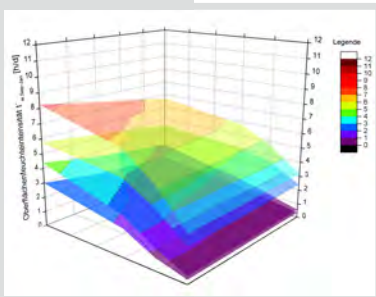


Dr.-Ing. Heide Ackerbauer



Vorhersage feuchteinduzierter Bewuchsentwicklung auf Außenwandoberflächen

WTA-Preis 2021

14.01.2022

Einführung



Einführung



Einführung

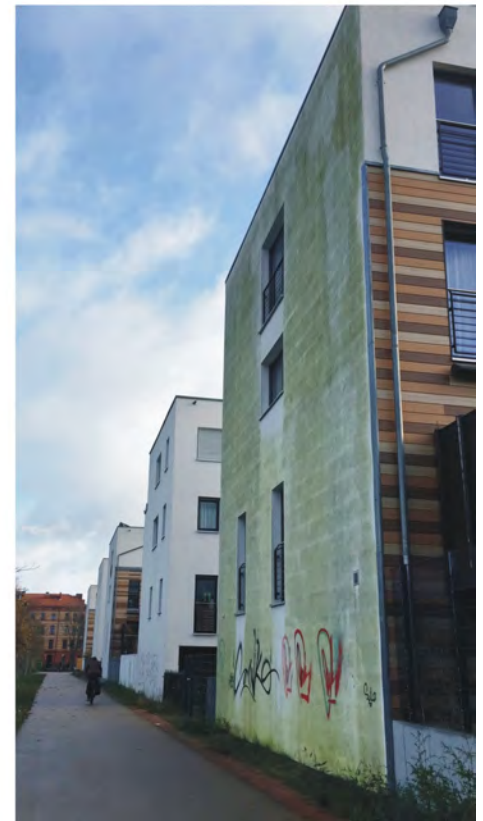
04-2015



09-2016



03-2018





Gedämmte Hauswände enthalten lebensgefährliche Biozide

08.02.2019, Welt.de, Autor: Richard Haimann

Um Heizenergie zu sparen und so die Klimaschutzziele zu erreichen, wurden viele Hausfassaden in Deutschland gedämmt. Gegen Algen und Schimmel, die den Kunststoff befallen, sollen Anstriche helfen. Doch die 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.

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“.

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

Einführung

BESIEDELNDE ARTEN

- Algen
- Pilze
- Bakterien
- Flechten
- Moose

WICHTIGE LEBENSGRUNDLAGEN

Mikroorganismus	Energiequelle	Kohlenstoffquelle	Licht	Feuchtigkeit	Temperatur
Algen	Sonne	CO ₂	nötig	nötig	Wachstum bei: -10 °C bis 50 °C Optimum: 15 °C bis 45 °C
Pilze	Organische Materie		Nicht nötig	nötig	
Bakterien	Organische Materie		Nicht nötig	nötig	
Flechten	Sonne + Organische Materie		nötig	nötig	

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

- Feuchtigkeit an der Fassadenoberfläche ist die Hauptursache für mikrobiellen Bewuchs
 - Quellen für Feuchtigkeit: Tauwasser und Regen

Einführung

TAUWASSERBILDUNG AN GEDÄMMTEN AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN



Feststellung: Effekt der Tauwasserbildung tritt überwiegend bei Wärmedämmverbundsystemen auf

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

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

Gegenmaßnahmen

	Chemisch	Mechanisch	Konstruktiv			
Maßnahmen u.a.	Biozide Ausrüstung der Ausgangsmaterialien	Regelmäßige Reinigung	Dachüberstände, Tropfkanten	Beheizung der Oberfläche	Stark wasserabweisende Oberflächen	Saugfähige Dickputzsysteme

LÖSUNGSANSATZ
BAUPHYSIK: Auslegung des Wandaufbaus/Maßnahmen/Materialwahl: Es werden gerade so viel Feuchteereignisse zugelassen, dass noch kein mikrobieller Bewuchs stattfindet.

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

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

Vorgehen

GRENZFEUCHTENIVEAU

Beschreibende Größe ?

Vorgehen

KENNGRÖSSE

GRENZFEUCHTENIVEAU

Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU

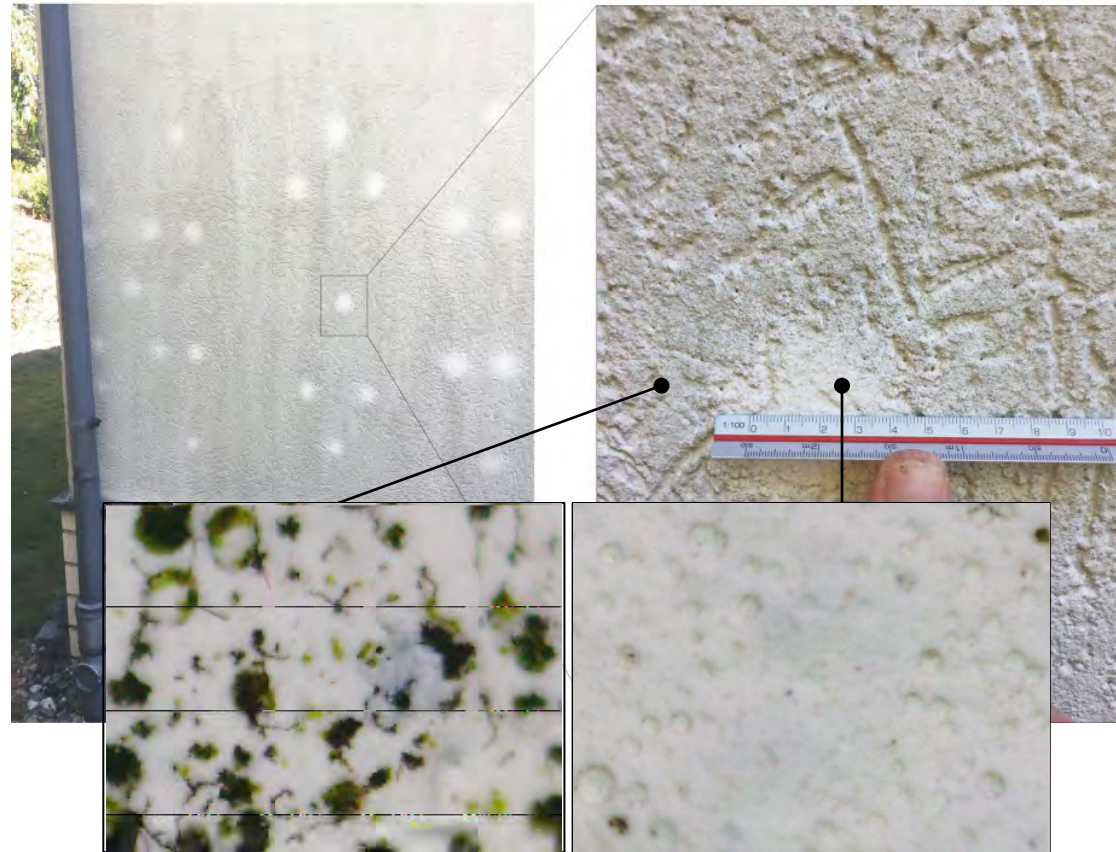
Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN KENNGRÖSSE GRENZFEUCHTENIVEAU

Messung

Bestandsobjekte

Temperaturmessungen



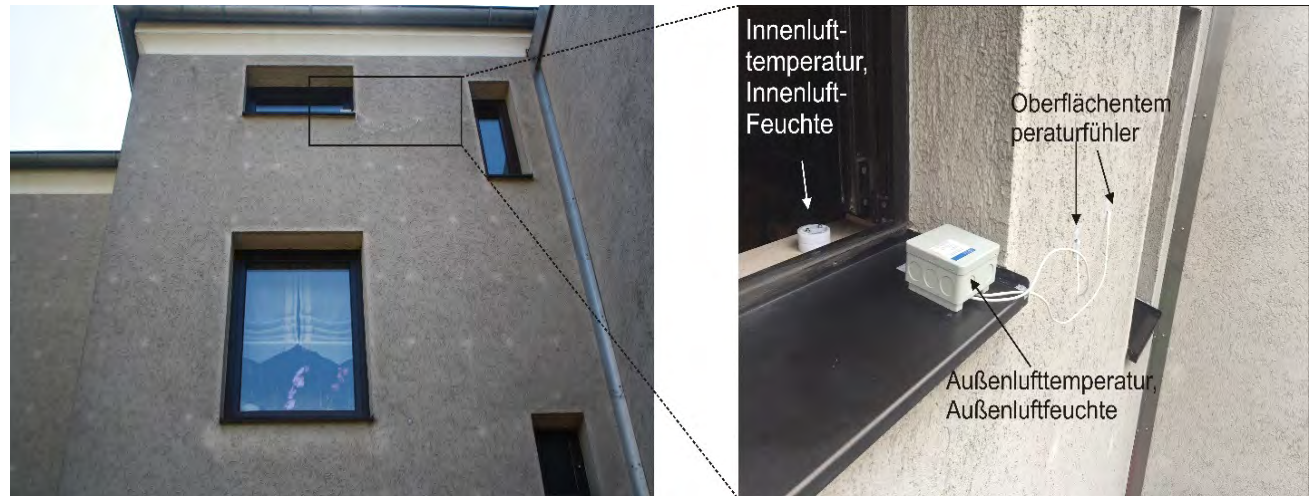
Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU
---	------------	--------------------

Messung

Bestandsobjekte

Temperaturmessungen



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

MESSZEITRAUM: 1 bis 3 Jahre

MESSOBJEKTE: 5

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

Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN KENNGRÖSSE GRENZFEUCHTENIVEAU

Messung

Bestandsobjekte

Temperaturmessungen

Teststand

Hygrothermische Messungen

Dicke
Dämmung: 0 cm
Putz: 7 cm
Geringes Bewuchsrisiko

Innen
 $\Theta_i \geq 20^\circ\text{C}$

Dicke
Dämmung: 0 cm
Putz: 0 cm

Geringes Bewuchsrisiko

Dämmkeil
expandiertes
Polystyrol

Putzkeil
Mineralischer Putz,
biozidfrei,
hydrophobiert

Außen
Außenklima
Frei bewittert

Dicke
Dämmung: 20 cm
Putz: 7 cm

Mäßiges Bewuchsrisiko

Dicke
Dämmung: 20 cm
Putz: 0 cm

Hohes Bewuchsrisiko

Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU
---	------------	--------------------

Messung

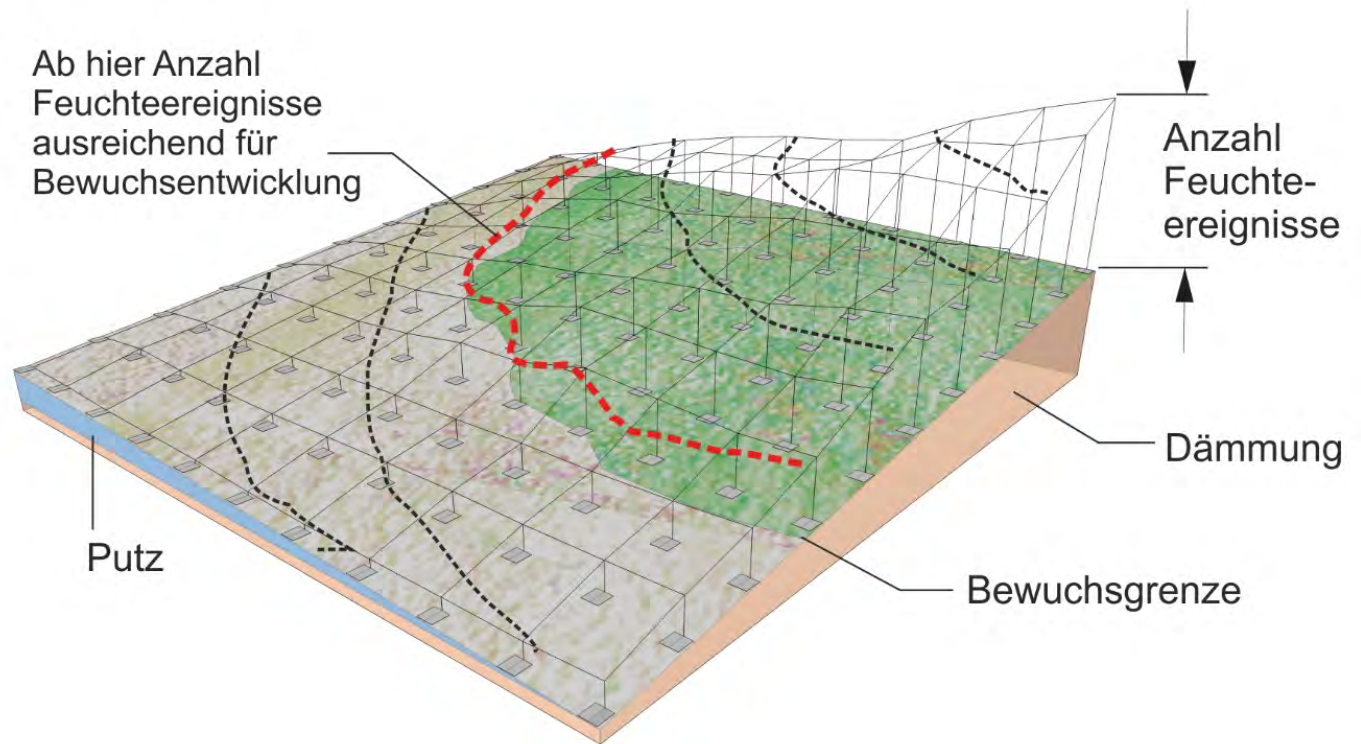
Bestandsobjekte

Temperaturmessungen

Teststand

Hygrothermische Messungen

Ab hier Anzahl
Feuchteereignisse
ausreichend für
Bewuchsentwicklung



Anzahl
Feuchte-
ereignisse

Dämmung

Bewuchsgrenze

Putz

Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN | KENNGRÖSSE | GRENZFEUCHTENIVEAU

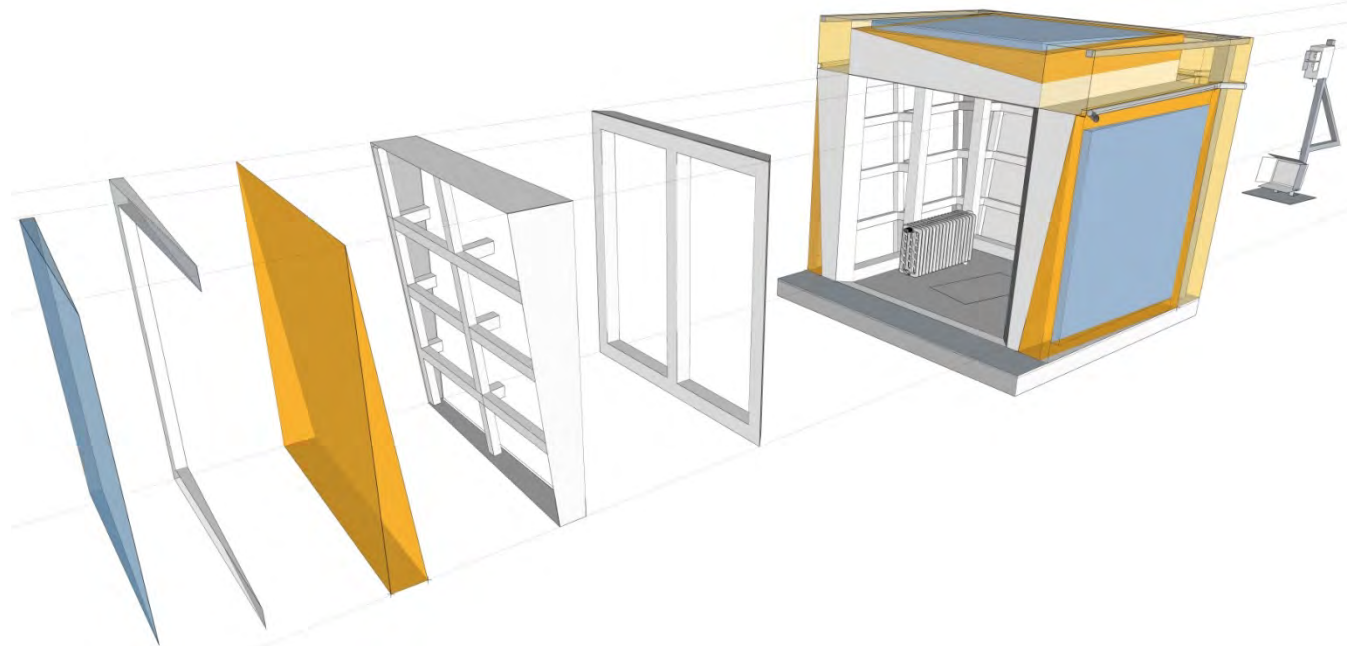
Messung

Bestandsobjekte

Temperaturmessungen

Teststand

Hygrothermische Messungen



MESSGRÖSSEN: Oberflächentemperaturen, Oberflächenfeuchtedetektion

MESSZEITRAUM: 2 Jahre (Aufbau 2016)

MESSAUFBAU: 5 Testflächen mit innerhalb einer Fläche variierendem Aufbau

ZIEL: Provozierung von Bewuchs zur Ableitung einer Bewuchsgrenze

STANDORT: Hannover Herrenhausen

Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU
---	------------	--------------------

