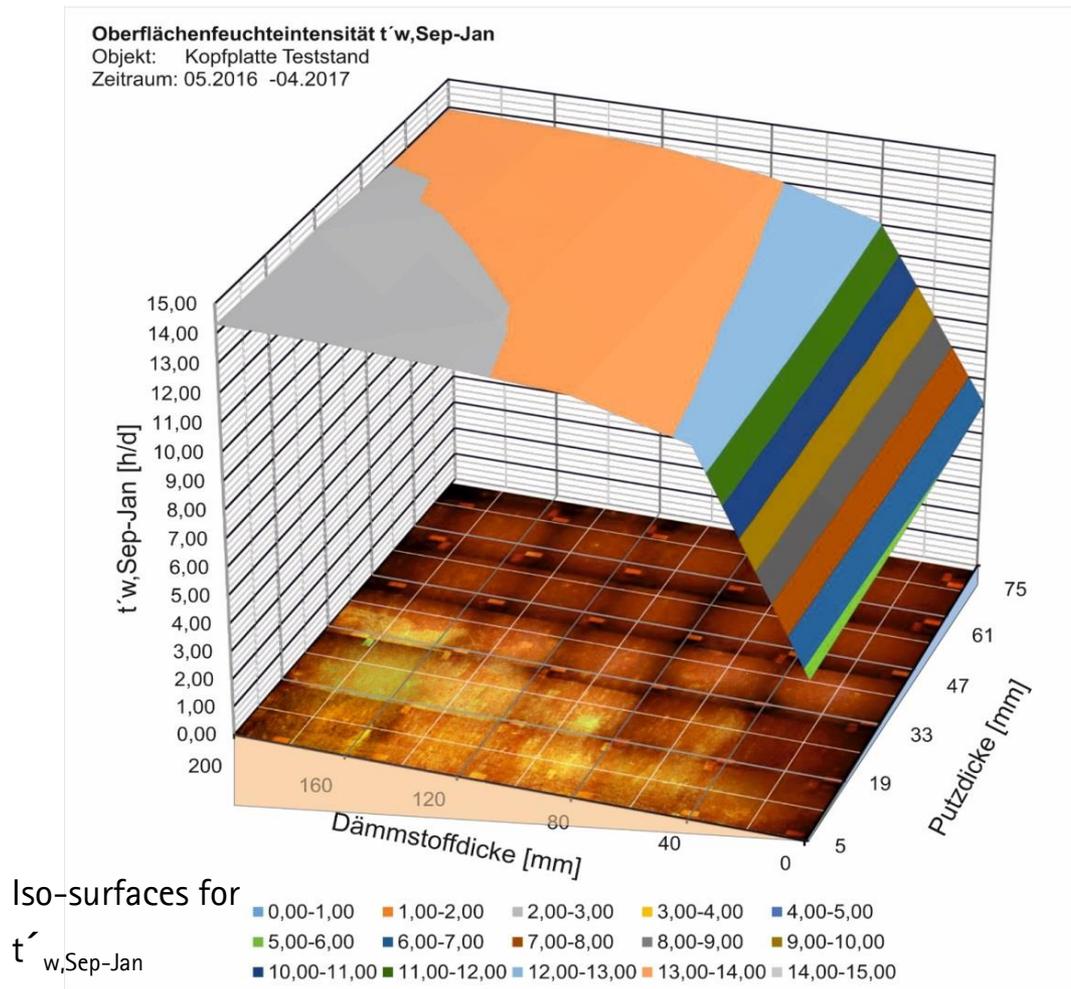


Fluoreszenzbild



Entwicklung einer Bewertungsmethode Development of a valuation method

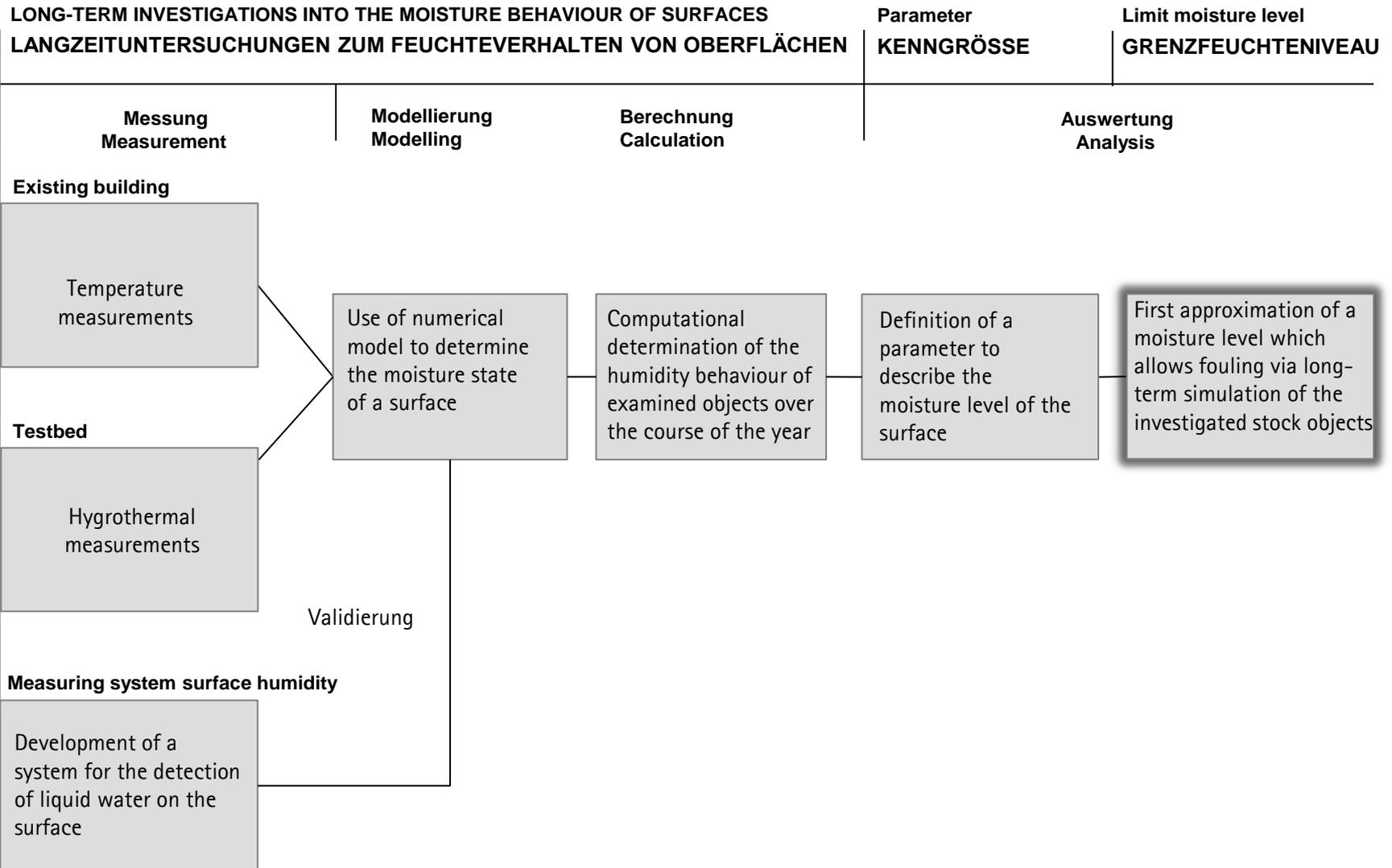
LONG-TERM MEASUREMENTS AND SIMULATION ON A TEST STAND - Application of the new parameter on a test stand



