



University of Pécs
Faculty of Engineering
and Information Technology
Marcel Breuer
Doctoral School



University of Pécs

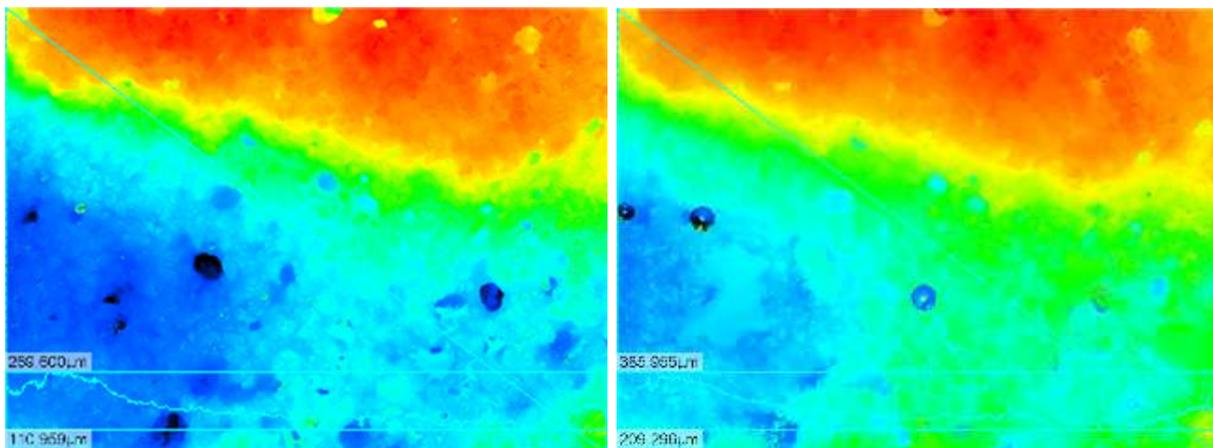
Breuer Marcell Doctoral School of Architecture
Faculty of Engineering and Information Technology

In Kooperation mit

Hochschule Wismar

University of Applied Science, Technology, Business and Design
Faculty of Engineering

„Neue Wege zum Nachweis des Tauwasserverhaltens von mineralischen und organischen Putzoberflächen an Fassaden,“



PHD in Architectural Engineering

Torsten Steffgen M.Sc., B.A.

09. November 2018

Zusammenfassung

In den letzten Jahren wurde bei Neubau sowie Sanierung der Bestandsgebäude immer mehr der Fokus auf die energetischen Optimierungen gelegt. Gleichzeitig wurden mehr und mehr Kunststoffe bei der Wärmedämmung zur Reduzierung des Energieverlustes eingesetzt. Die Wärmedämmung der Gebäude ist ein wichtiger Bestandteil zur Reduzierung schädlicher Treibhausgase. Das United Nation Environment Programm hat festgestellt, dass Gebäude etwa 40% der weltweiten Energie verbrauchen. Viele Wissenschaftler haben sich mit Forschungen über neue Gebäudestandards sowie zukunftsweisende Dämmstoffe beschäftigt.

Es ist zu beobachten, dass bei vielen Bauvorhaben sowohl im Neubau als auch bei der Sanierung im Bestand immer mehr Kunststoffe zur Fassadengestaltung eingesetzt worden sind. Dies betrifft sowohl die Dämmstoffe, die Putze als auch die Farbbeschichtungen.

In wissenschaftlichen Studien wurde festgestellt, dass das Algenwachstum maßgeblich von der Tauwassermenge abhängt.

Die Tau- oder Kondenswasserresistenz wurde bis dato nicht normiert. Ebenfalls wurde festgestellt, dass die Feuchtebedingungen entscheidend vom Wasserrückhaltevermögen bzw. Feuchtespeichervermögen der Fassadenoberflächenschicht abhängt.