Messung

Bestandsobjekte

Temperaturmessungen

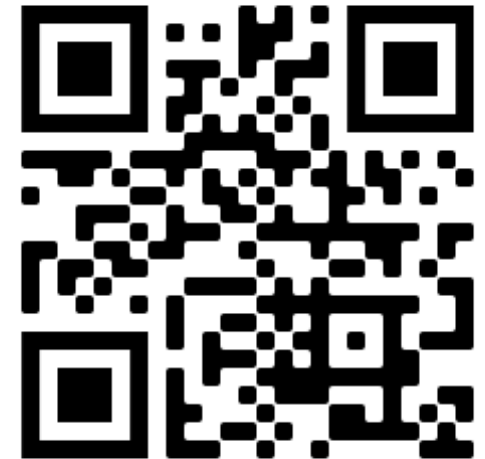
Teststand

Hygrothermische Messungen

VIDEO: Vorstellung Teststand „Würfel“



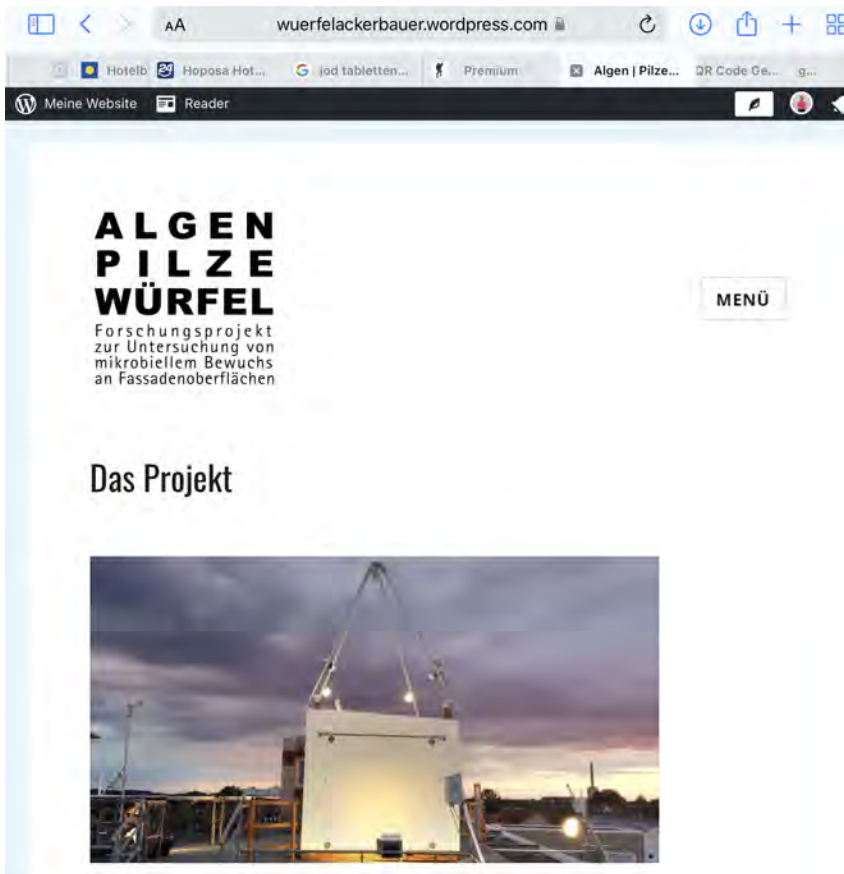
[Hier geht's zum Video](#)



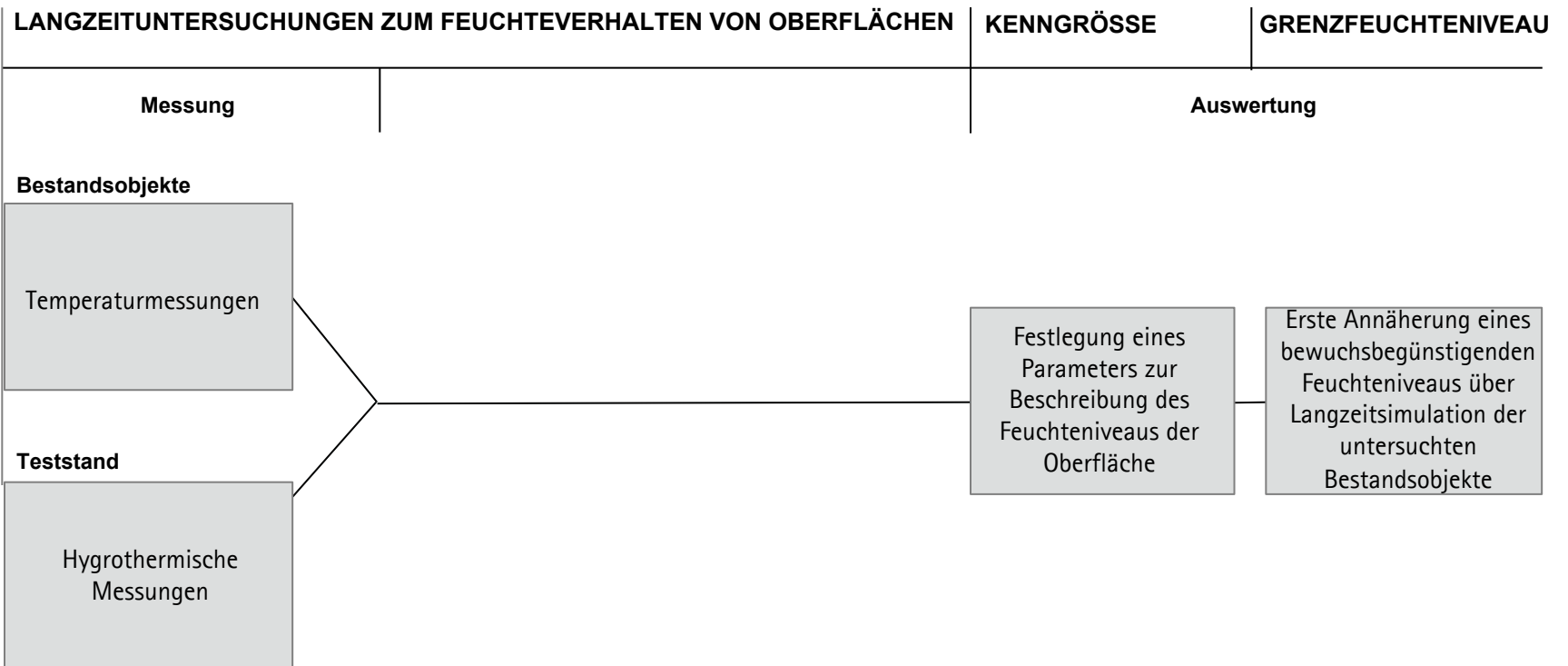
Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN	KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU
Messung		

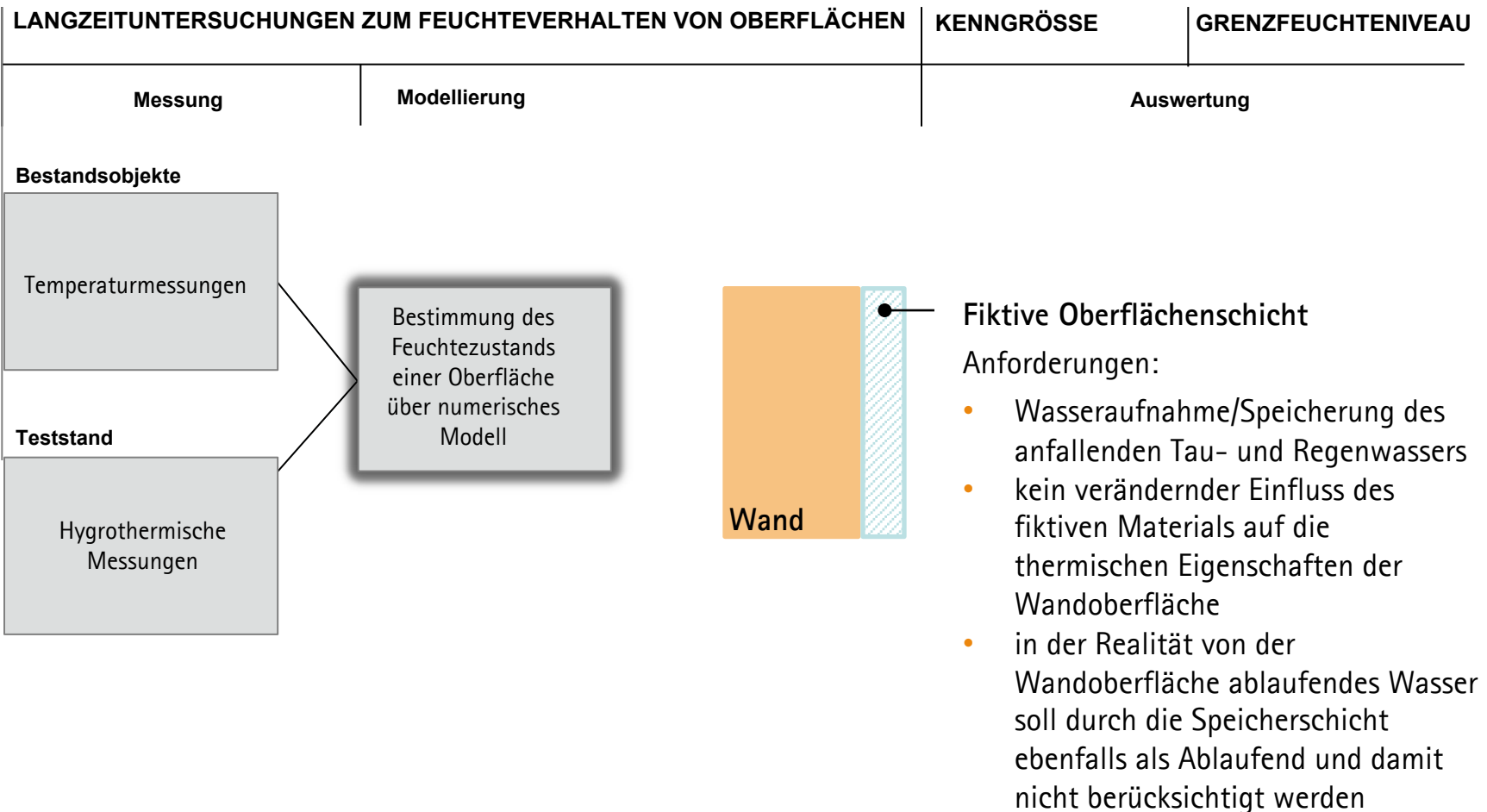
Nähere Infos zum Forschungsprojekt „Algen | Pilze | Würfel“ hier: <https://wuerfelackerbauer.wordpress.com>



Vorgehen



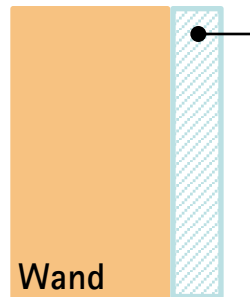
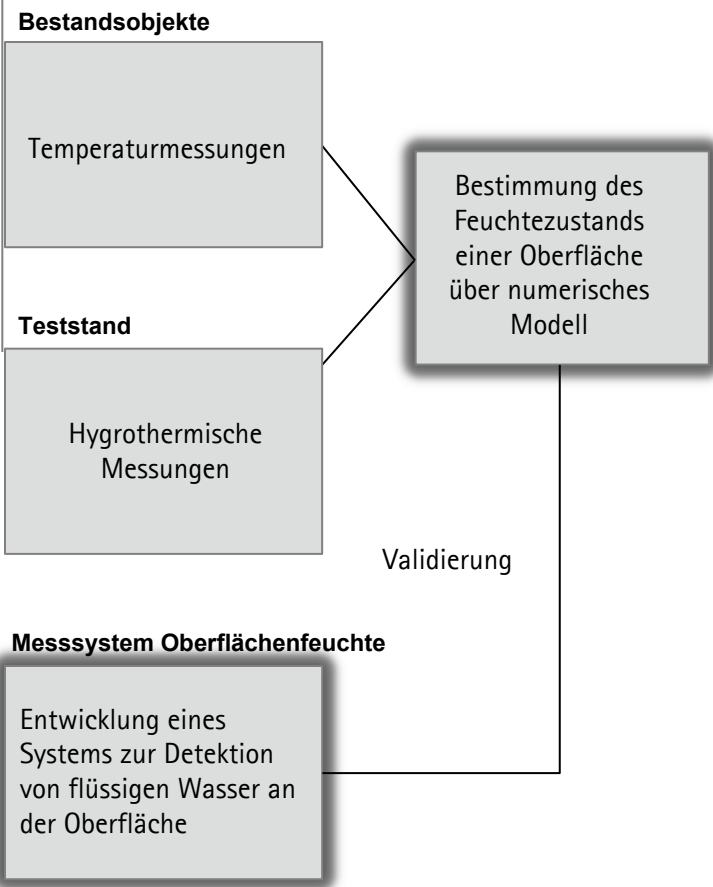
Vorgehen



Vorgehen

LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUM FEUCHTEVERHALTEN VON OBERFLÄCHEN		KENNGRÖSSE	GRENZFEUCHTENIVEAU
---	--	------------	--------------------

Messung	Modellierung	Auswertung	
---------	--------------	------------	--



Fiktive Oberflächenschicht

Anforderungen:

- Wasseraufnahme/Speicherung des anfallenden Tau- und Regenwassers
- kein verändernder Einfluss des fiktiven Materials auf die thermischen Eigenschaften der Wandoberfläche
- in der Realität von der Wandoberfläche ablaufendes Wasser soll durch die Speicherschicht ebenfalls als Ablaufend und damit nicht berücksichtigt werden

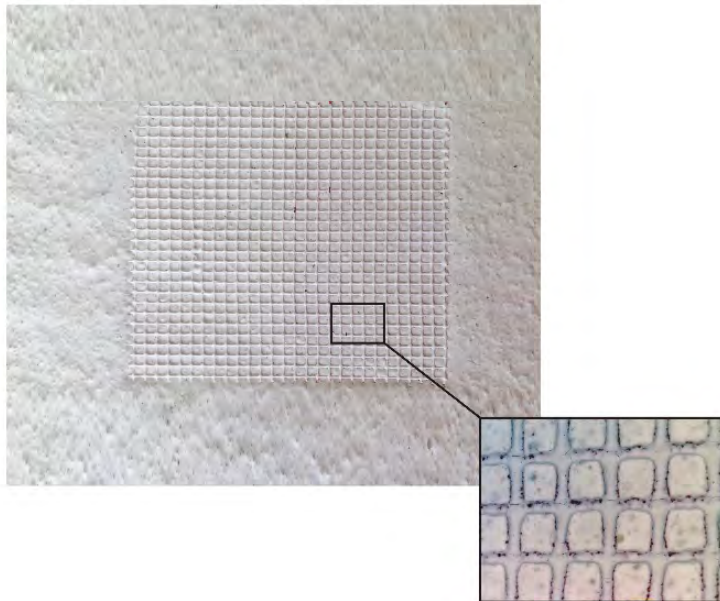
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells



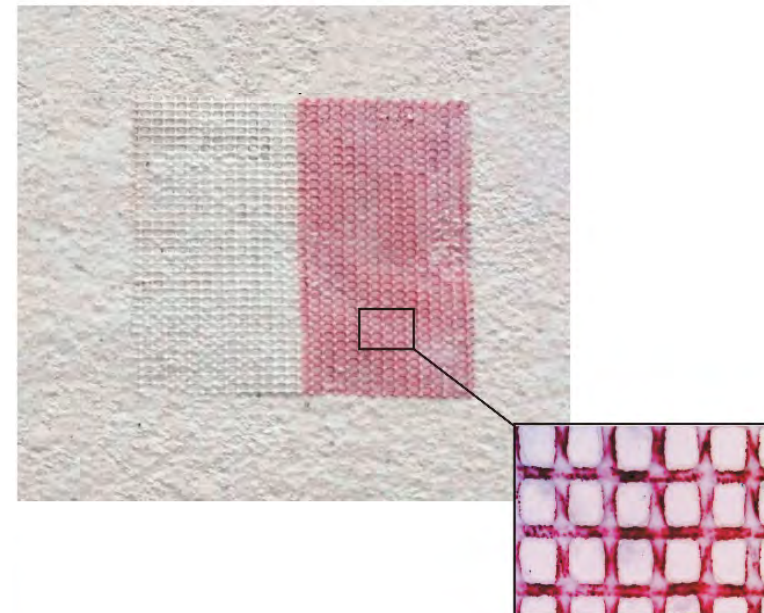
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

- Zerstörungsfreie Detektion von Oberflächenwasser
 - Feuchtedetektion über sich reversibel verfärbende Messbereiche auf der Oberfläche
- Geringstmögliche Einflussnahme auf hygrothermische Parameter
 - Gitterartige Struktur der Feuchtedetektoren
- Kontinuierliche Messung über längere Zeiträume und Auswertungsmöglichkeit
 - Softwaregestützte Auswertung von Bildreihen

Trockene Oberfläche
Messbereich nicht verfärbt



Nasse Oberfläche
Messbereich rot verfärbt

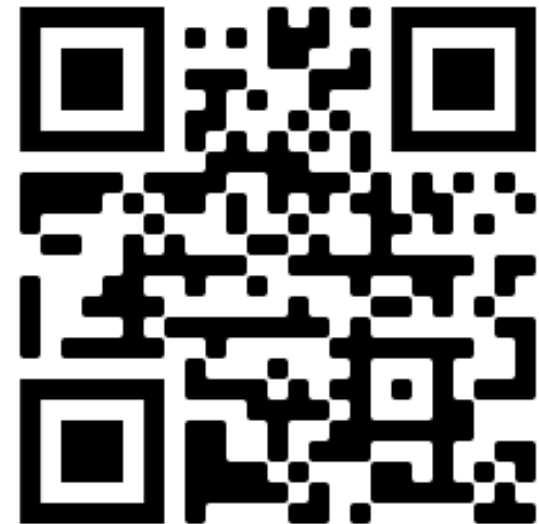


System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

VIDEO: Funktionsweise des Feuchtedetektors

hydrodetect 
Feuchtedetektion für Oberflächen

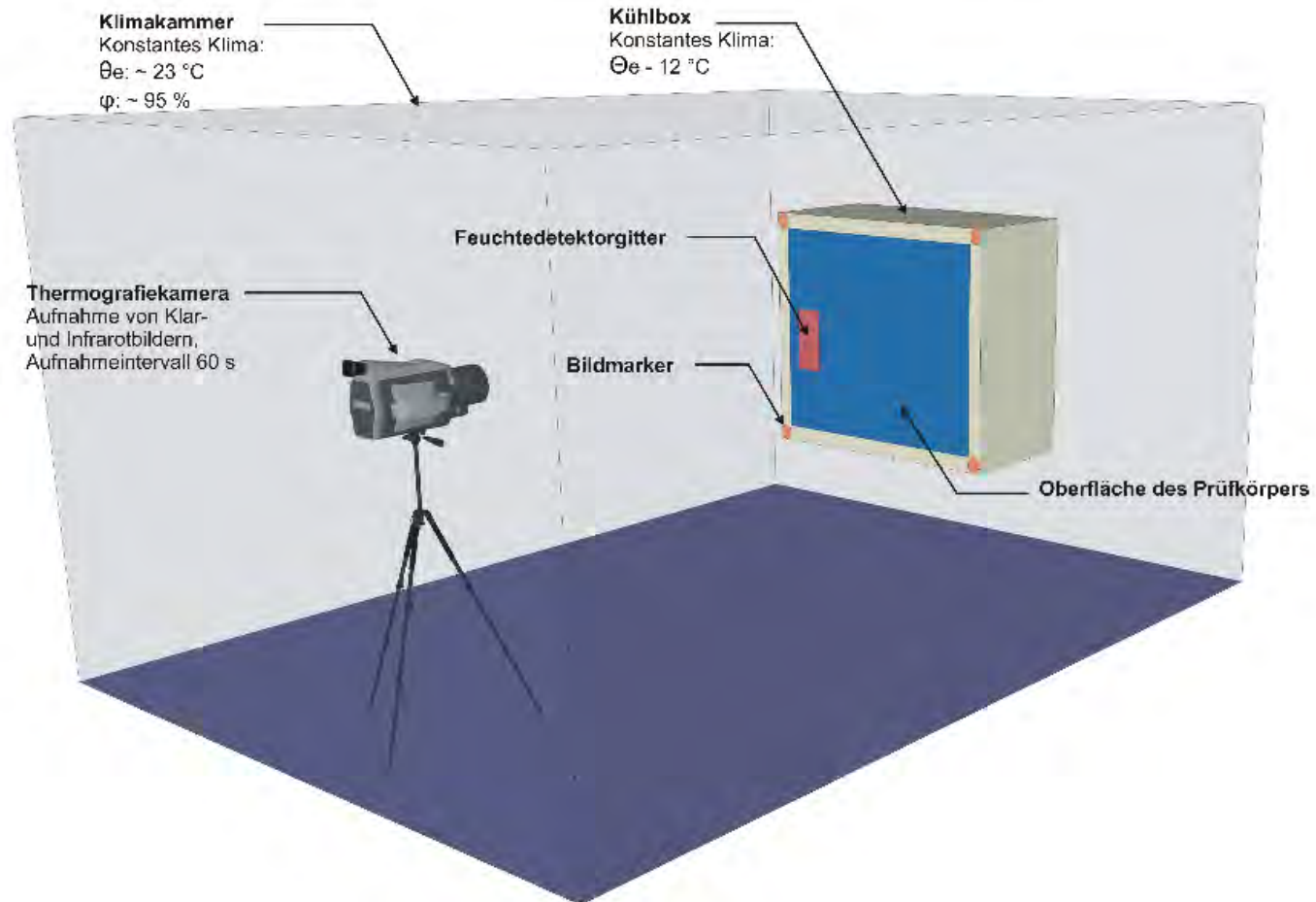
[Hier gehts zum Video](#)