Fazit:

- Correlation between real fouling pattern and calculated surface moisture intensity $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ over test area visible
- Usability of the new parameter verified

Vorgehen – Procedure



Erste Annäherung eines Grenzfeuchteniveaus First approximation of a limiting moisture level

DETERMINATION OF CRITICAL SURFACE INTENSITY VIA LONG-TERM SIMULATION - Calculation Methods

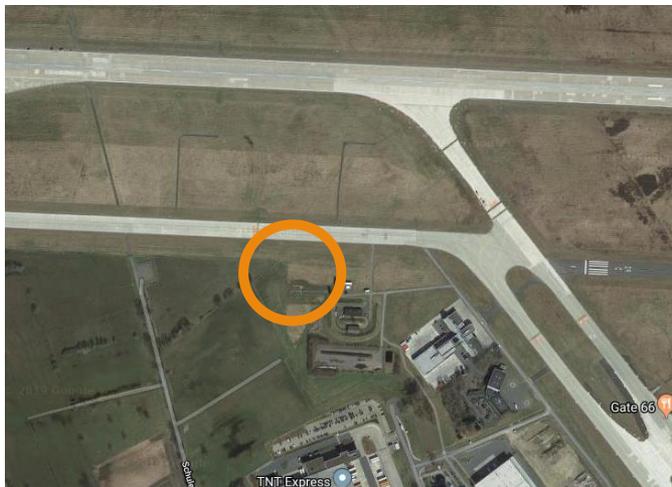
- Simulation aller Untersuchungsobjekte über 9 Jahre (2010 bis 2018) und zusätzlich mit den für den jeweiligen Klimastandort gültigen hygrothermischen Referenzjahren

Simulation of all investigated objects over 9 years (2010 to 2018) and additionally with the hygrothermal reference years valid for the respective climate location.

- Bezug der Klimadaten über nahegelegene Wetterstationen des Deutschen Wetterdiensts und Berücksichtigung des Mikroklimas am Messstandort

Reference of climate data via nearby weather stations of the German Weather Service and consideration of the microclimate at the measurement site