Einige Produkthersteller neigen dazu die Tauwasserresistenz mit chemischen Maßnahmen zu bekämpfen. Sie stellen gezielt Ihre Produkte mit Bioziden ein, welche ein Algen-, Pilz- und Flechtenwachstum verhindern sollen. Wissenschaftliche Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass die Biozide im Laufe von Jahren aus der Fassade ausgewaschen werden und ins das Grundwasser oder Oberflächengewässer gelangen. Die Wirkweise der Biozide in der Fassade läßt nach.

Bislang gab es nur statische Messverfahren um die tatsächliche Tauwassermenge direkt an der Oberfläche zu ermitteln. Vielmehr soll nun eine standardisierte Prüfung mit verschiedenen Untersuchungsparametern dazu führen, eine bessere Aussage zum physikalischen Tauwasserverhalten einer Fassade zu erhalten.



Die Unterschiede lassen sich bei diversen Systemen und Werkstoffen hervorheben. Die Entwicklung einer modellhaften Darstellung zur zukünftigen Planung von Fassaden wäre somit für den Neubau und den Bestand möglich. Dieses Modell kann zur Herleitung neuer Kenngrößen im Fassadenschutz herangezogen werden.

Eine nachhaltige bauphysikalische Schutzmaßnahme zum Oberflächenschutz sind immer vor umweltbelastenden Maßnahmen, wie der Einsatz von Bioziden, zu bevorzugen.

Abstract

In recent years, both in new constructions as well as in renovation of building stock, more and more plastics have been used in façades, for example for thermal insulation to reduce energy loss. Thermal insulation of buildings is becoming increasingly important for the architect and energy designer in reducing greenhouse gas emissions.

The United Nations Environment Programme found that buildings consume about 40% of global energy. Many scientists who research on new building energy design are in favor of passive houses to reduce carbon dioxide emissions.

The trend is towards an increased use of synthetic material for the insulation as well as for renders and paint coatings. Scientists have analyzed the complex range of problems of algae growth relating to the condensate load on façade. Further scientific research discovered that the condensation time is more than 10 times higher than the rainwater time.

This investigation allows the conclusion to be drawn that moisture films on the surface of the components are one of the main factors for the growth of algae. Today, scientists use static measurement methods to determine the actual amount of condensation directly on the surface by means of a fleece and a spring balance. In my own experiments, I also detected differences in various climate and location-dependent factors. A standardized recording method might help to make measurements more comparable.

Some manufacturers try to prevent algae growth on render and paint with targeted biocides (encapsulated or non-encapsulated). Biocides are chemical or biological substances used in Germany and Switzerland specifically to protect coatings and renders against microbial degradation or algae growth. These agents do not remain

in the façade but can be washed out by rain and enter the groundwater and drinking water. The leaching of active substances contained in biocides from renders and paints have already been investigated and scientifically proven.

Biocides are only effective in the façade matrix and only in their aqueous phase, in which they reach the target organisms. These biocides are washed out of the render each time it rains or condensation occurs. They then enter the sewage system or groundwater.

The development of an exemplary representation for the future planning of moisture behavior of façades is a physical challenge. A model used to derive new and known parameters for condensation protection on a façade should improve condensation protection in the future.

Materials science studies can offer further information to expand the capacity of different cleaning properties. A sustainable ecological design can yield additional findings regarding surface protection without biocides.

Physical protection measures are to be preferred, because, unlike biocides, they have no immediate impact on the environment.



I. Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung	8
1.1. Probleme der Fassadengestaltung aus Putz	8
1.2. Begriffsbestimmung und Fassadenschutztheorie	17
1.3. Fragen und Zielsetzung zur Verbesserung des Tauwasserverhaltens	23
2. Derzeitiger Kenntnisstand	23
2.1. Entwicklung der Putze und Mörtel früher und heute	23
2.2. Planungsansätze für das Fassadendesign ohne Biozide und Gifte	35
3. Beschreibung des Versuchsablaufs	36
3.1. Die Probekörper	36
3.2. Die Fassadenoberputze	37
3.2.1. Mineralischer Oberputz M1	37
3.2.2. Mineralischer Oberputz M2	37
3.2.3. Mineralischer Oberputz M3	38
3.2.4. Mineralischer Oberputz M4	38
3.2.5. Mineralischer Oberputz M5	38
3.2.6. Mineralischer Oberputz M6	38
3.2.7. Organischer Oberputz O1	38
3.2.8. Organischer Oberputz O2	39
3.2.9. Organischer Oberputz O3	39
3.2.10. Organischer Oberputz O4	39
3.2.11. Organischer Oberputz O5	39
3.2.12. Organischer Oberputz O6	40
3.3. Versuchsablaufplan	41
3.4. Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) der Probekörper	42
3.5. Messung der Tauwassermenge	49
3.5.1 Messung der Tauwassermenge mit der Laborwaage	52
3.5.2 Messung der Tauwassermenge per Laserscanmikroskop	57
3.6. Benetzungswinkelmessung	76
3.7. Materialanalyse	80
3.7.1 Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)	80
3.7.2 Materialanalyse per Infrarotspektroskopie	84
3.8. Thesen und Übersicht der Versuchsergebnisse	88



4. Schlussfolgerung	96
5. Ehrenwörtliche Erklärung	98
6. Anhang	99
6.1. Veröffentlichungen im Rahmen der Thesis	99
6.2. Persönlicher Werdegang	100
6.3. Abbildungsverzeichnis	101
6.4. Tabellenverzeichnis	103
6.5. Quellenverzeichnis	104
6.6 Untersuchungsergebnisse und Analysen	112
6.6.1. Materialkennwerte	112
6.6.2 Wasseraufnahmekoeffizient	123
6.6.3 Tauwassermessung	162
6.6.4 Benetzungswinkelmessung	253
6.6.5 Materialanalyse	262



II. Abkürzungsverzeichnis und Formeln

A	Fläche
Abb.	Abbildung
°C	Grad Celsius
D(g)	Durchfeuchtungsgrad gesamt
DIN	Deutsches Institut für Normung
dm³	Kubikdezimeter
ng	Nanogramm
µg	Mikrogramm
g	Gramm
h	Stunde
Kg	Kilogramm
l	Liter
M.-%	Masseprozent
m	Masse
mm	Millimeter
mm²	Quadratmillimeter
m²	Quadratmeter
Tab.	Tabelle
v. Chr.	vor Christi geburt
vgl.	vergleiche
w	Wasseraufnahmekoeffizient oder auch w- Wert in [kg/(m²h^{0,5})]
W	Wasseraufnahme in kg/m²
O	Organisch gebundener Oberputz
M	Mineralisch gebundener Oberputz
°	Grad (Winkel)
t	Zeit
min.	Minuten

$$t = 243,12 * \frac{\ln\left(\frac{p_{sat}}{611,2}\right)}{-\ln\left(\frac{p_{sat}}{611,2}\right) + 17,68}$$

$$t_t = \varphi^{\frac{1}{8,02}} * (109,8 + t) - 109,8$$

t_t = Taupunkttemperatur (°C)
 φ = Relative Luftfeuchtigkeit (-)
 t = Lufttemperatur (°C)

t = Taupunkttemperatur (°C)
 p_{sat} = Sättigungsdampfdruck (Pa)

III. Vorwort

Die vorgelegte Arbeit konnte mit der Unterstützung der Hochschule Wismar, der Universität Pécs, dem Centre for Energy Research Nuclear Analysis and Neutron Radiography in Budapest sowie weiterer Unterstützer erstellt werden. Explizit danke ich für die Unterstützung für die Nutzung von Laboren und Einrichtungen.