System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

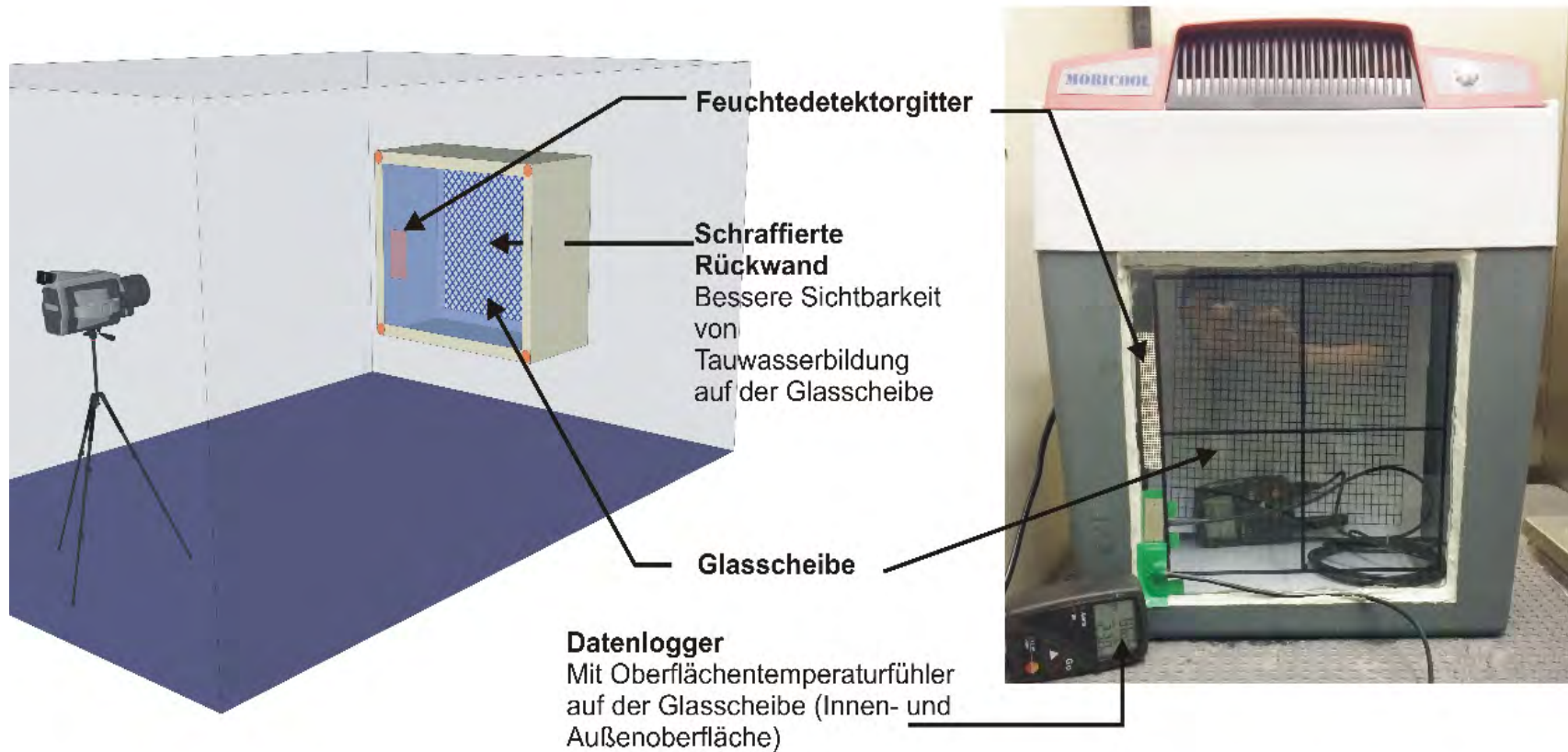
Stufe 1 – Kleinversuche unter definierten Laborrandbedingungen



System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 1 – Kleinversuche unter definierten Laborrandbedingungen – Betauung einer Glasscheibe



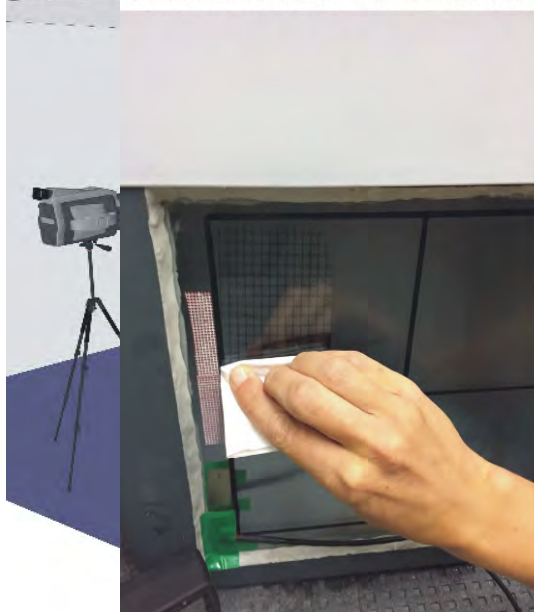
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 1 – Kleinversuche unter definierten Laborrandbedingungen – Betauung einer Glasscheibe

- Ausschluss von Saug- und Weiterleitungsvorgängen der Oberfläche durch Einsatz von Glas
- Betauungsbeginn und Abtrocknungszeitpunkt visuell durch Beschlagen der Scheibe und durch Farbumschlag eines neu entwickelten Feuchtedetektors bestätigt und damit bestimmbar
- Menge des anfallenden Tauwassers bestimmt durch Abnahme mit hochkapillaraktivem Zellstoff

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

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 1 – Kleinversuche unter definierten Laborrandbedingungen – Betauung einer Glasscheibe

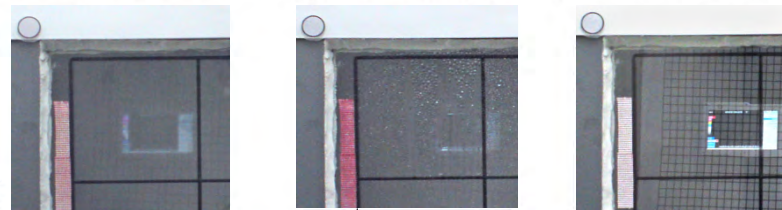
Beobachtungen

Betauung/Abtrocknung

Zeitpunkt 1: nach ca. 45 Min

Zeitpunkt 2: nach ca. 3,5 Std.

Zeitpunkt 3: nach ca. 7 Std.



Legende:

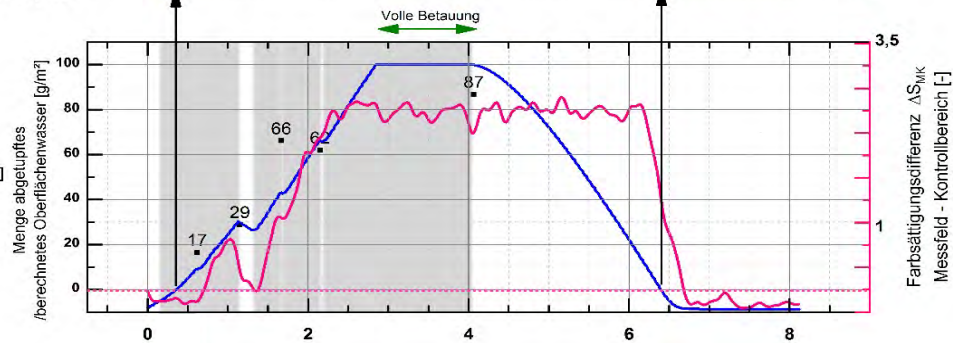
— Sichtbare Betauung [0...2]

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

Farbanalyse Feuchtedetektorgitter Feuchtemessung

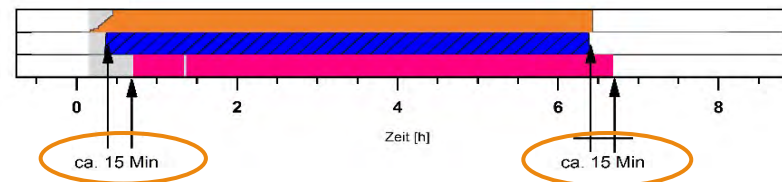
Legende:

- 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



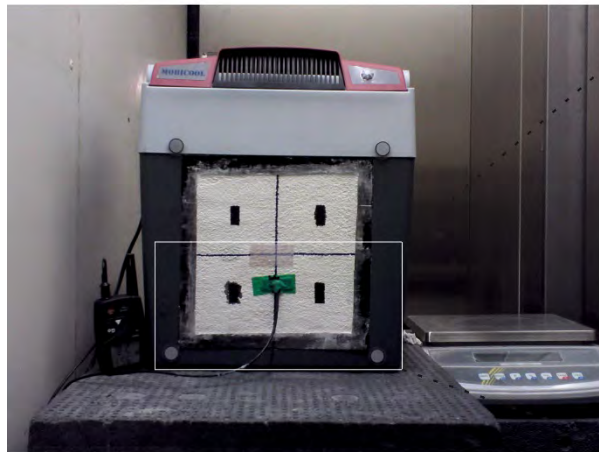
FAZIT:

- Feuchtedetektor validiert über visuelle Kontrolle mit Betauungs- und Abtrocknungszeiten
- Numerisches Modell berechnet angefallene Wassermenge sowie Betauungs- und Abtrocknungszeitpunkt mit guter Übereinstimmung

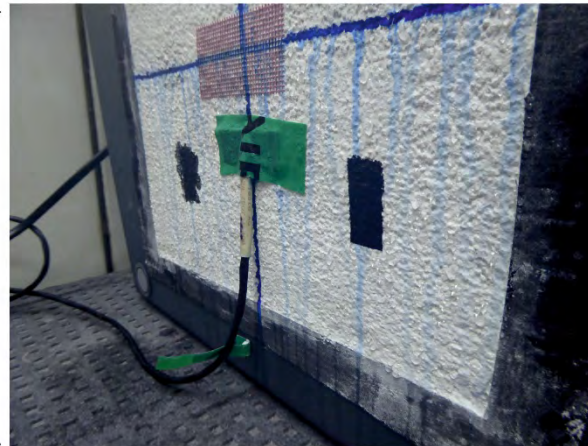
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS



Stufe 2 – Kleinversuche unter definierten Laborrandbedingungen – Betauung einer Putzoberfläche

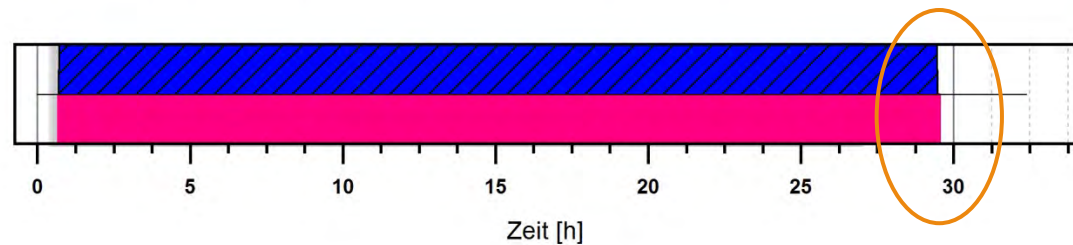


Durch Ablaufwasser verlaufene Markierung am Ende des Versuchs



Zeitraum freies Oberflächenwasser

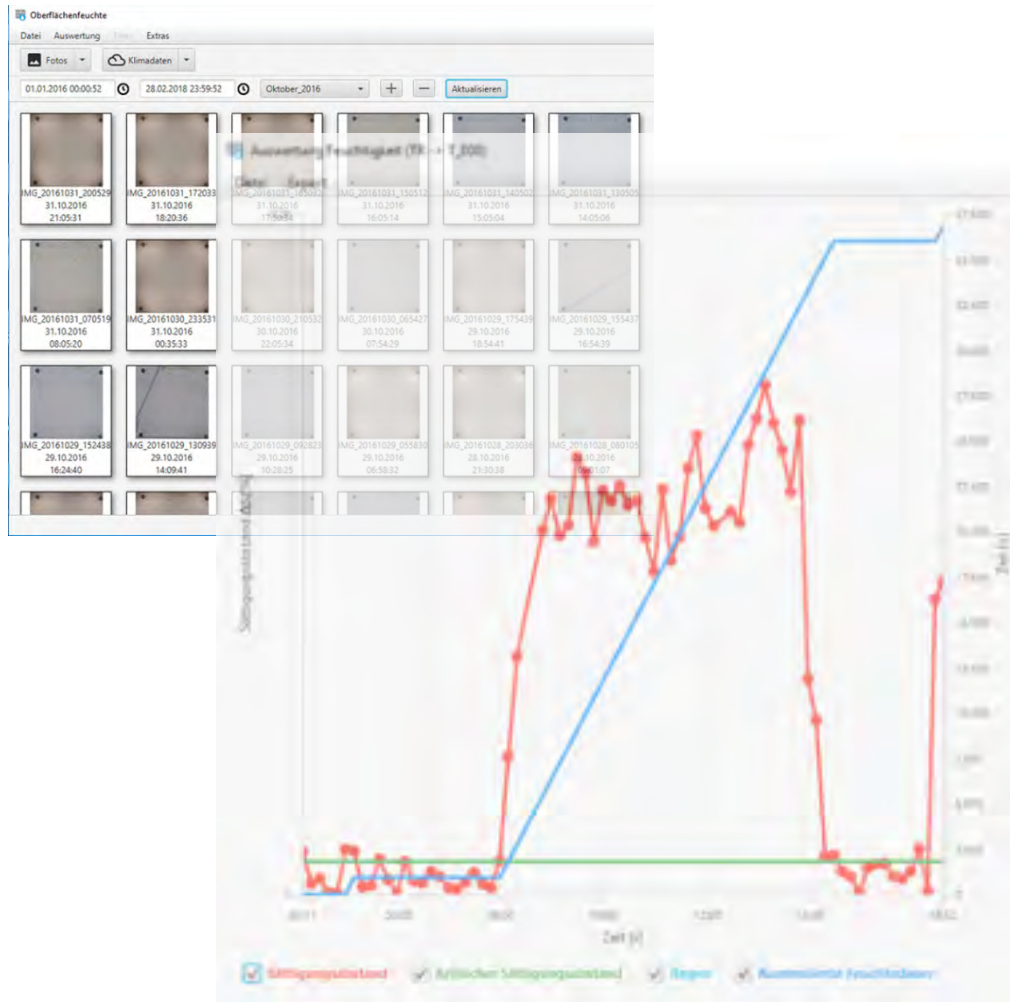
-  Messwert aus Feuchtedetektion
-  Rechenwert aus Simulation



Zeitversatz ca. 15 Min.