Lage Wetterstation DWD, Langenhagen Flughafen



Lage Untersuchungsobjekt, Garbsen

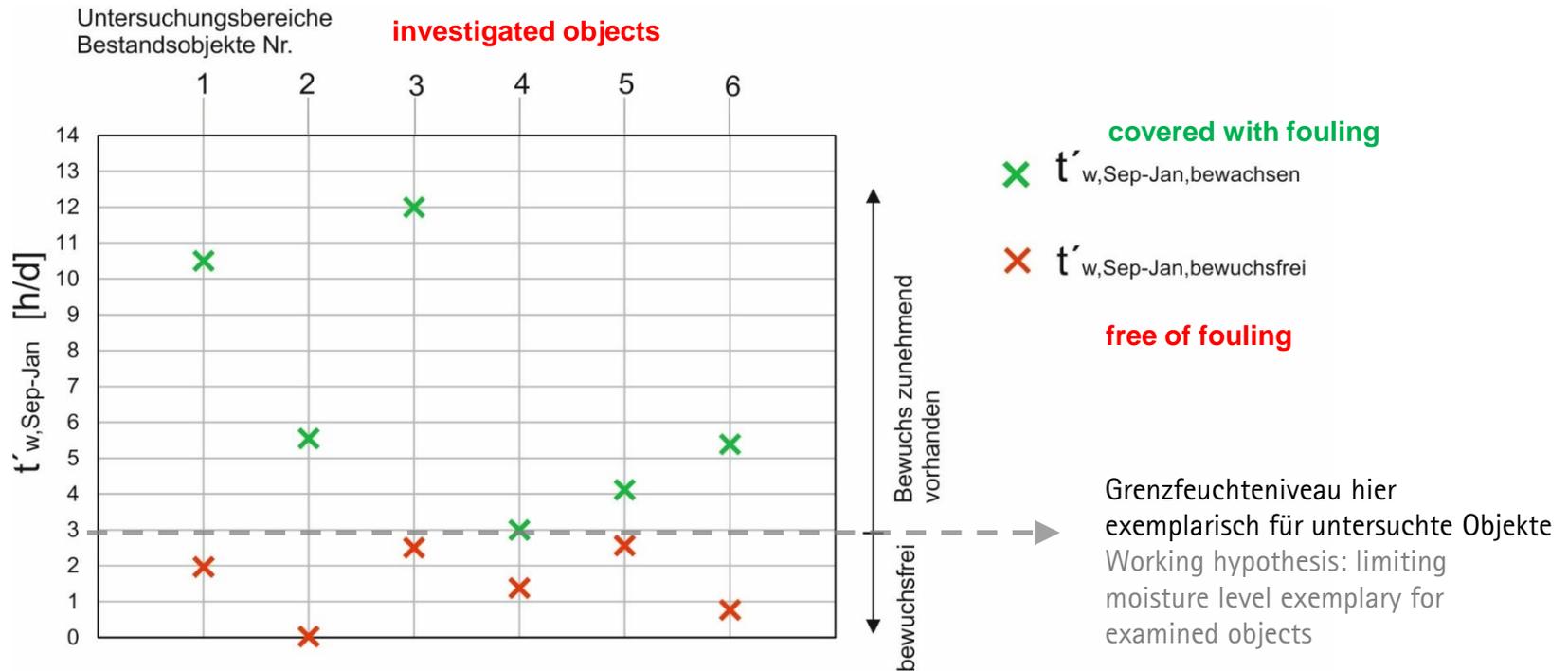


Bilder: ©2018 DigitalGlobe, GeoBasis-DE/BKG,GeoContent, Kartendaten: ©2018 GeoBasis-DE/BKG (©2009 google)

Erste Annäherung eines Grenzfeuchteniveaus

First approximation of a limiting moisture level

DETERMINATION OF CRITICAL SURFACE INTENSITY VIA LONG-TERM SIMULATION - Calculation Methods

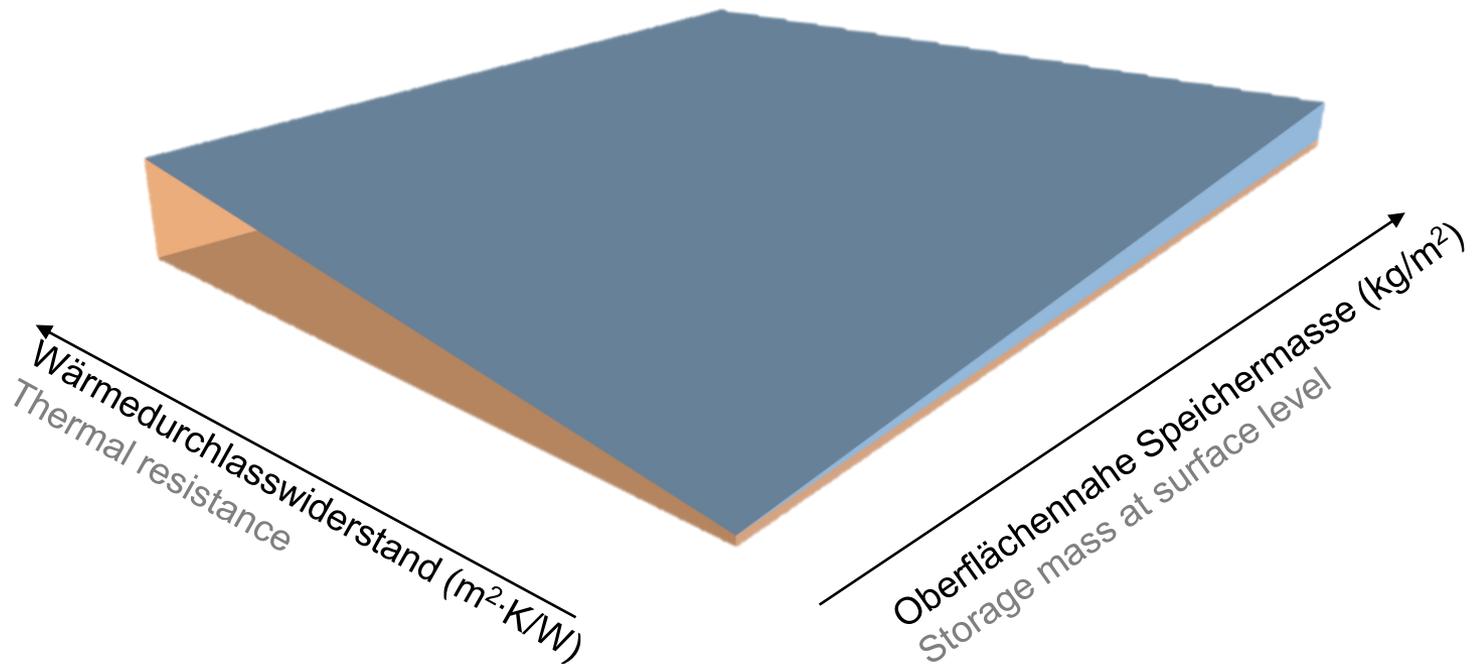


- Tendenzuelle Ableitbarkeit eines Grenzfeuchteniveaus anhand der Kenngröße Oberflächenfeuchteintensität
Tendency to derive a boundary moisture level on the basis of the parameter surface moisture intensity
- Für einen allgemeingültig anwendbaren Grenzwert ist ein größerer Untersuchungsumfang unter Anwendung der vorgeschlagenen Methodik notwendig
For a generally applicable limit value, a larger scope of investigation is necessary using the proposed methodology

Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

Calculations of variations and derivation of recommendations

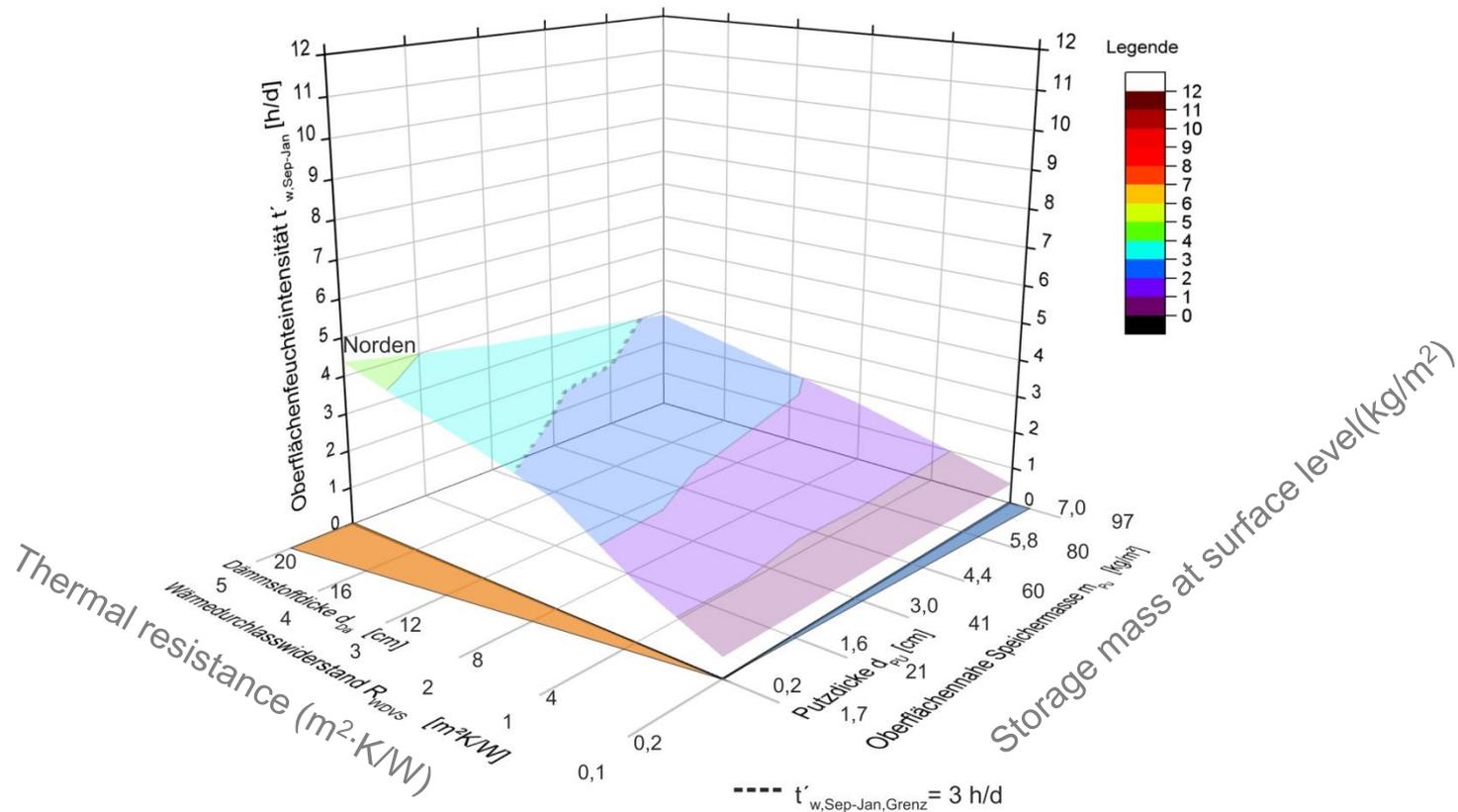
EXAMINATION OF VARIOUS INFLUENCE PARAMETERS - Variation wall construction



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

Calculations of variations and derivation of recommendations

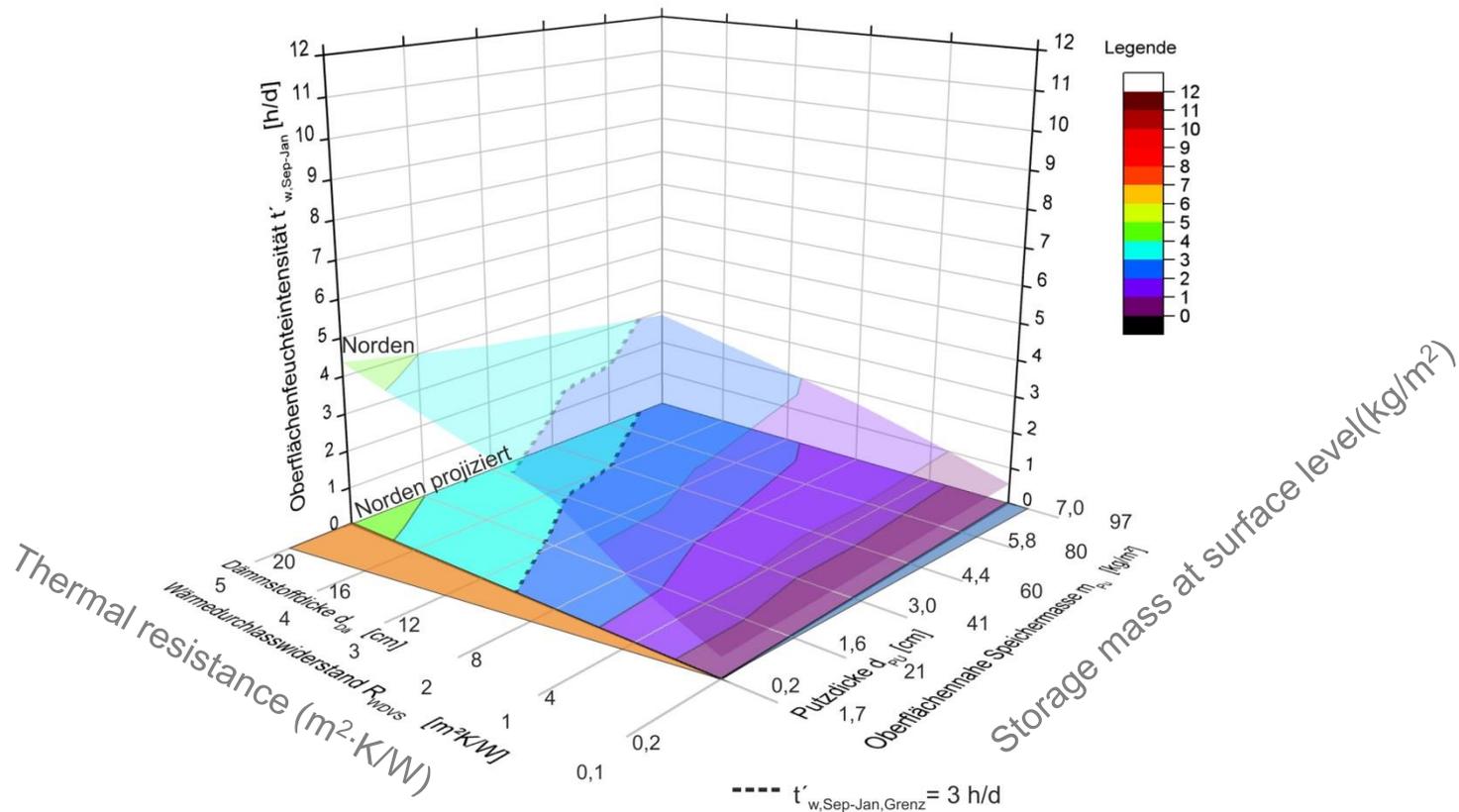
UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