1. Einleitung und Problemstellung

1.1. Probleme der Fassadengestaltung aus Putz

Für die Gestaltung von Fassaden wird Putz am häufigsten unter den Bauprodukten verwendet [1]. Putze bieten eine große Vielfalt der Gestaltungsmöglichkeiten in Struktur, Form und Farbe. Putze werden schon seit Beginn der Zivilisierung in handwerklicher Verarbeitungstechnik hergestellt, um einen bauphysikalischen Schutz der Gebäude- oder Bauwerkshülle darzustellen [1].

Die Errichtung von Bauwerken zum Schutz vor Feuchtigkeit und Kälte beschäftigt die Menschheit nicht erst seit heute. Der römische Baumeister Vitruv schrieb um 33v. Chr. die bautechnischen Erkenntnisse der damaligen Zeit nieder. Es entstand ein Werk mit zehn Büchern „De Architectura libri decem“ [2]. Diese zehn Bücher sollten es ermöglichen, Bauwerke zu errichten und zu bewerten. Die Bücher beinhalteten ästhetische und technische Grundlagen der Architektur für den damaligen Bau von Tempeln, Wohnhäusern und den Städtebau [2].

Bautenschutz ist ein Bestandteil der Bauphysik. Dieser umfasst alle baulichen Maßnahmen an Bauwerken den Qualitätszustand eines Bauwerks beizubehalten oder den ursprünglichen Zustand wieder herbeizuführen [3]. Die Einflüsse auf das Umfeld können auf kurze oder lange Zeit zu Bauschäden führen [4]. Wasser bzw. Feuchte spielt bei der Verwitterung von mineralischen Baustoffen eine wesentliche Rolle [4]. Mit einem Feuchteintrag kann eine Vielzahl von Schadensmechanismen ausgelöst werden.

Unter anderem sind es:

- Anstieg der Schadstoffaufnahme
- biologische Besiedlung der Oberfläche mit Algen und Flechten
- Erhöhte Gefahr durch Frostschäden
- Anstieg der Wärmeleitfähigkeit
- Auftreten von Auswaschungen
- Entstehung hygrischer Dehnungen
- Veränderung der Festigkeit
- Gefahr von Schimmelpilzbildung [5]

Oberflächen an Fassaden neigen immer stärker zur Algenbesiedlung. Effekte des zunehmenden besseren Wärmeschutzes der Gebäudehüllen, der Klimawandel sowie die Verringerung der Luftverschmutzung verstärken dies. Die anfallende Tauwassermenge spielt dabei eine entscheidende Rolle [6].

In der Vergangenheit wurde viel zu viel über die Schlagregensicherheit von Fassaden diskutiert, gleichzeitig wurde die Tauwasserbelastung einfach ignoriert. Erst in jüngster Zeit machten verschiedene Autoren auf die Tauwasserproblematik aufmerksam [6], [7]. Sie suchten alle nach einer anspruchsvollen Messmethode für die Erfassung der Tauwassermenge und betonten immer wieder, dass die gravimetrische Bestimmungsmethode, welche mittels eines Vlieses abgetupfter Wassermenge funktioniert, und brauchbare Ergebnisse bei einem Feldversuch liefern kann [9], [10]. Jedoch habe sich dabei die Frage gestellt, wann genau der

richtige Zeitpunkt zur Bestimmung der Tauwassermenge mit einem Vlies und einer Federwaage ist. Wann ist der Punkt erreicht, an dem das Tauwasser seine größte Menge erreicht hat? Wie verhält sich alleine die Tatsache der Wasseraufnahme in das Vlies? Wie kann ein neuer eigenständig entwickelter Versuchsaufbau aus schon bestehender Messtechnik implementiert werden? Der nachfolgende Beitrag kann hierzu erste Erklärungen und Erkenntnisse liefern.