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MESSSYSTEM ZUR BESTIMMUNG DER ZEITRÄUME MIT NASSER OBERFLÄCHE- softwaregestützte Auswertung



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

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 4 – Feuchteereignisse am Freiflächenversuch

- Bekannte Konstruktion und Materialparameter
- Definiertes für alle Seiten identisches Innenklima



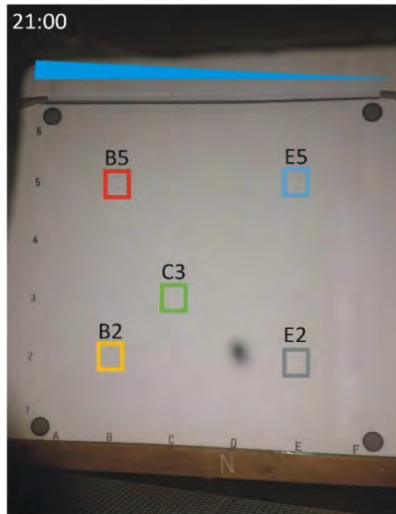
Wandfläche teilweise feucht -
Messfelder verfärbt

Wandfläche trocken - Messfelder
nicht verfärbt

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 4 – Feuchteereignisse am Freiflächenversuch – Betauung der Versuchsfläche (Nordseite)



Wandoberfläche im trockenen Zustand



Beginn Tauwasserbildung siehe Felder E2, E5



Betaute Wand nach Sonnenaufgang, sichtbar an rot verfarbten Feuchtedetektoren



Ende Tauwasserereignis. Wandoberfläche trocken und Feuchtedetektoren wieder weiß

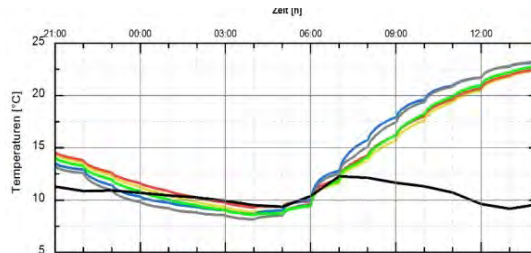
System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

Stufe 4 – Feuchteereignisse am Freiflächenversuch – Betaung der Versuchsfläche (Nordseite)

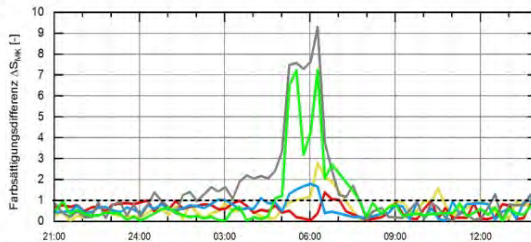
Temperaturverläufe berechnet

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



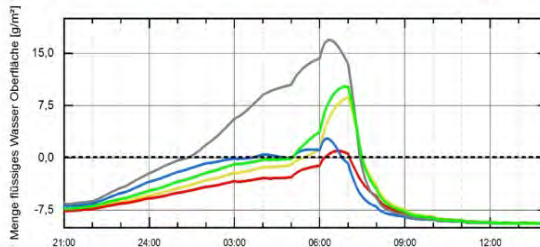
Oberflächenfeuchteverlauf Messwerte Feuchtedetektion

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



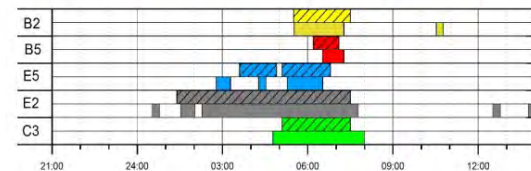
Oberflächenfeuchteverlauf Rechenwerte

- 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



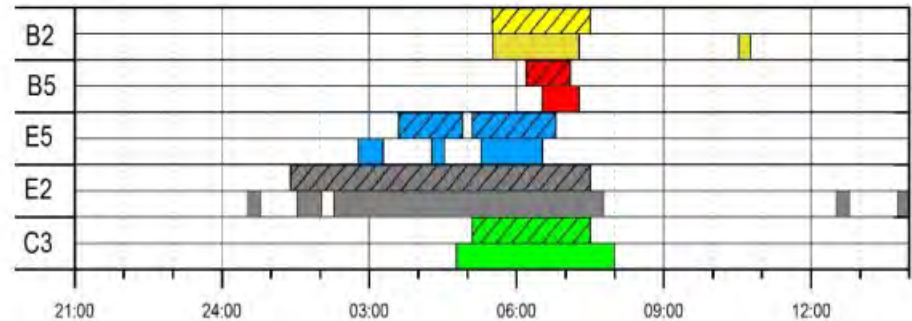
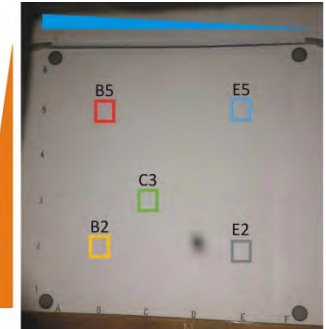
Vergleich Zeiträume mit nasser Oberfläche

- Nasse Oberfläche
Messwert Feuchtedetektor
- Nasse Oberfläche
Rechenwert



Vergleich Zeiträume mit nasser Oberfläche

- Nasse Oberfläche
Messwert Feuchtedetektor
- Nasse Oberfläche
Rechenwert



Fazit: Rechenwerte und Messwerte mit guter Übereinstimmung

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

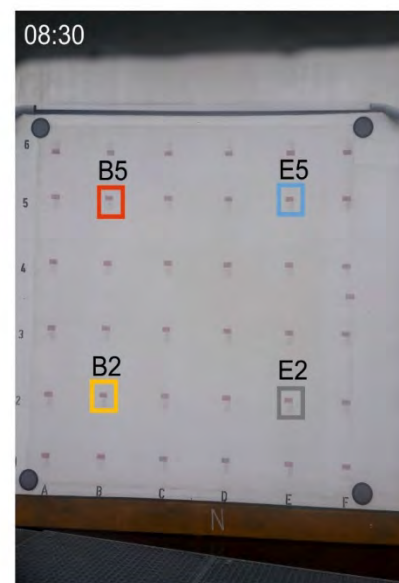
Stufe 4 – Feuchteereignisse am Freiflächenversuch – Beregnung der Versuchsfläche (Nordseite)



Wandoberfläche im trockenen Zustand



Wandoberfläche nach 1. Regenereignis
komplett nass



Wandoberfläche nach 2. Regenereignis
komplett nass



Wandoberfläche teilweise abgetrocknet,
Feld B2 noch leicht verfärbt

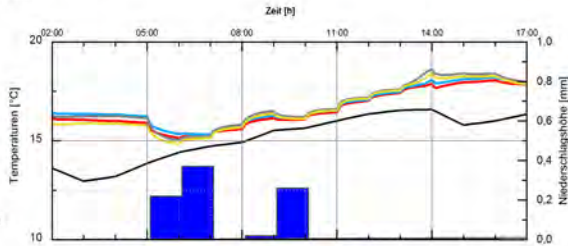
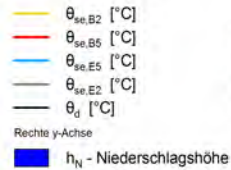
Entwicklung einer numerischen Simulationsumgebung

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

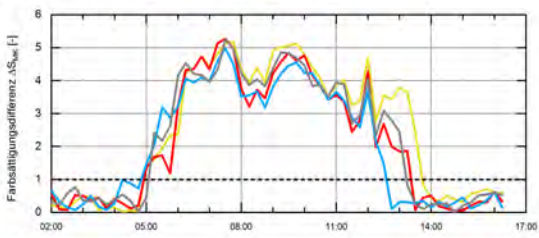
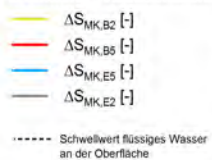
Stufe 4 – Feuchteereignisse am Freiflächenversuch – Beregnung der Versuchsfläche (Nordseite)

Regeneignis am 17.09.2016

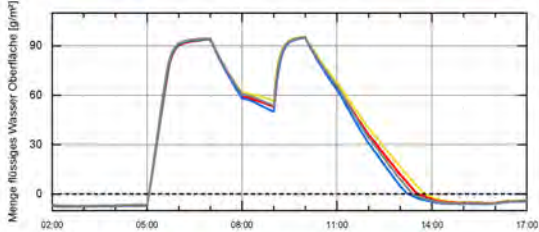
Temperaturverläufe/
Niederschlagshöhe



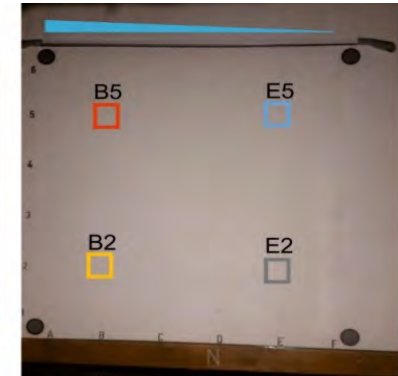
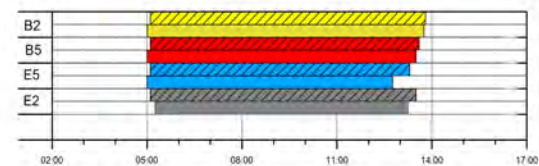
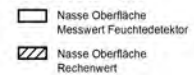
Oberflächenfeuchteverlauf
Messwerte Feuchtedetektor



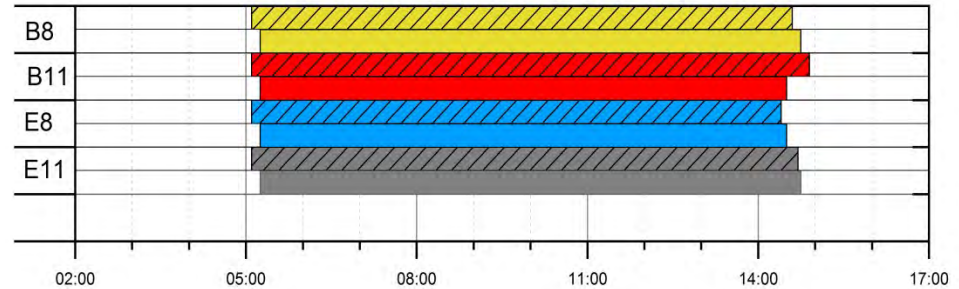
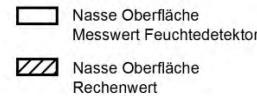
Oberflächenfeuchteverlauf
Rechenwerte



Vergleich Zeiträume mit
nasser Oberfläche



Vergleich Zeiträume mit
nasser Oberfläche



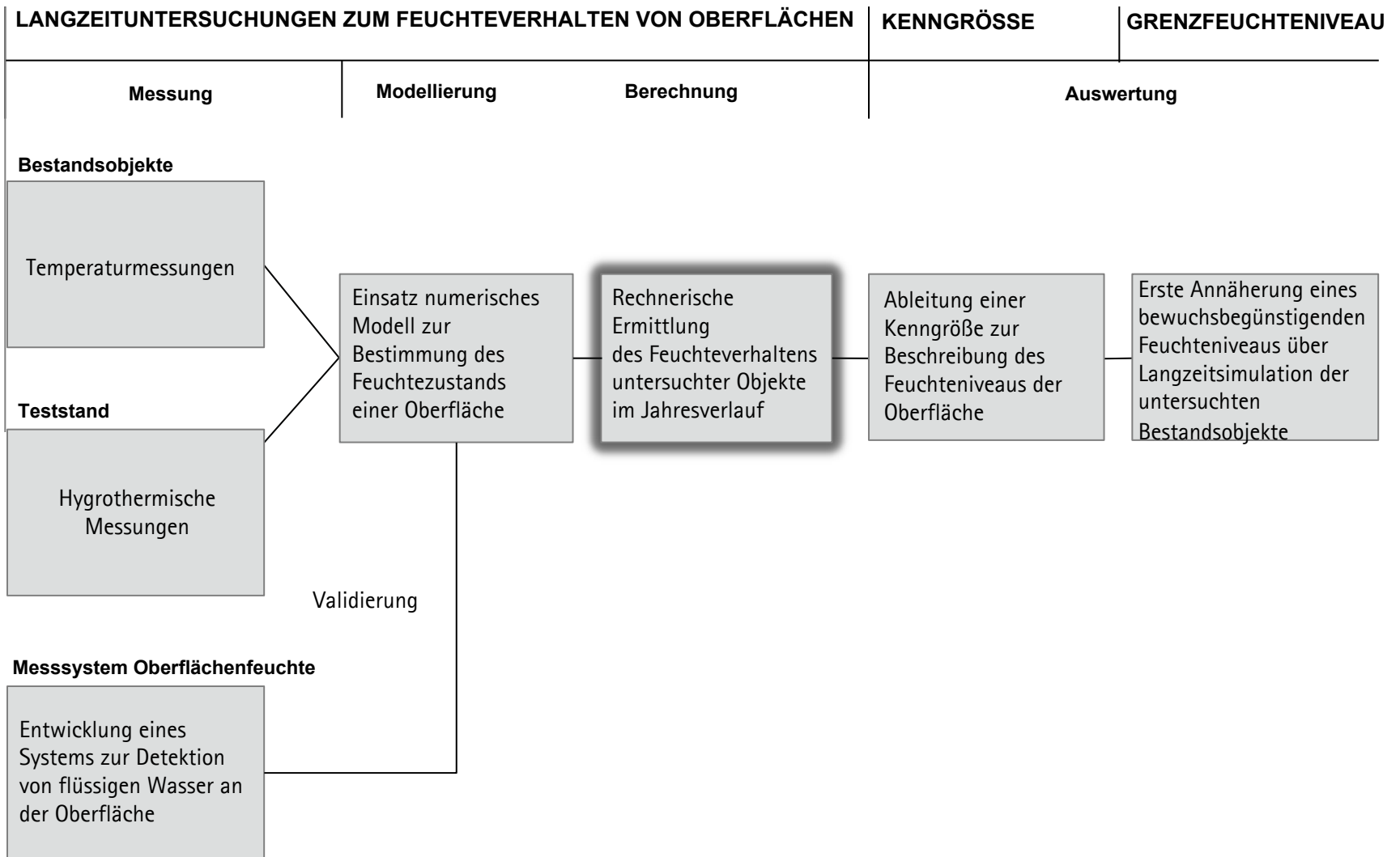
FAZIT: Rechenwerte und Messwerte mit guter Übereinstimmung

System zur Feuchtedetektion und Validierung des numerischen Modells

MEHRSTUFIGE ÜBERPRÜFUNG DES FEUCHTEDETEKTORS UND NUMERISCHEN MODELLS

- Anzeigegenauigkeit des Messsystems: Zeitversatz bis zu 15 Minuten
- Maximale Haftwassermenge: 100 g/m²
- Simulationsmodell im Labor und bei freier Bewitterung validiert

Vorgehen



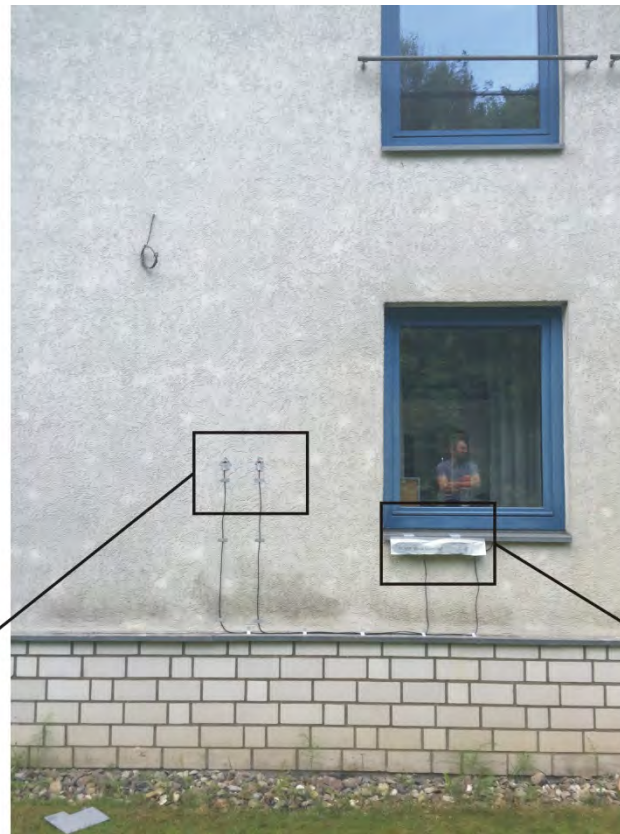
Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN

Messaufbau

Oberflächentemperaturmessung
an bewachsener Oberfläche -
ungestörte Wand

Oberflächentemperaturmessung
an bewuchsfreier
Oberfläche -
Dübelbereich



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

Datenlogger zur Aufnahme der
Oberflächentemperaturen,
Außenlufttemperatur und relativen
Feuchte der Außenluft



Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN

Konstruktionsaufbau des WDVS im Bereich des Dübels

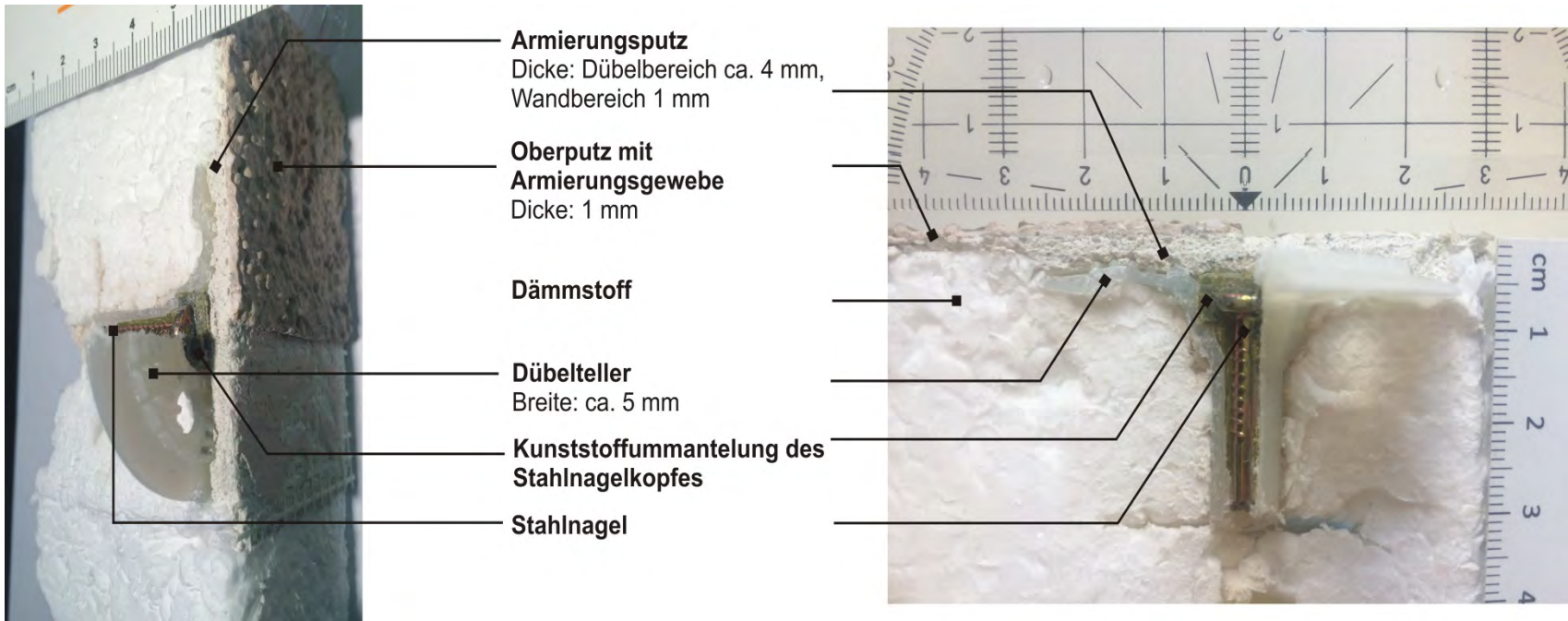


Stahlnagel mit
Kunststoffummantelung

Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN

Konstruktionsaufbau des WDVS im Bereich des Dübels



Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

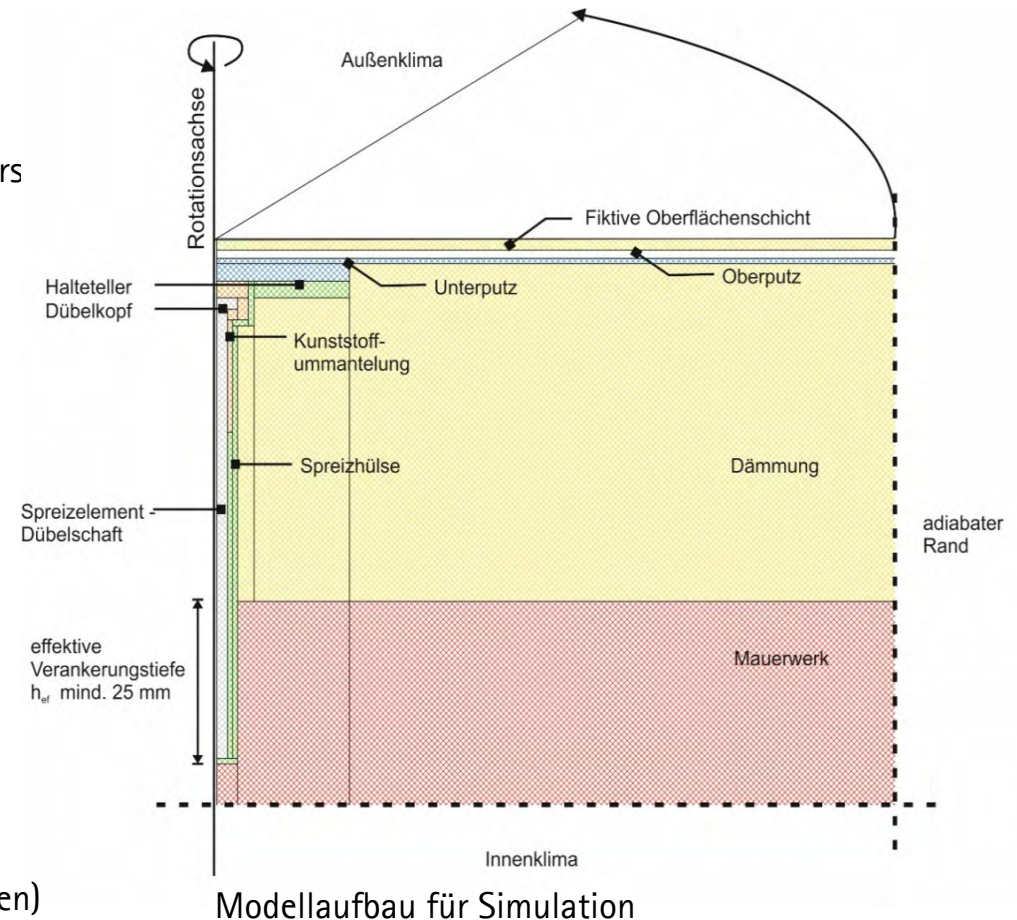
LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN

Aufbau des Simulationsmodells

- Abbildung des 3D-Effekts durch den Dübel
- über Rotation eines zweidimensionalen Körpers



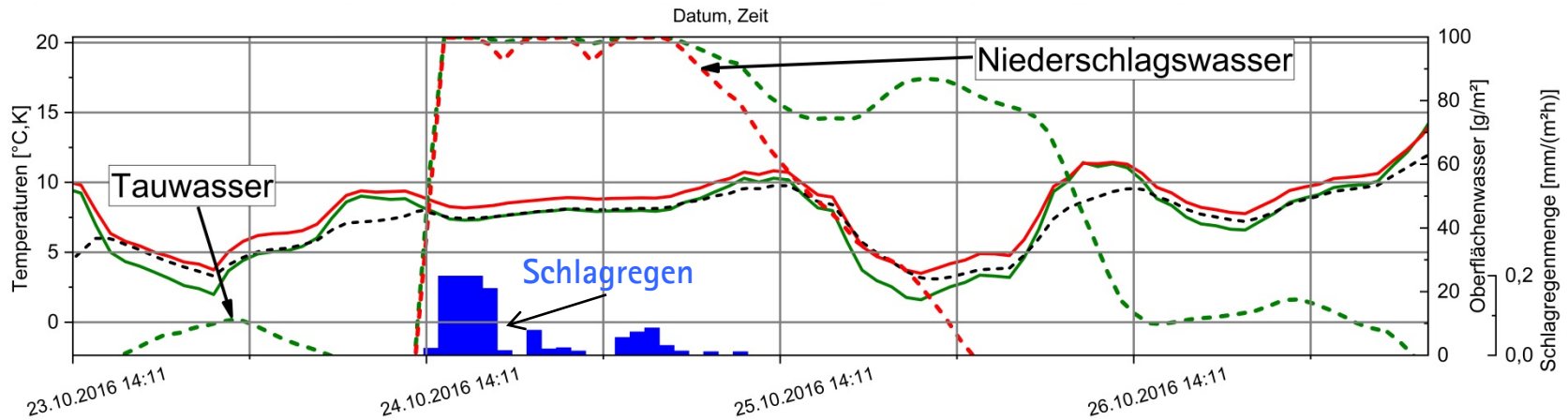
Realer Aufbau am Dübel (Dübelteller aufgeschnitten)



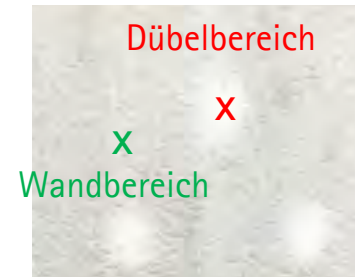
Modellaufbau für Simulation

Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Berechnungsergebnisse (hier Nordwand)

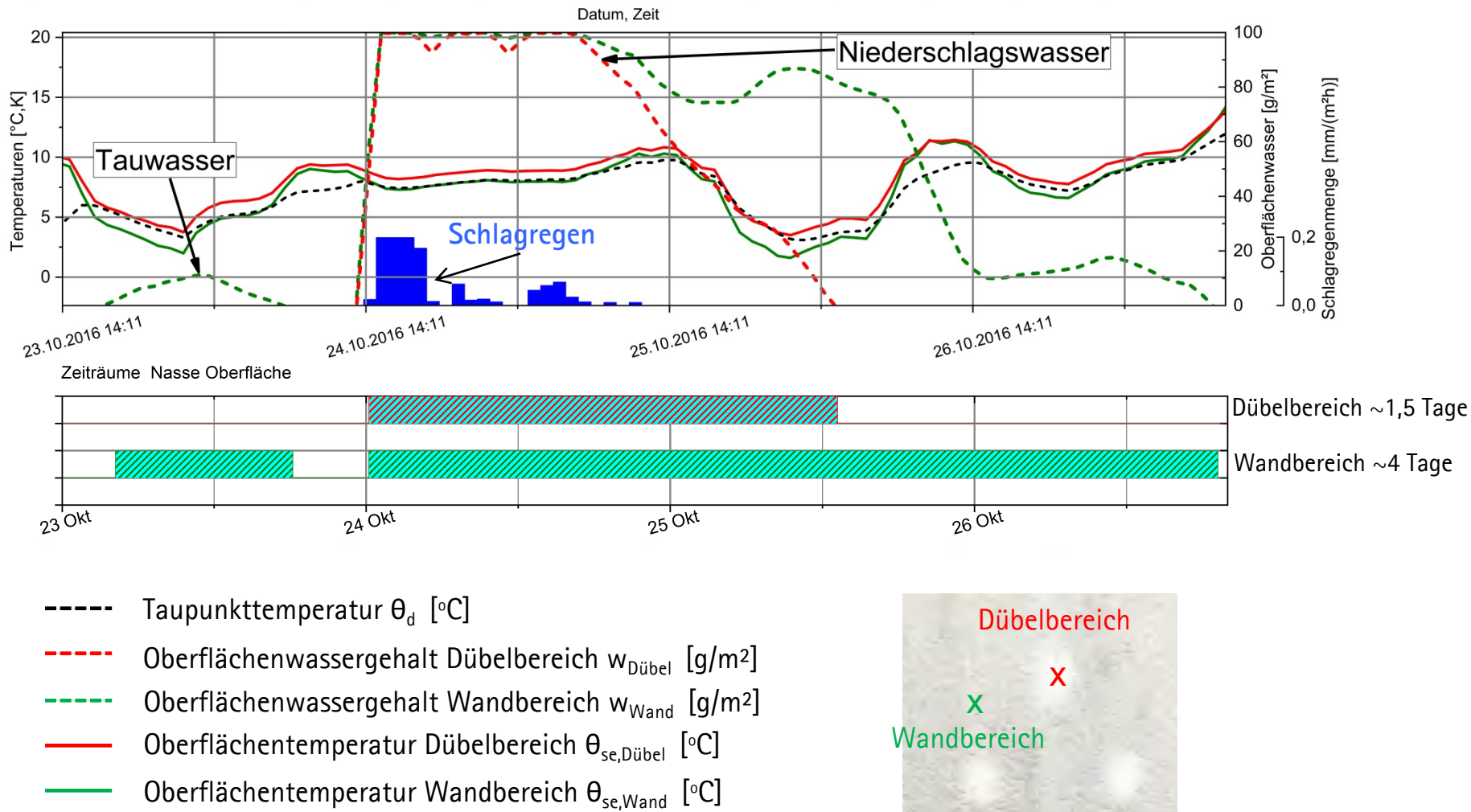


- Taupunkttemperatur θ_d [°C]
- - - - - Oberflächenwassergehalt Dübelbereich $w_{\text{Dübel}}$ [g/m²]
- - - - - Oberflächenwassergehalt Wandbereich w_{Wand} [g/m²]
- Oberflächentemperatur Dübelbereich $\theta_{\text{se,Dübel}}$ [°C]
- Oberflächentemperatur Wandbereich $\theta_{\text{se,Wand}}$ [°C]

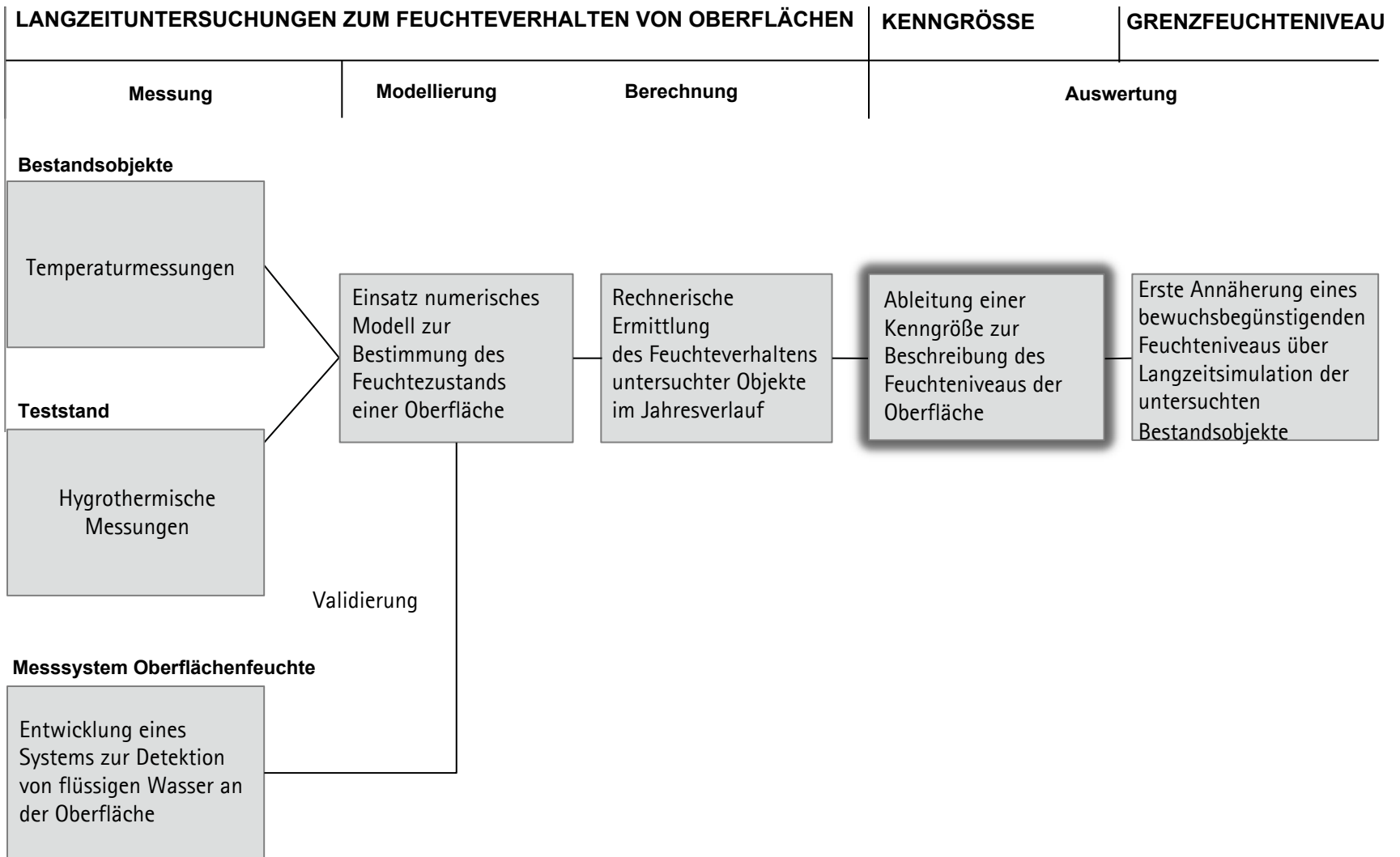


Langzeituntersuchungen zum Feuchteverhalten von Oberflächen

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN - Berechnungsergebnisse

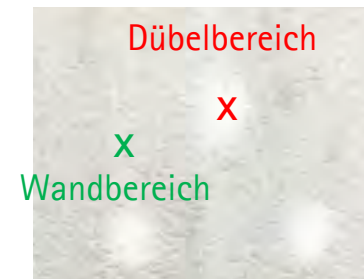
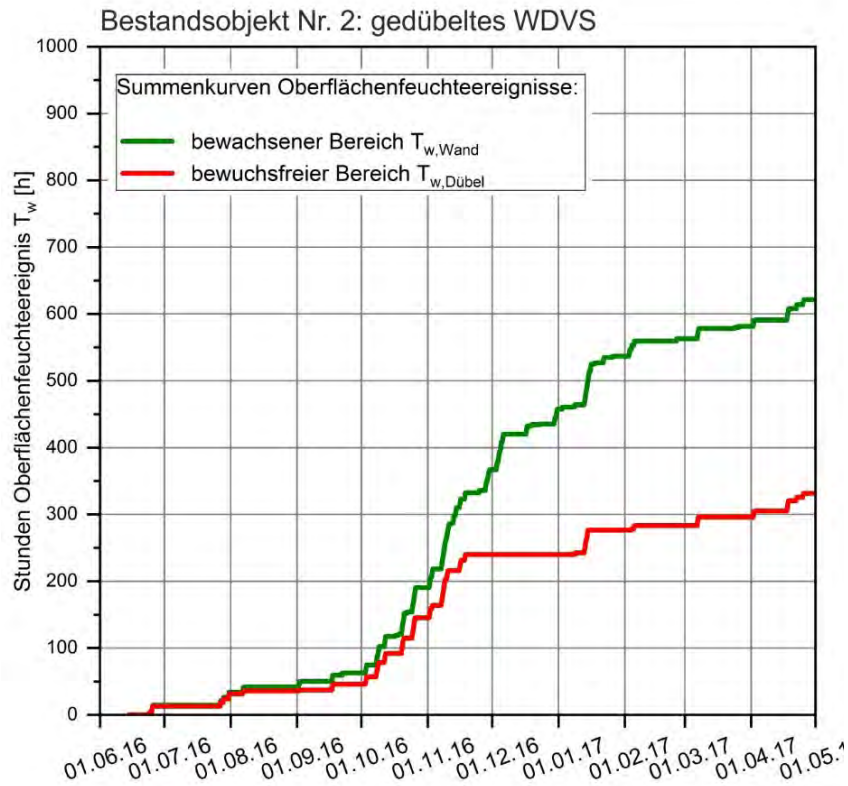


Vorgehen



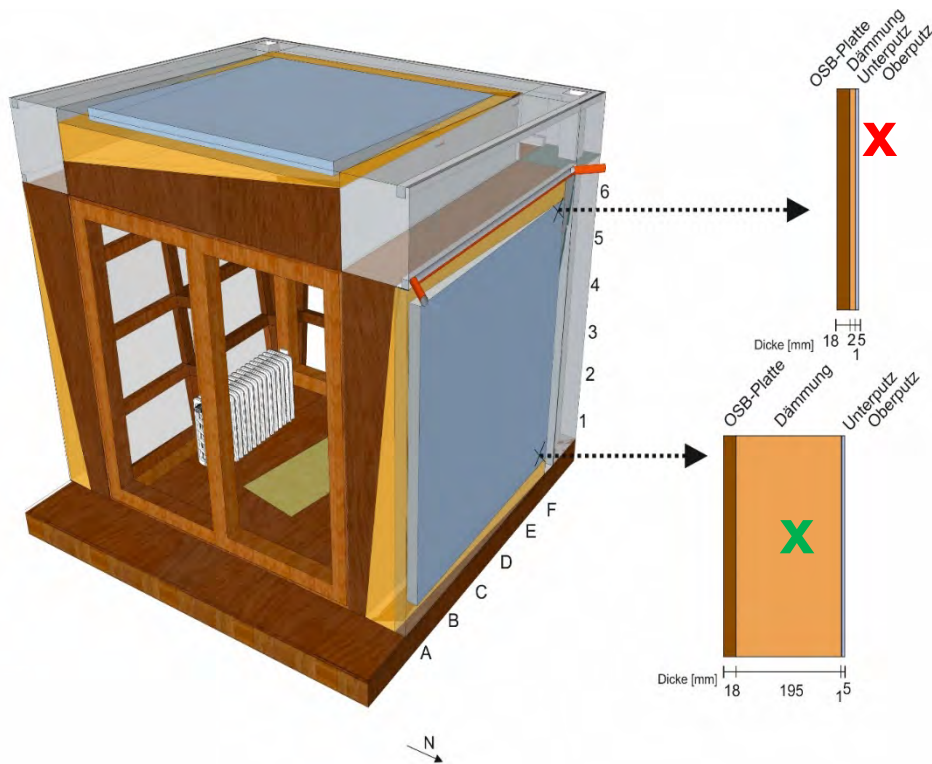
Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Auswertung der Berechnungsergebnisse