Calculations of variations and derivation of recommendations

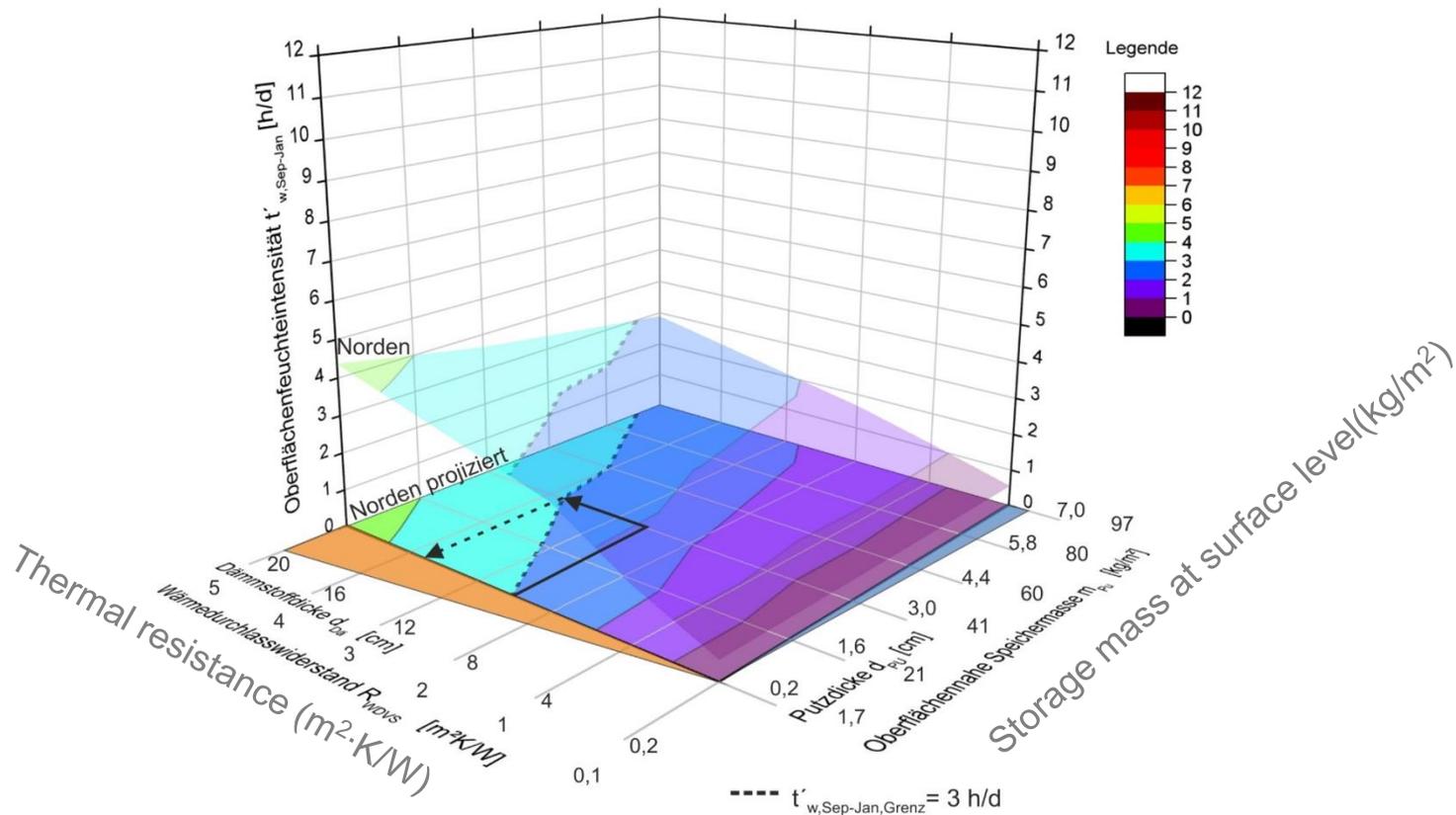
UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