Schutzfunktion für die Fassade:

In den letzten Jahren wurde bei Neubau sowie Sanierung der Bestandsgebäude immer mehr der Fokus auf die energetischen Optimierungen gelegt. Gleichzeitig wurden mehr und mehr Kunststoffe bei der Wärmedämmung zur Reduzierung des Energieverlustes [11] eingesetzt. Die Wärmedämmung der Gebäude ist ein wichtiger Bestandteil zur Reduzierung schädlicher Treibhausgase [12], [13]. Das United Nation Environment Programm hat festgestellt, dass Gebäude etwa 40% der weltweiten Energie [14] verbrauchen. Viele Wissenschaftler haben sich der Forschungen über neue Gebäudestandards sowie zukunftsweisende Dämmstoffe beschäftigt [15], [16]. Zunehmend konnte ich Land auf, Land ab feststellen, dass sich immer mehr Fassaden verändern und eine Diversität, die in der Handwerkskunst sowie regional unterschiedlich ist, verschwindet. Industrielle einheitliche Fassaden sind auf dem Vormarsch. Teilweise ist feststellbar, dass in Deutschland ganze Straßenzüge z.B. aus Ziegelfassaden mit Ornamenten verschwinden. Zusätzlich nimmt die Fassadenverunreinigung durch Algen- und Flechtenbewuchs stark zu.

VON WERDER u.a. haben sich bereits mit diesem Sachverhalt in ihren Arbeiten beschäftigt. Sie haben die Kondenswasserbelastung näher betrachtet und erstmals den Zusammenhang von Tauwasserbildung und Algenbesiedlung nachgewiesen [17]. Weiter wurde festgestellt, dass die monatliche Betauungszeit bis zu 240 Stunden, die Schlagregendauer pro Monat dagegen nur ca. 22 Stunden beträgt [18]. Das bedeutet mehr als die 10 fache Beaufschlagungszeit.

H.-M. KÜNZEL und KRUS formulierten dazu in:

„...die jährliche Schlagregenmenge in Holzkirchen ist etwa zehnmal größer als die jährliche Tauwassermenge auf hochgedämmten Fassaden-, hängen die Feuchtebedingungen auf der Fassade entscheidend von der Wasserrückhalte- bzw. Feuchtespeichereigenschaften der Fassadenoberflächenschichten ab“ [19].

Bislang gab es nur statische Messverfahren um die tatsächliche Tauwassermenge direkt an der Oberfläche zu ermitteln. Vielmehr soll nun eine standardisierte Prüfung mit verschiedenen Untersuchungsparametern dazu führen, eine bessere Aussage zum physikalischen Tauwasserschutz einer Fassade zu bekommen.

Maßgebend werden bei dieser Betrachtungsweise die Eigenschaften der Oberputze vertieft beobachtet. Die zumeist wasserabweisenden Unterputze der Fassade wurden hierbei nicht betrachtet, da diese maßgeblich zum Feuchteschutz der Baukonstruktion dienen. Ebenfalls sollen bei dieser Untersuchungsreihe Farbbeschichtungen für farbige Oberputze für Fassaden nicht näher betrachtet werden. Das Merkblatt Egalisationsanstriche auf Edelputzen von Industrieverband WerkMörtel e.V. (Ausgabe 2009) gibt dazu nähere Hinweise wie farbige (pigmentierte) Oberputze mit einem Egaliserungsanstrich zu versehen sind, mit Ausnahme eines Kratzputzes. Als Fazit sieht das Merkblatt vor, dass bei farbigen Oberputzen ein Egaliserungsanstrich im Leistungsverzeichnis aufgenommen werden muss:

„die Ausführung kann jedoch im Einvernehmen mit dem Bauherrn davon abhängig gemacht werden, ob der gewünschte optische Eindruck der Putzoberfläche einen solchen Anstrich erfordert.“ [20]

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass bei einem nicht pigmentiertem Oberputz ein Anstrich nicht zwangsläufig erforderlich ist. So habe ich z.B. festgestellt, dass in unserem Ort ein Haus z.B. in 1993 Jahren mit einem weißen Strukturkornverputz mit Mamorkörnung verputzt wurde ohne Anstrich. Der erste weiße Farbanstrich erfolgte im Jahr 2013. Eingefärbte oder mit einem Farbanstrich versehene Oberputze bedürfen einer getrennten betrachtungsweise aus sicht des Verfassers. Weitere Beispiele für nicht farbig eingefärbte Oberputze ohne egalisierenden Farbanstrich finden sich in den Beispielen in diesem Kapitel wieder.