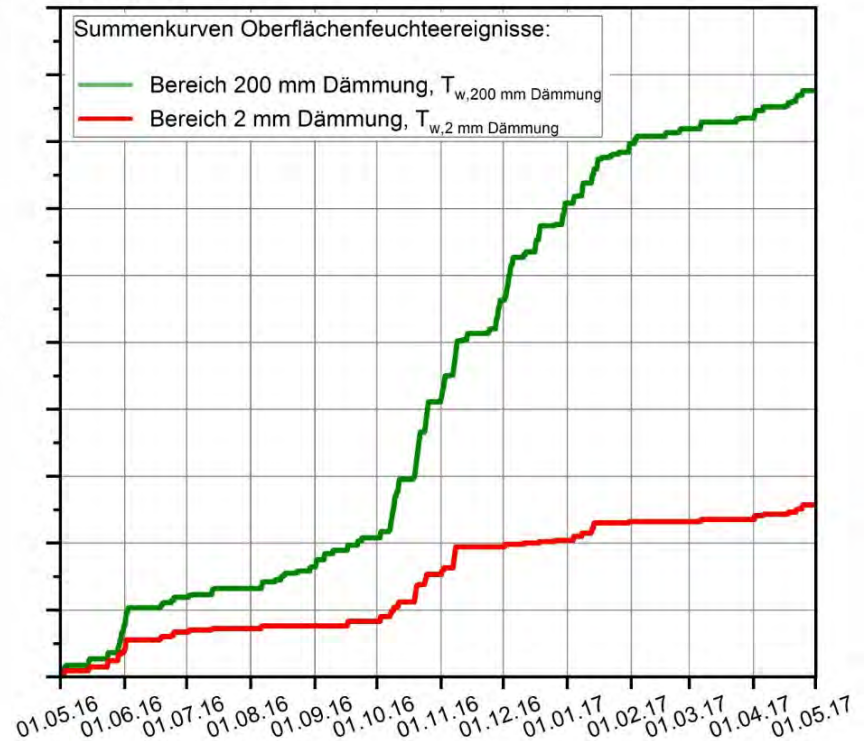


Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Auswertung der Berechnungsergebnisse

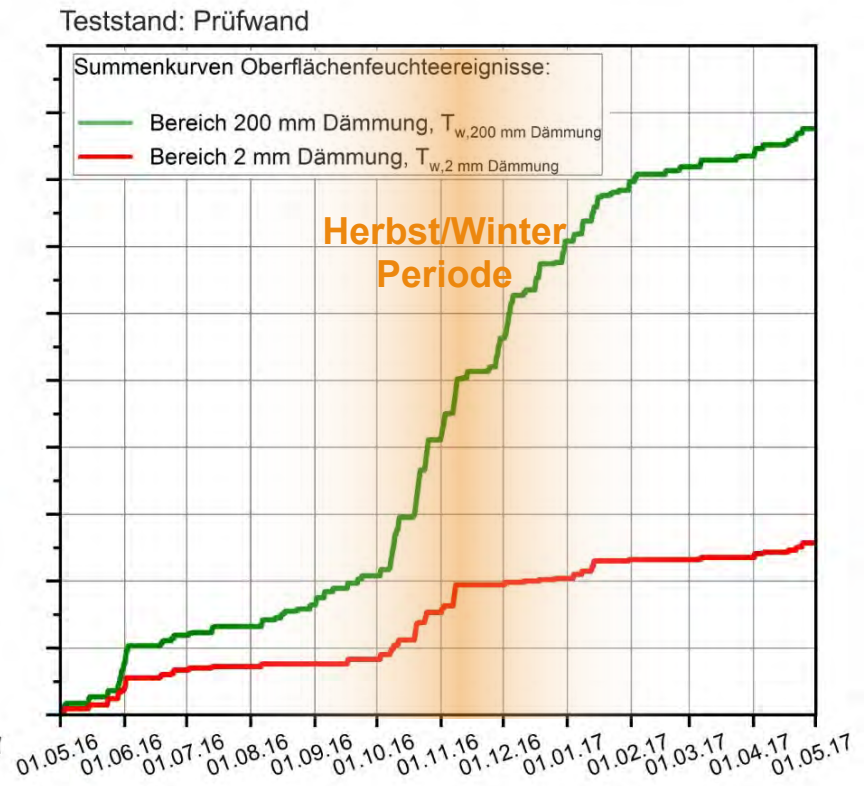
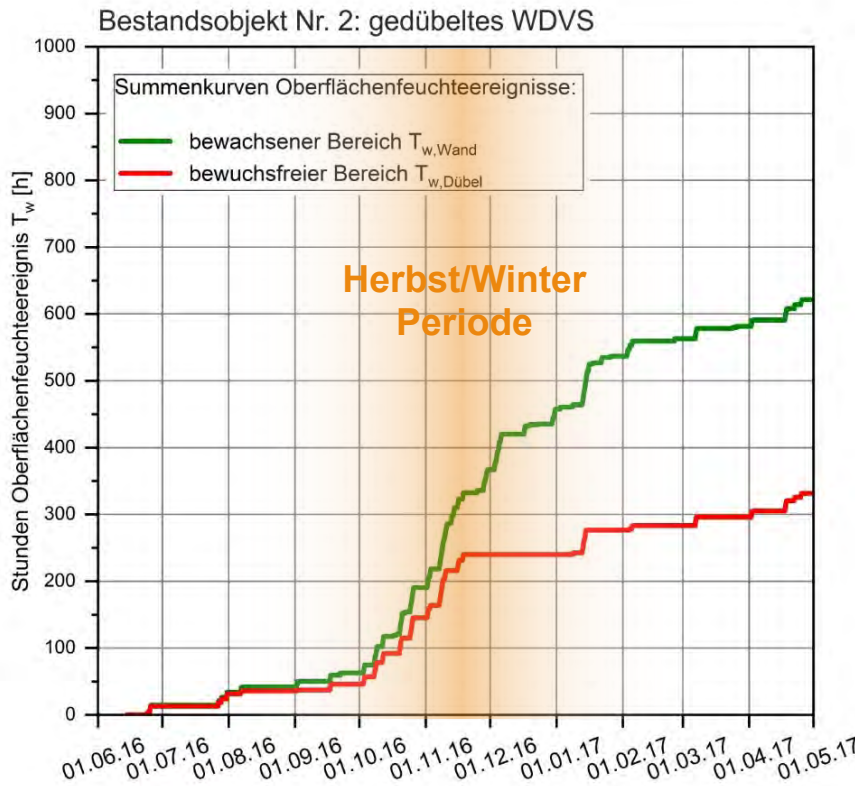


Teststand: Prüfwand



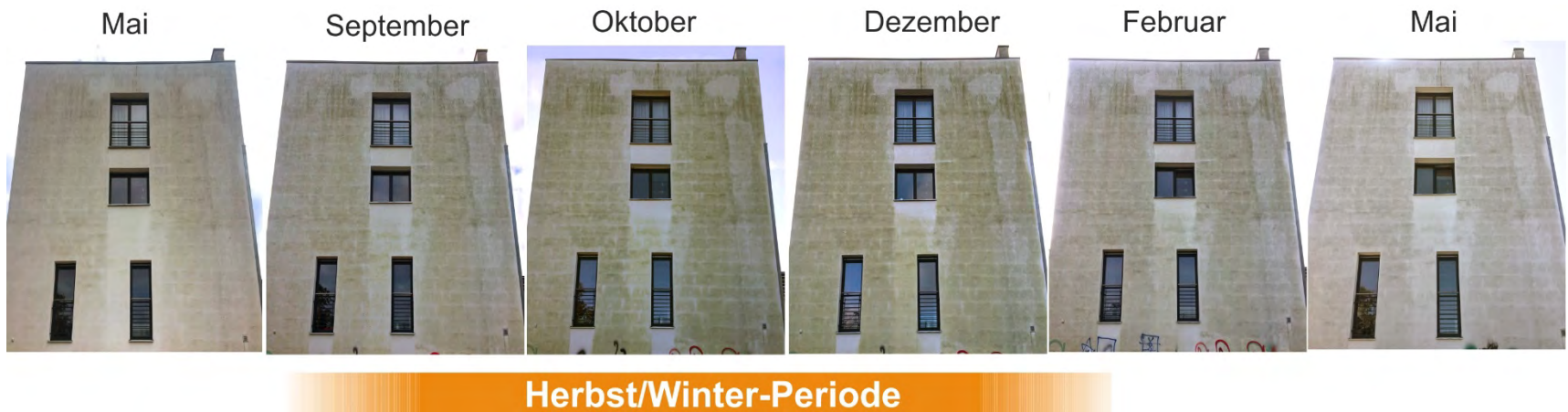
Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Auswertung der Berechnungsergebnisse



Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN - Auswertung der Berechnungsergebnisse



- Hauptwachstumsphase Ende Herbst bis Ende Winter sichtbar an intensiver Grünfärbung

Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN - Auswertung der Berechnungsergebnisse

Sommer



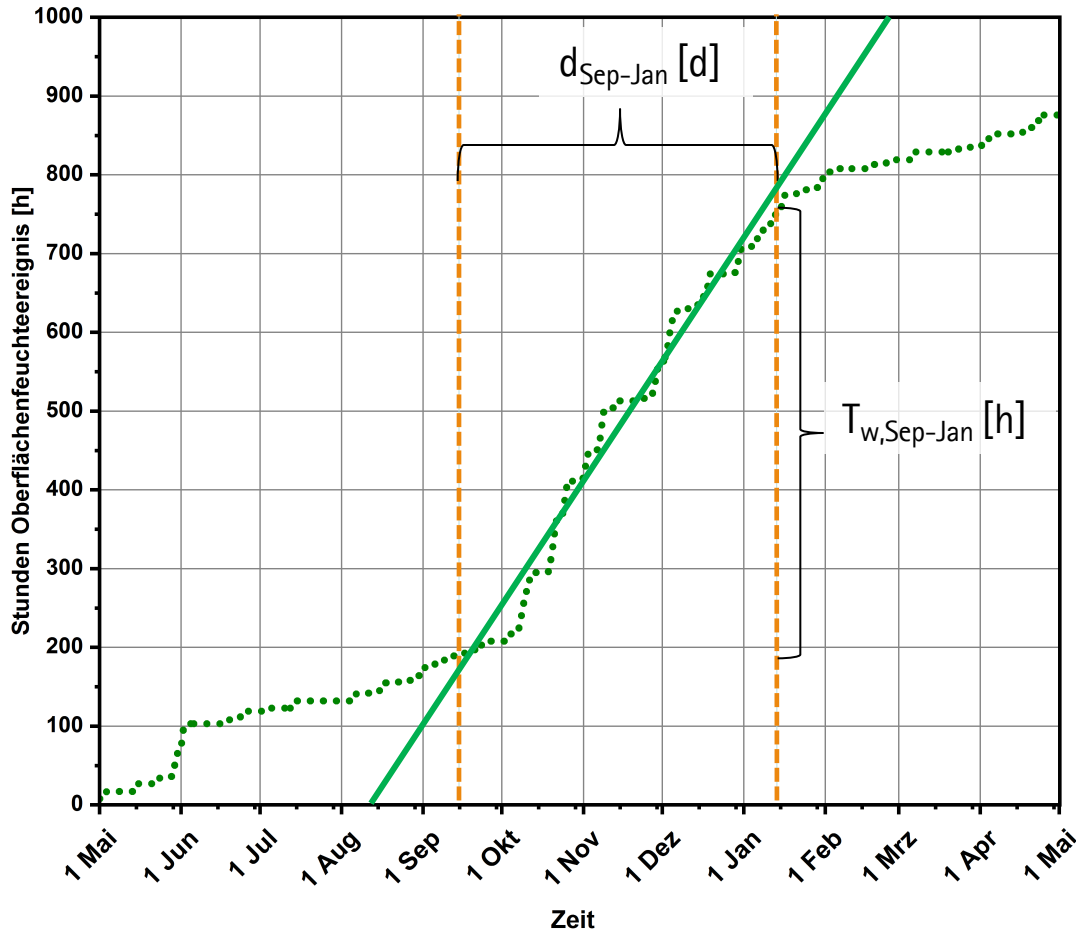
Winter



- Intensive Grünfärbung auch an anderen Freiflächen in der Herbst-/Winterperiode erkennbar

Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Methode zur Bestimmung einer Kenngröße



Summenkurve

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

— Regressionsgerade $f_{T_w}(x)$

Regressionsanalyse in der Zeit von
September bis Januar

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

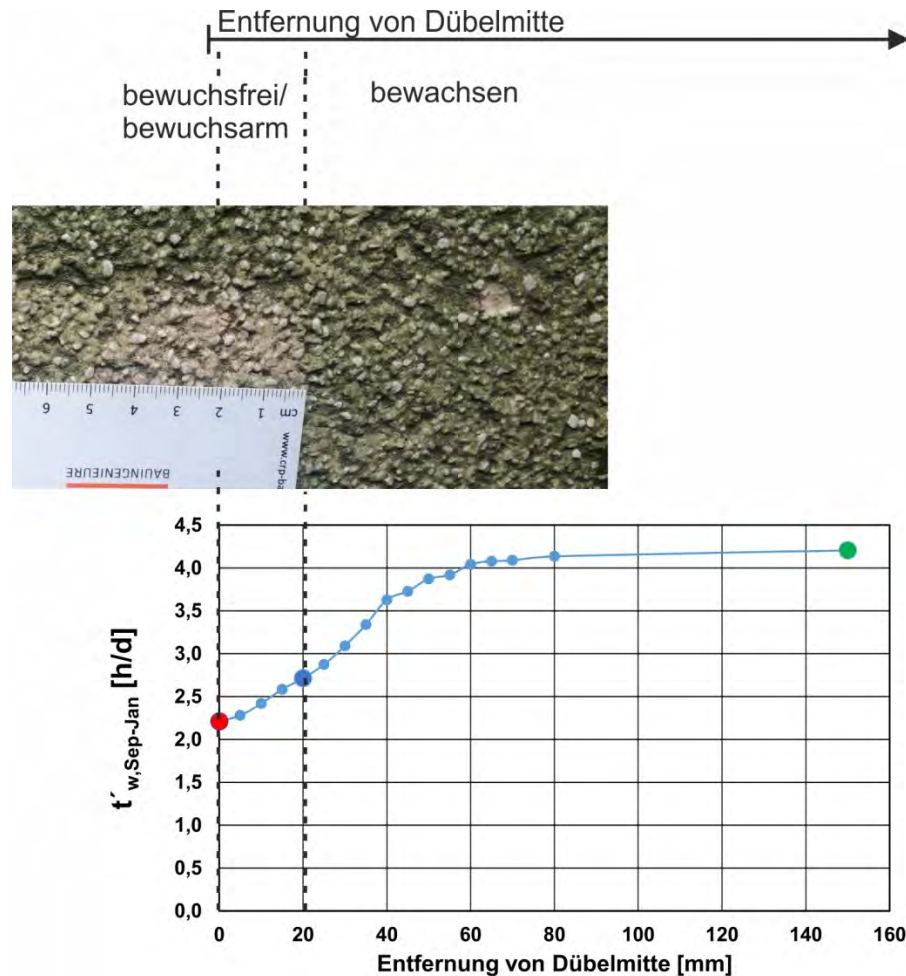
Mit neuer Kenngröße zur
Beschreibung der Feuchte-
beanspruchung einer Oberfläche:

Oberflächenfeuchteintensität

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

Ableitung einer Kenngröße

LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN BESTANDSOBJEKTEN – Anwendung der neuen Kenngröße



BEOBACHTUNG:

- Mit zunehmender Entfernung von der Dübelmitte nimmt der Bewuchs zu
 - $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ steigt mit zunehmender Entfernung von der Dübelmitte
- Korrelation zwischen Bewuchsbild und Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ erkennbar

Entwicklung einer Bewertungsmethode

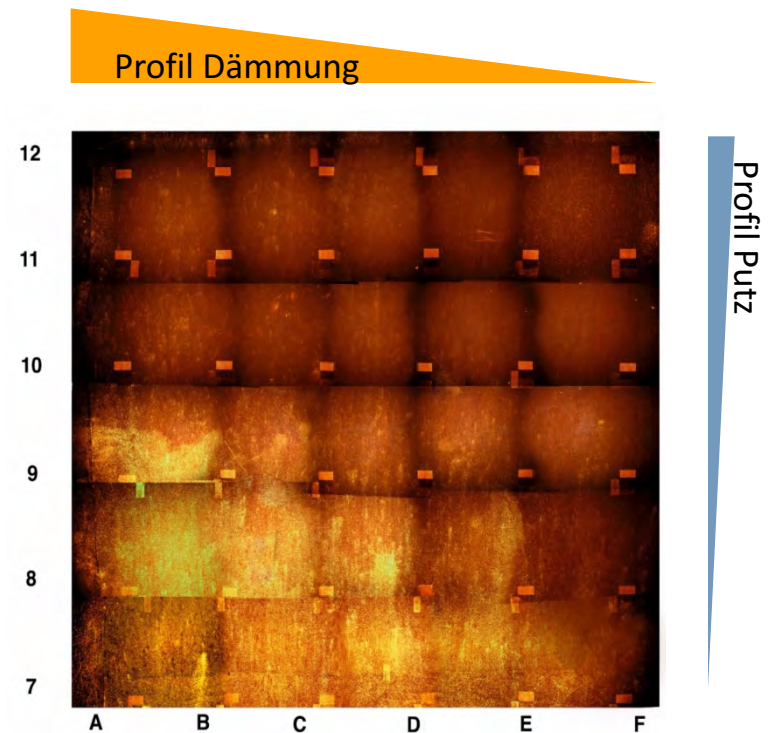
LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN EINEM TESTSTAND – Anwendung der neuen Kenngröße auf Teststand

- Anfangsbewuchs und Verlauf einer Bewuchsgrenze seit Herbst 2016 über Fluoreszenzaufnahmen auf der horizontalen Kopfplatte des Teststands sichtbar
- Visuell sichtbare Bewuchsgrenze und Bewuchstendenz seit Oktober 2017 aufgetreten