Calculations of variations and derivation of recommendations

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

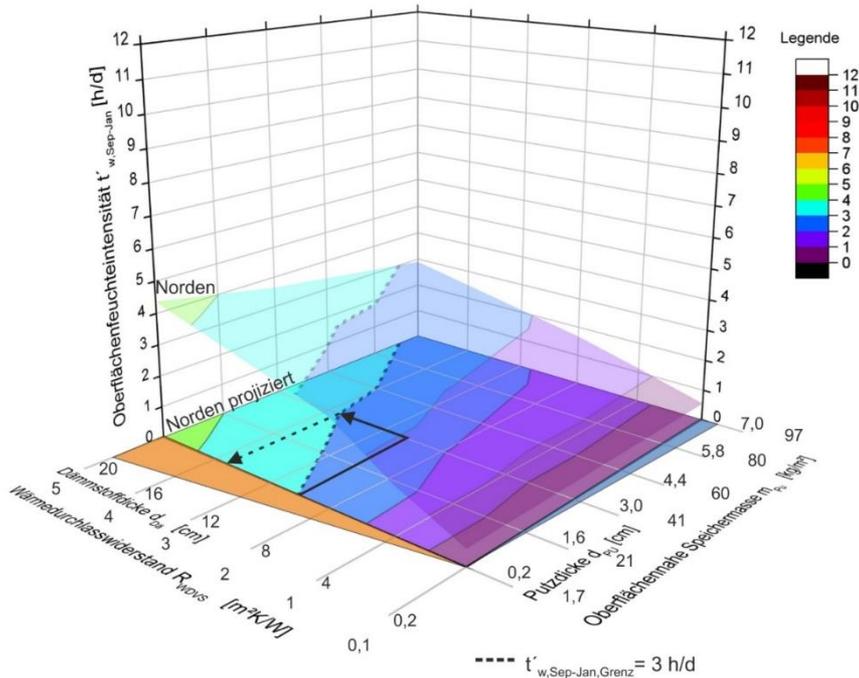
Calculations of variations and derivation of recommendations

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER SIND IN DER PROMOTIONSSCHRIFT!
 DOKUMENTIERT INVESTIGATION OF VARIOUS INFLUENCING PARAMETERS ARE DOCUMENTED IN THE PHD THESIS!

Beispiel Dimensionierung Wandaufbau:

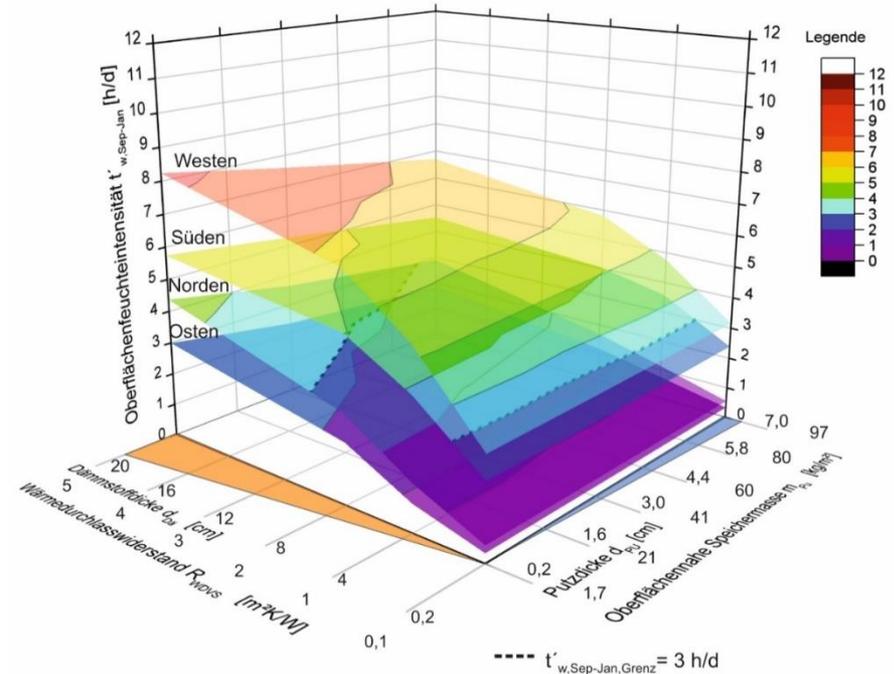
Aufbau A: $d_{oi}=10$ cm; $d_{pi}=0,2$ cm
 Aufbau B: $d_{oi}=15$ (14) cm; $d_{pi}=3$ cm

Verbesserung des R-Werts von ca. 2,5 auf 3,8 m²K/W



Jahresmittelwert rel.-F.= 79 %

Auftreffende Schlagregensumme pro Jahr bzw:
 Westwand: 78,6 mm/a
 Südwand: 39,6 mm/a
 Nordwand: 11,8 mm/a
 Ostwand: 8,0 mm/a



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen Calculations of variations and derivation of recommendations