Klarbild

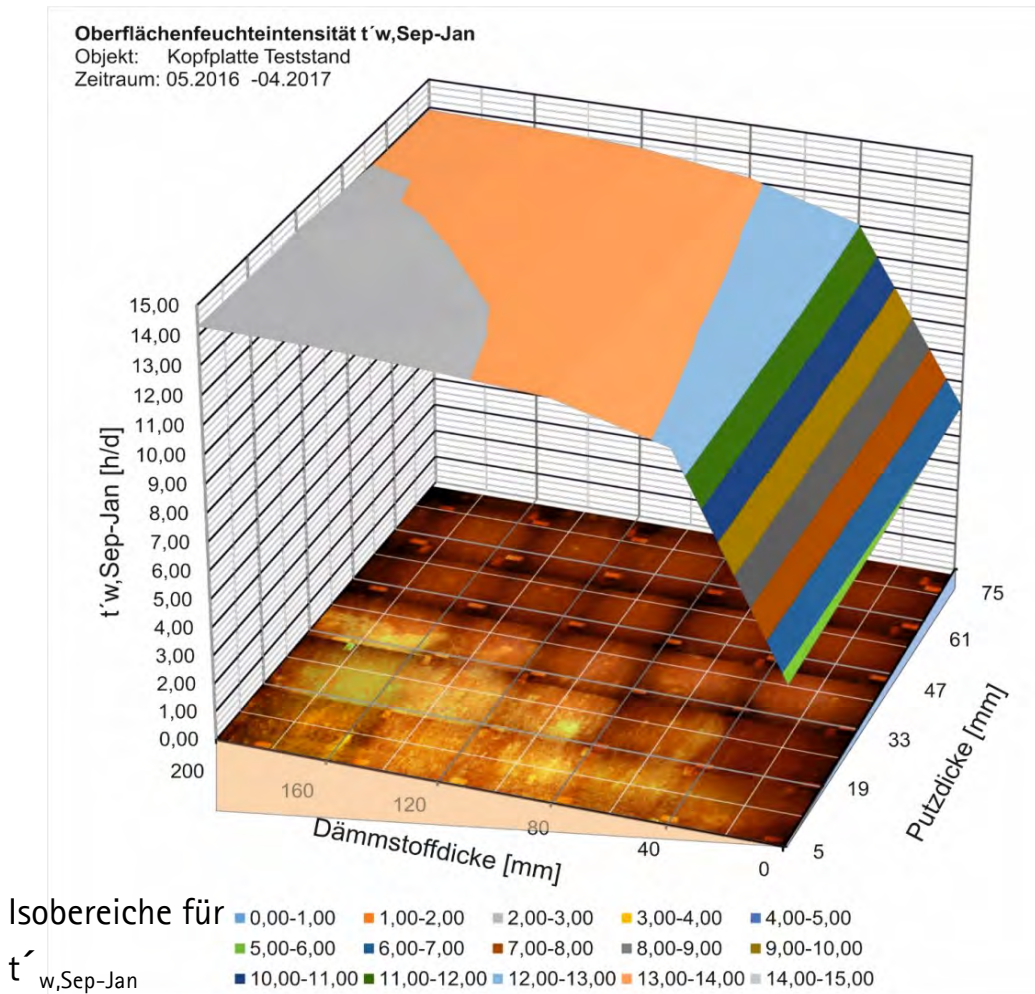


Fluoreszenzbild



Entwicklung einer Bewertungsmethode

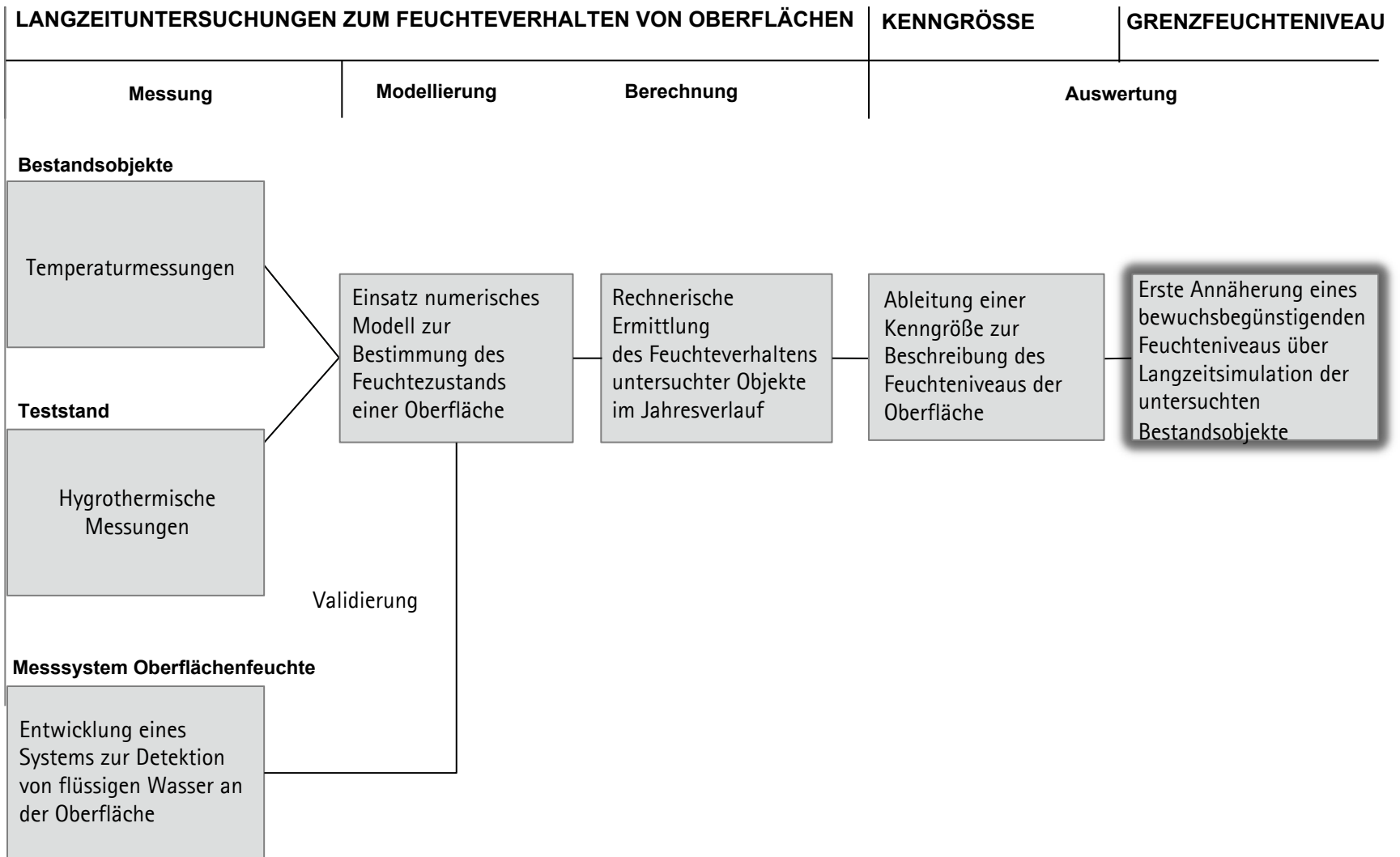
LANGZEITMESSUNGEN UND SIMULATION AN EINEM TESTSTAND – Anwendung der neuen Kenngröße auf Teststand



Fazit:

- Korrelation zwischen Bewuchsbild und Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$ über Testfläche erkennbar
- Anwendbarkeit der neuen Kenngröße bestätigt

Vorgehen

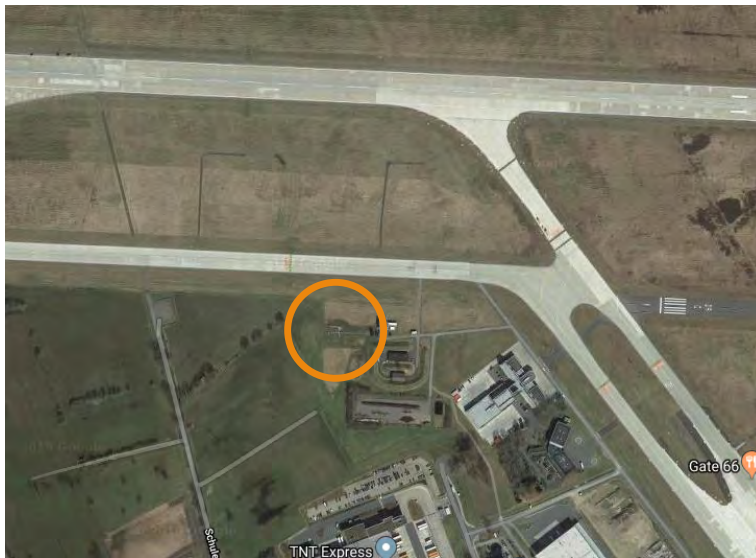


Erste Annäherung eines Grenzfeuchteniveaus

BESTIMMUNG EINER KRITISCHEN OBERFLÄCHENFEUCHTEINTEINISTÄT ÜBER LANGZEITSIMULATION - Berechnungsansätze

- Simulation aller Untersuchungsobjekte über 8 Jahre (2010 bis 2018) und zusätzlich mit den für den jeweiligen Klimastandort gültigen hygrothermischen Referenzjahren
- Bezug der Klimadaten über nahegelegene Wetterstationen des Deutschen Wetterdiensts
- Lokalklimatische Anpassungen notwendig zur Berücksichtigung des Mikroklimas am tatsächlichen Gebäudestandort

Lage Wetterstation DWD, Langenhagen Flughafen



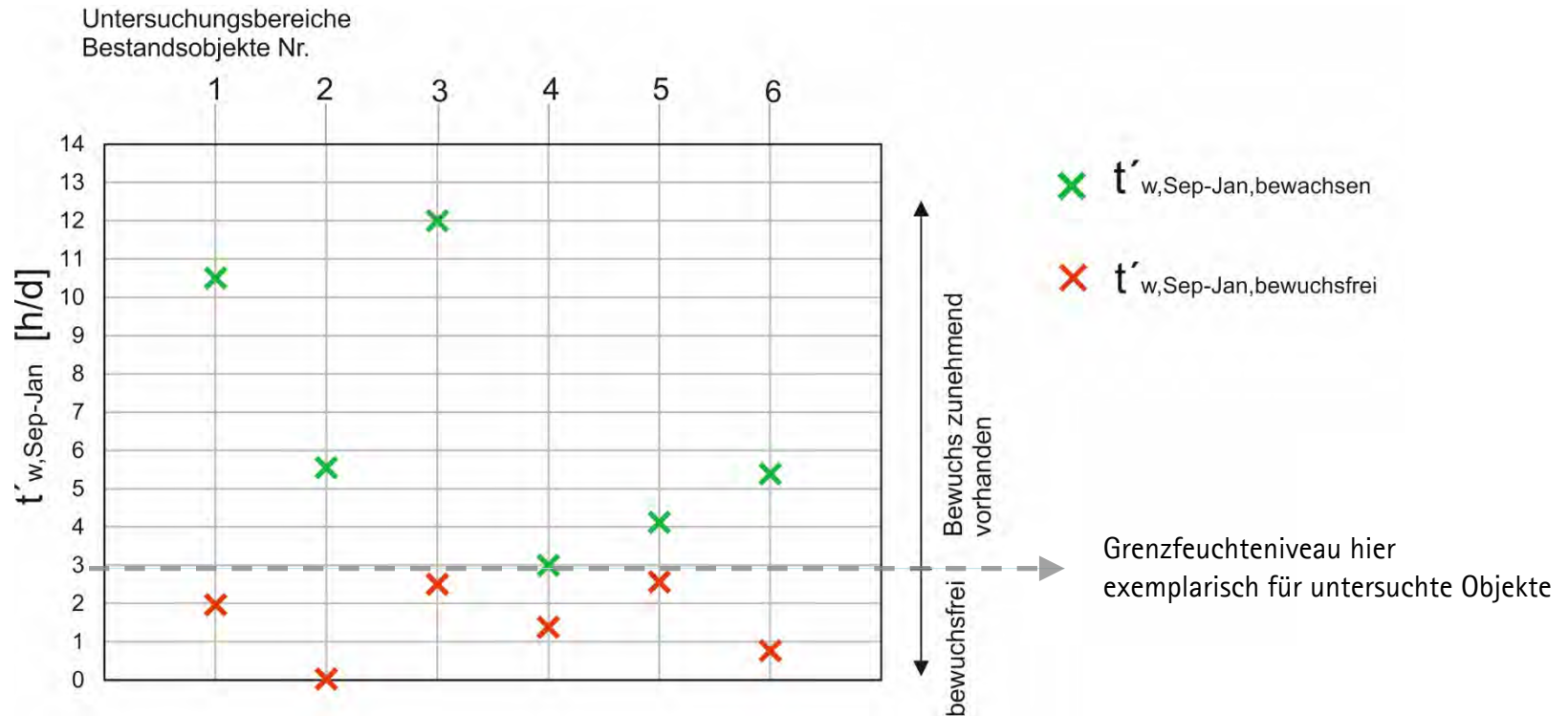
Lage Untersuchungsobjekt, Garbsen



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

Erste Annäherung eines Grenzfeuchteniveaus

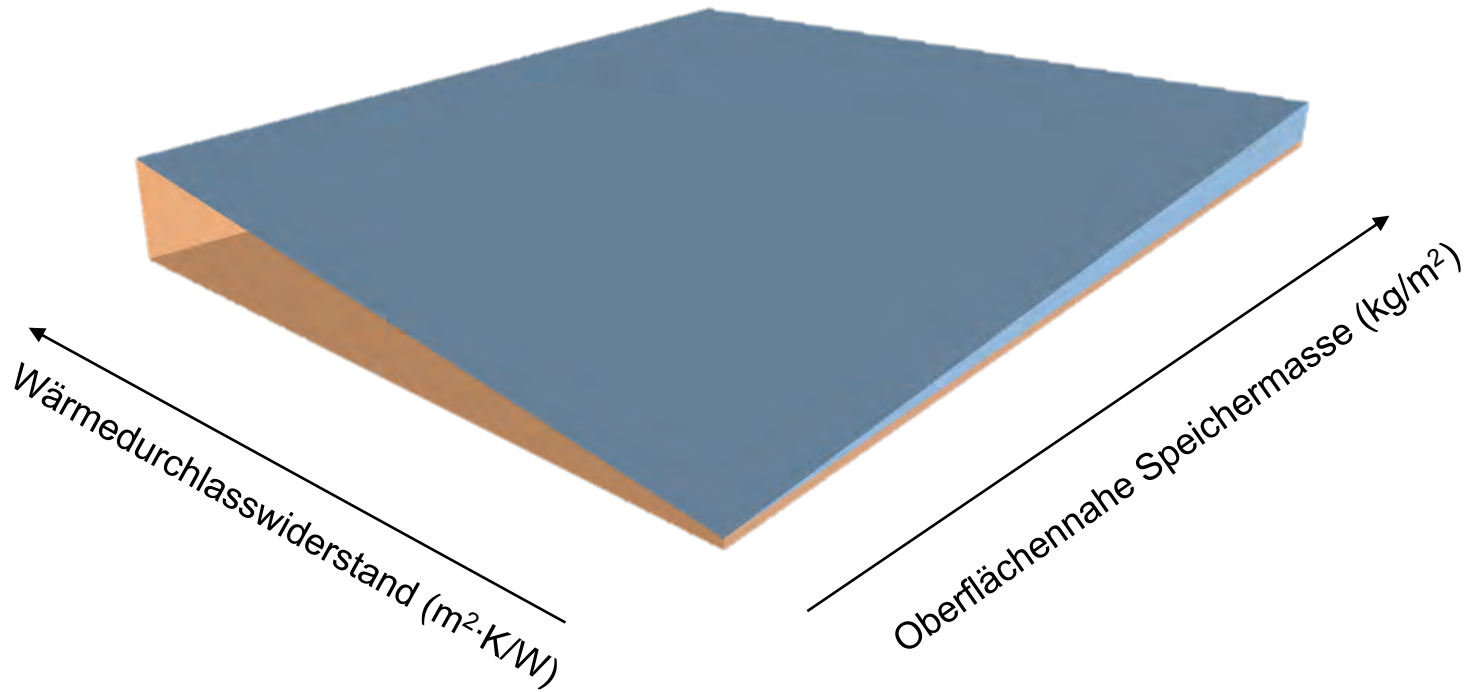
BESTIMMUNG EINER KRITISCHEN OBERFLÄCHENFEUCHTEINTENSITÄT ÜBER LANGZEITSIMULATION -
Berechnungsergebnisse



- Tendenzielle Ableitbarkeit eines Grenzfeuchteniveaus anhand der Kenngröße Oberflächenfeuchteintensität
- Für einen allgemeingültig anwendbaren Grenzwert ist ein größerer Untersuchungsumfang unter Anwendung der vorgeschlagenen Methodik notwendig

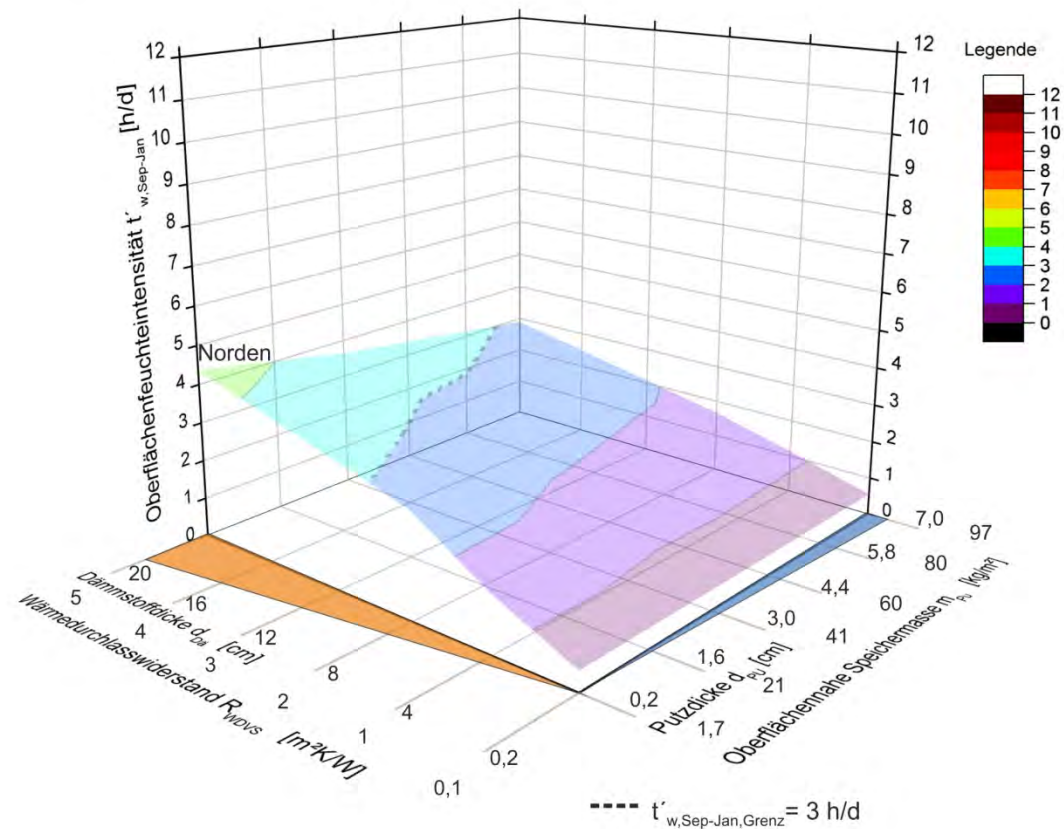
Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER – Variation Wandaufbau