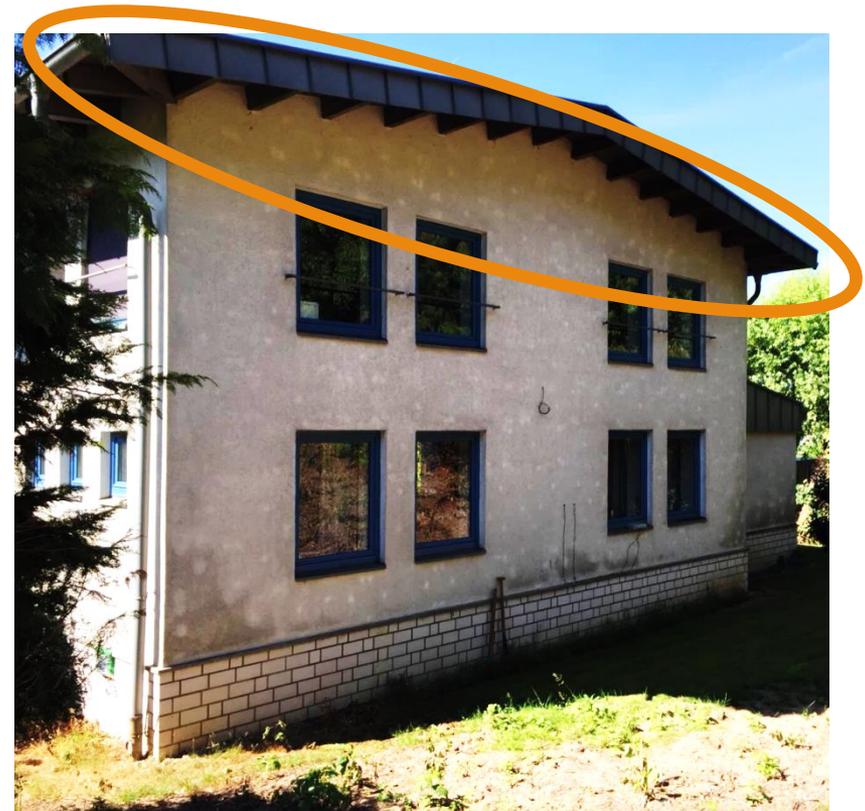
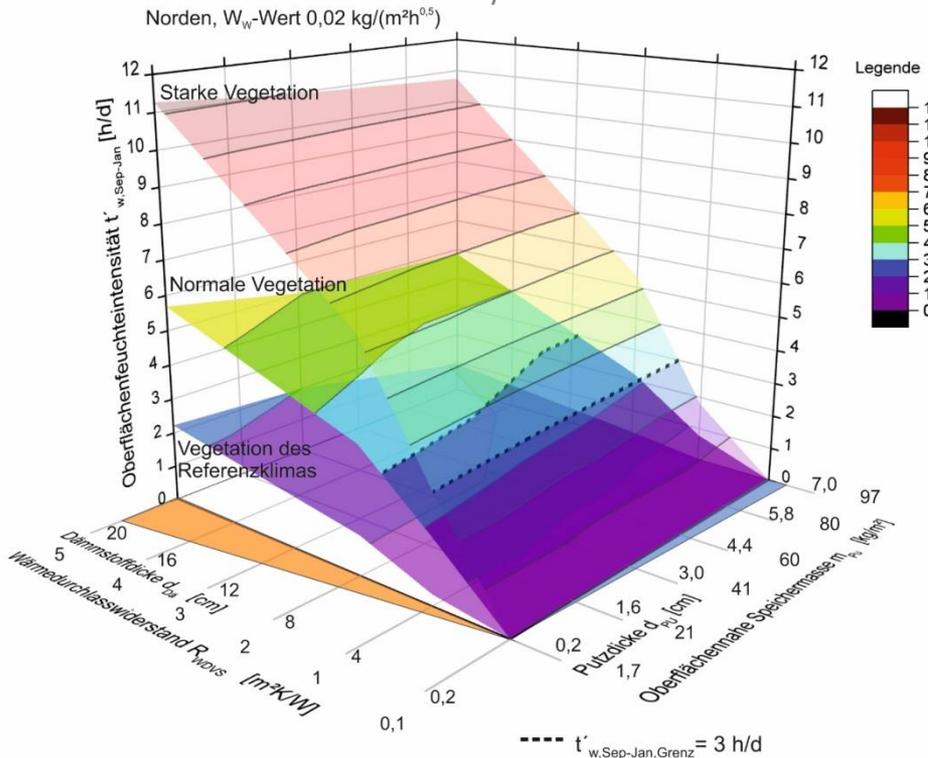
EXAMINATION OF VARIOUS INFLUENCE PARAMETERS - Moisture level change due to vegetation

Vegetation:
Wie Referenzklima (Rasen, kleine Büsche)
Jahresmittelwert rel.-F.= 79 %

Normale Vegetation (Bäume, Büsche Vorstadt)
Jahresmittelwert rel.-F.= 80,3 %

Starke Vegetation (Starker Bewuchs, viel Büsche und Bäume)
Jahresmittelwert rel.-F.= 88 %

Kein Regen,
Hydrophobes Putzsystem
no rain, hydrophobic plaster system



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen Calculations of variations and derivation of recommendations

EXAMINATION OF VARIOUS INFLUENCE PARAMETERS - Moisture level change due to vegetation

Vegetation:
Wie Referenzklima (Rasen, kleine Büsche)
Jahresmittelwert rel.-F.= 79 %

Normale Vegetation (Bäume, Büsche Vorstadt)
Jahresmittelwert rel.-F.= 80,3 %

Starke Vegetation (Starker Bewuchs, viel Büsche und Bäume)
Jahresmittelwert rel.-F.= 88 %