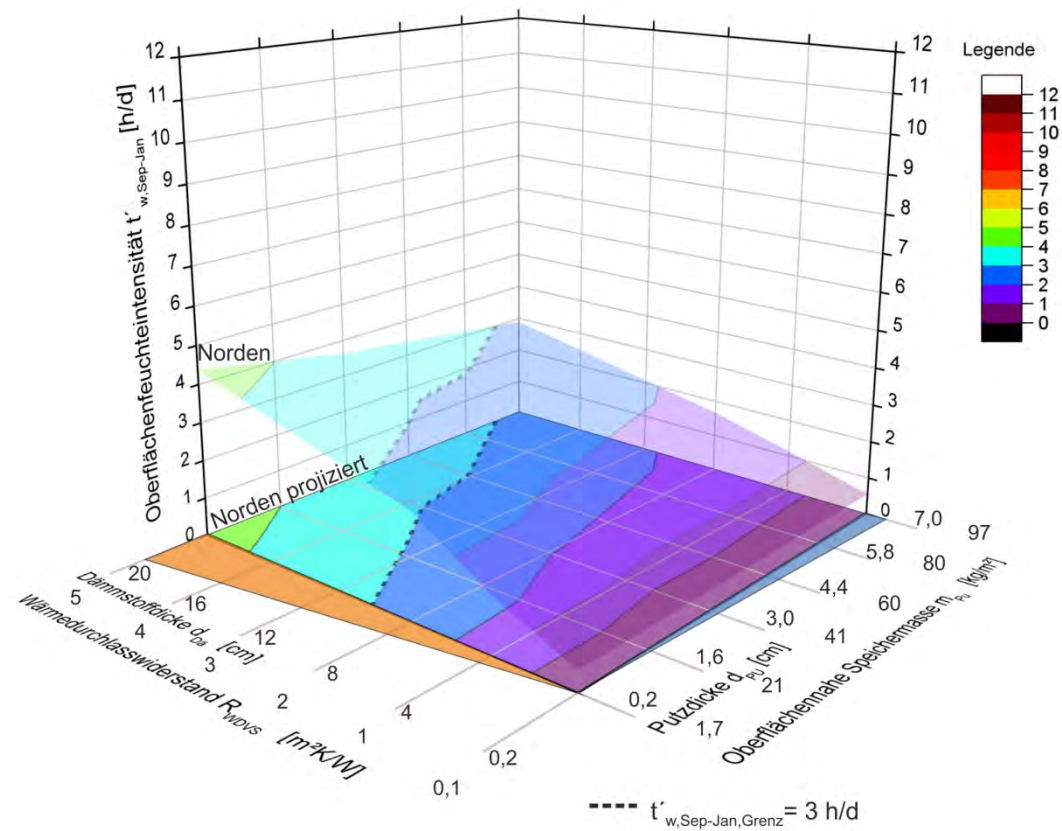
Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



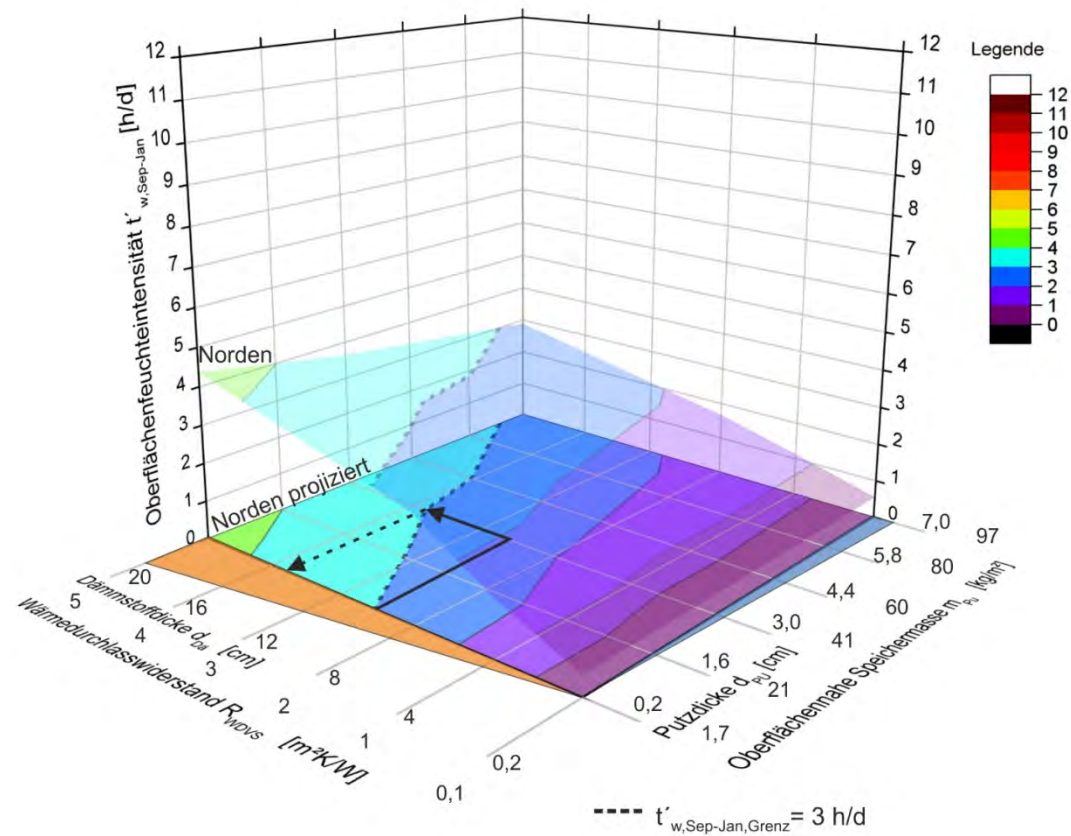
Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER SIND IN DER PROMOTIONSSCHRIFT DOKUMENTIERT

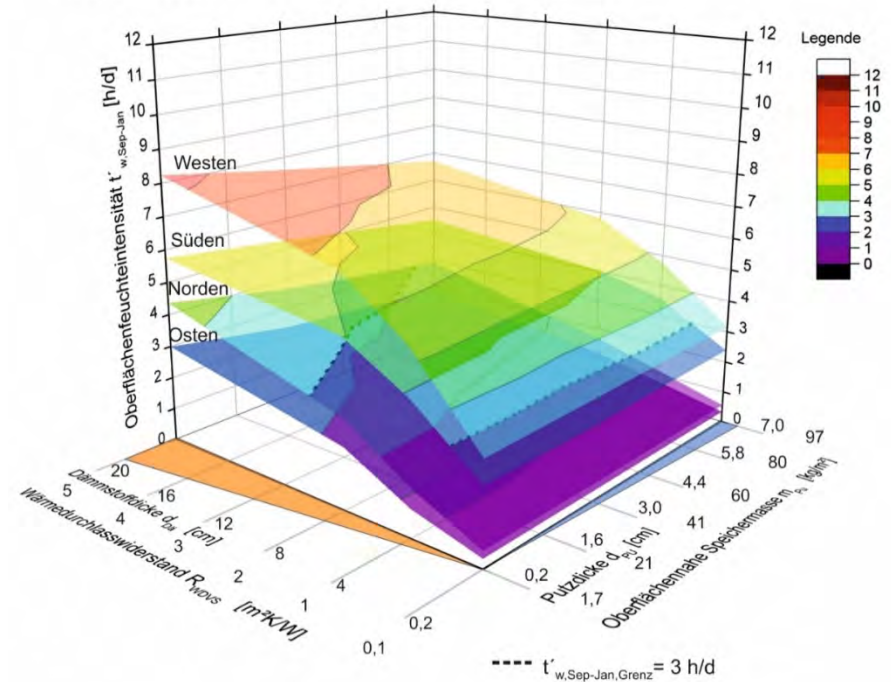
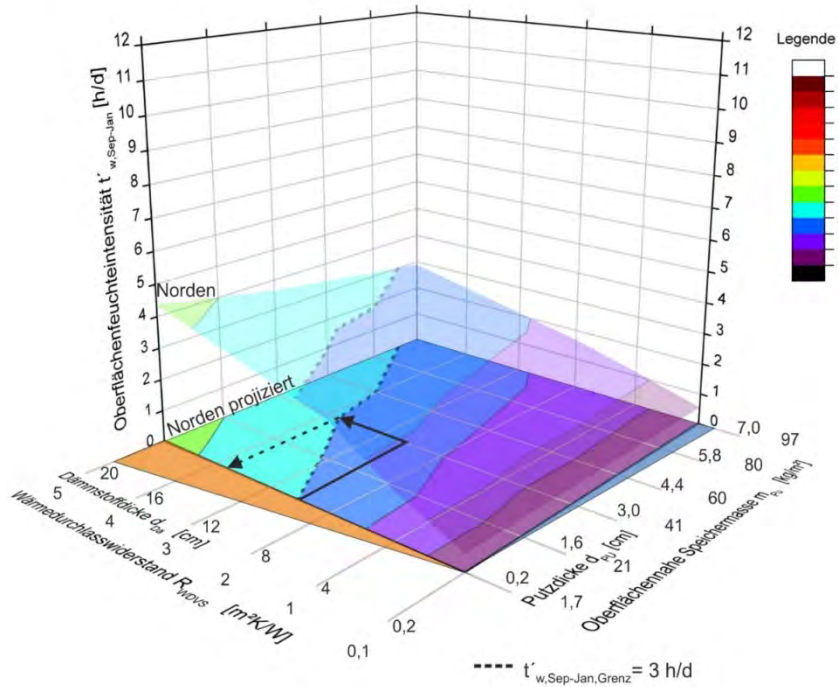
Beispiel Dimensionierung Wandaufbau:

Aufbau A: $d_{\text{da}}=10$ cm; $d_{\text{ni}}=0,2$ cm
 Aufbau B: $d_{\text{da}}=15$ (14) cm; $d_{\text{ni}}=3$ cm

Verbesserung des R-Werts von ca. 2,5 auf 3,8 $\text{m}^2\text{K/W}$

Jahresmittelwert rel.-F.= 79 %

Auftreffende Schlagregensumme pro Jahr rbv:
 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

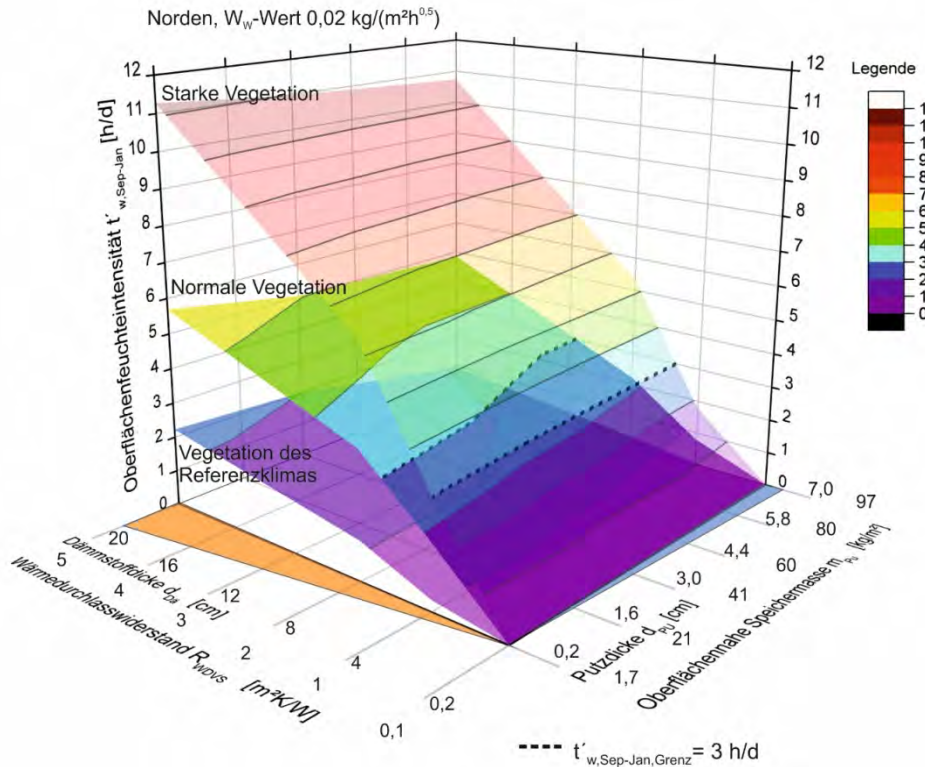
UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER – Feuchteniveauänderung durch Vegetation

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



Variationsrechnungen und Ableitung von Empfehlungen

UNTERSUCHUNG VERSCHIEDENER EINFLUSSPARAMETER – Feuchteniveaüänderung durch 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 %

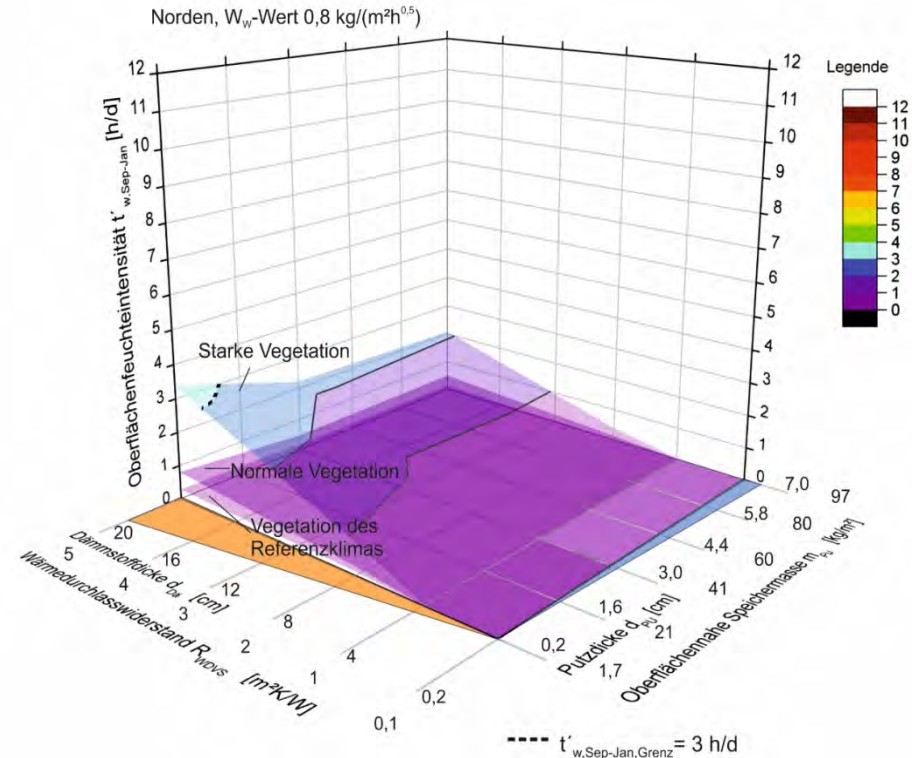
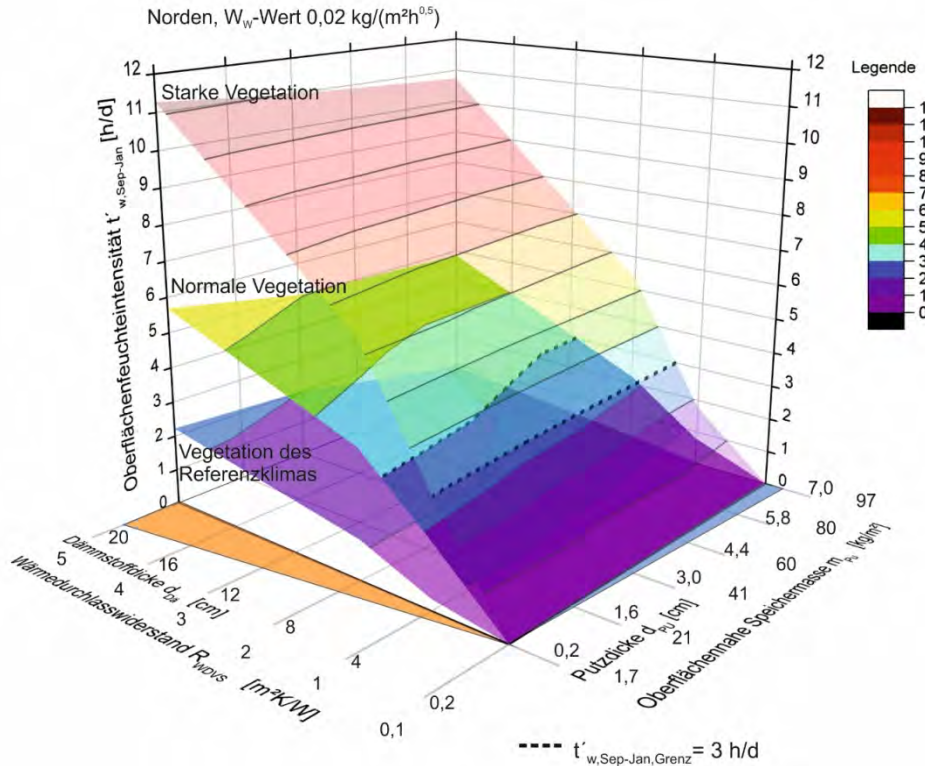
**Kein Regen,
Hydrophobes Putzsystem**

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**



Zusammenfassung und Ausblick

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

- Alternativen zum Einsatz von Bioziden zur Vermeidung von mikrobiellem Bewuchs müssen gefunden werden
- Ein Berechnungsmodell zur Bestimmung von Oberflächenwasser wurde erstellt und validiert
- Eine Kenngröße zur Beurteilung, ab dem mit einem mikrobiellem Bewuchs zu rechnen ist, wurde aus phänomenologischen Untersuchungen abgeleitet (Oberflächenfeuchteintensität $t'_{w, \text{Sep-Jan}}$)
- In erster Näherung wurde ein vorläufiger Grenzwert aus der Analyse von bewachsenen und unbewachsenen Außenwandbereichen mit gleichen Randbedingungen wurde abgeleitet
- Variationsrechnungen von wesentlichen Einflussparametern wurden durchgeführt und deren Auswirkungen mit Hilfe von Einflussebenen ablesbar aufbereitet

AUSBLICK

- Zur Bestätigung des vorläufigen Grenzwerts sollten weitere phänomenologische Langzeitstudien an Beispielobjekten durchgeführt werden (breitere Streuung Materialparameter und Klimazonen)
- Erarbeitung einer Planungshilfe, die es ermöglicht, abhängig von mikroklimatischen Randbedingungen die Außenwandkonstruktion zu dimensionieren (orts aufgelöste Vorhersage des Mikroklimas)

**Vielen Dank für die Aufmerksamkeit
und den
WTA-Preis 2021**