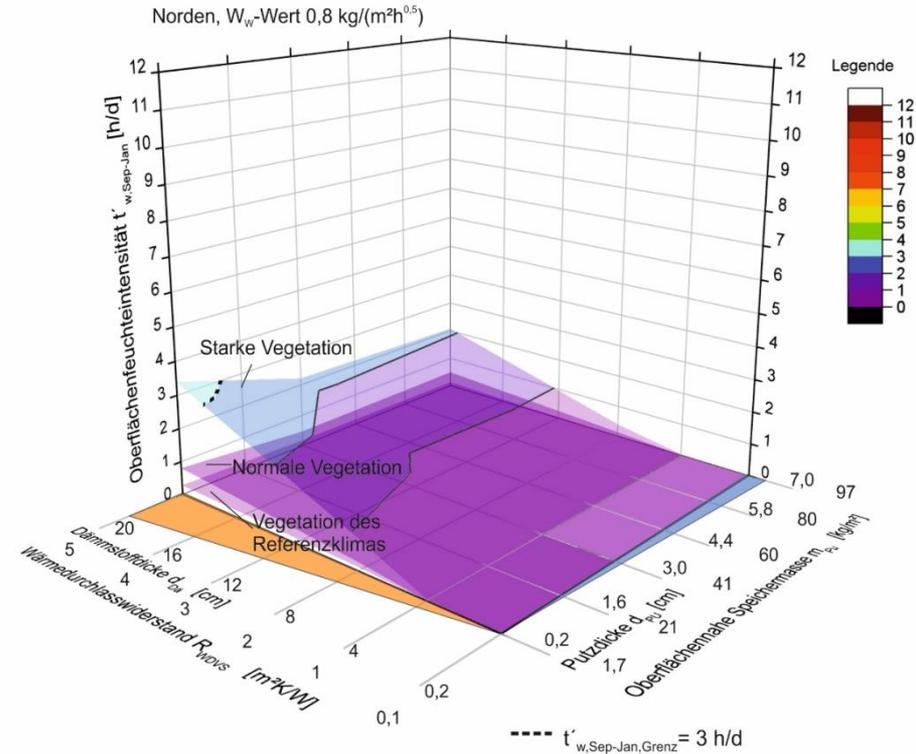
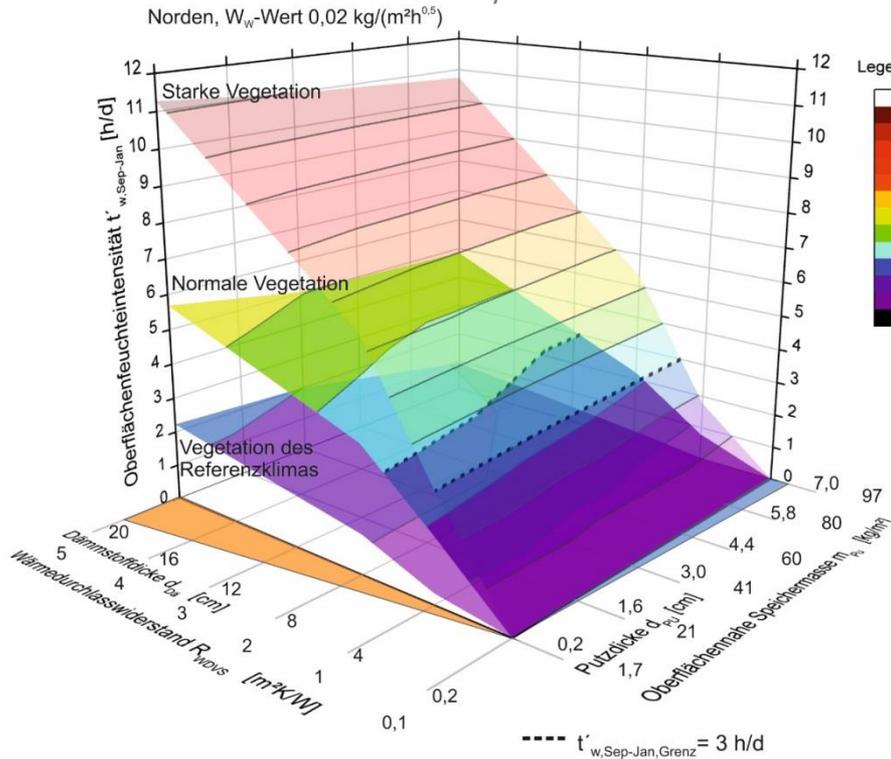
**Kein Regen,
Hydrophobes Putzsystem
no rain, hydrophobic plaster
system**

Vegetation:
Wie Referenzklima (Rasen, kleine Büsche)
Jahresmittelwert rel.-F.= 79 %

Normale Vegetation (Bäume, Büsche Vorstadt)
Jahresmittelwert rel.-F.= 80,3 %

Starke Vegetation (Starker Bewuchs, viel Büsche und Bäume)
Jahresmittelwert rel.-F.= 88 %

**Kein Regen,
Hydrophiles Putzsystem
no rain, hydrophilic plaster
system**



Zusammenfassung und Ausblick

Summary and outlook

SUMMARY OF THE RESULTS

- Alternativen zum Einsatz von Bioziden zur Vermeidung von mikrobiellem Bewuchs müssen gefunden werden
Alternatives to the use of biocides to prevent microbial fouling need to be found
- Ein Berechnungsmodell zur Bestimmung von Oberflächenwasser wurde erstellt und validiert
A calculation model for the determination of surface water was created and validated
- Eine Kenngröße zur Beurteilung, ab dem mit einem mikrobiellem Bewuchs zu rechnen ist, wurde aus phänomenologischen Untersuchungen abgeleitet (Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$)
A parameter for assessing the point at which microbial fouling is to be expected was derived from phenomenological investigations (surface moisture intensity $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$)
- In erster Näherung wurde ein vorläufiger Grenzwert aus der Analyse von bewachsenen und unbewachsenen Außenwandbereichen mit gleichen Randbedingungen abgeleitet
In a first approximation, a preliminary limit value was derived from the analysis of overgrown and non-overgrown exterior wall areas with the same boundary conditions.
- Variationsrechnungen von wesentlichen Einflussparametern wurden durchgeführt und deren Auswirkungen mit Hilfe von Einflussebenen ablesbar aufbereitet
Variation calculations of essential influencing parameters were carried out and their effects were prepared in a readable way with the help of influence levels.

Zusammenfassung und Ausblick

Summary and outlook

Outlook

- Zur Bestätigung des vorläufigen Grenzwerts sollten weitere phänomenologische Langzeitstudien an Beispielobjekten durchgeführt werden (breitere Streuung Materialparameter und Klimazonen)
To confirm the preliminary limit value, further phenomenological long-term studies should be carried out on sample objects (broader scattering of material parameters and climatic zones)
- Erarbeitung einer Planungshilfe, die es ermöglicht, abhängig von mikroklimatischen Randbedingungen die Außenwandkonstruktion zu dimensionieren (orts aufgelöste Vorhersage des Mikroklimas)
Development of a planning aid that makes it possible to dimension the external wall construction depending on microclimatic boundary conditions (spatially resolved prediction of the microclimate).
- Forschungsarbeit wird weiter geführt: Der Teststand wird weiter beobachtet. Die Ergebnisse und Vorgehensweise sollen sich in einem neuen WTA-Merkblatt wiederfinden (Frau Ackerbauer und ich sind dort Mitglieder der Arbeitsgruppe)
Research work continues: The test stand will continue to be monitored. The results and procedure are to be reflected in a new WTA publication (Ms Ackerbauer and I are members of the working group there).

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit und haben Sie
Fragen?**

Dziękuję za uwagę i czy mają Państwo jakieś pytania?