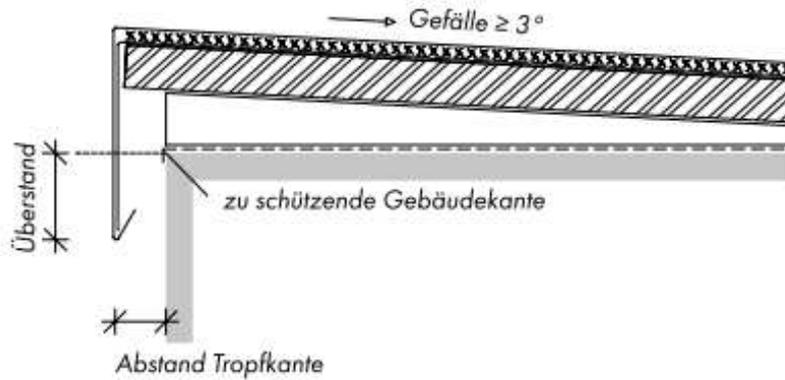
Desweiteren wurde bei dieser Arbeit nicht die Wärmestrahlungseffekte bzw. die Masse der Oberputze betrachtet. Es soll vielmehr die bauphysikalischen Eigenschaften aufgrund des Wasseraufnahmeverhaltens (Sorption) dargelegt werden. Sorption ist die Anreicherung eines Stoffes (hier Tauwasser) an einer Stoffoberfläche wie z.B. Oberputz. Unter der Sorption versteht man einen Vorgang, bei dem ein flüssiger oder gasförmiger Bestandteil (hier Wasser) sich an der Phasengrenze an der Bauteiloberfläche einlagert [21].

Alle in dieser Arbeit untersuchten Oberputze, umgangssprachlich auch Edelputze genannt, können auf Wärmedämmverbundsystemen, Kalk, Kalkzement, Zement und Armierungsmörteln mit Gewebe aufgetragen werden.

Konstruktive und physikalische Schutzmaßnahmen:

Die konstruktiven Schutzmaßnahmen haben einen hohen Stellenwert bei der Verringerung der Tauwasser- und Schlagregensicherheit eines Bauwerks. Konstruktive Schutzmaßnahmen können zum Beispiel sein:

- Angemessene Dachüberstände
 - o (dem Baustil angepasst)
- Abdeckungen auf Gesimskappen
- Überstände an Atika und Mauerwerksabdeckungen [22]



Gebäudehöhe h m	Abstand Tropfkante mm	Überdeckung mm
$h < 8$	≥ 20	≥ 50
$8 \leq h \leq 20$	≥ 20	≥ 80
$h > 20$	≥ 20	≥ 100

Abb. 01: Beispielhafte Darstellung für eine Mauerabdeckung [23].



Abb. 02: Attika Ausbildung an einem Flachdach.

Abstand der Tropfkante zwischen Putzoberfläche und Attikablech ca. $< 0,5\text{cm}$. Verfärbung durch unkontrollierten Wasserabfluss deutlich zu erkennen.

Weitere Planungshinweise für die Wasserführung an der Fassade sind:

- Wasserführung an Fensterbänken beachten
- Spritzwasserschutz im Bereich des Mauersockels
- Vegetation in ausreichenden Abständen pflanzen
- Regelmäßige Kontrolle der Dachentwässerung
- Feuchtespeichereigenschaften der Fassadenoberflächenschichten [22]

Diese Hinweise werden ergänzt durch die Einflussgrößen für eine Reduzierung des Algenwachstums an Putzoberflächen an Fassaden vgl. Abb. 08.

Die physikalischen Schutzfaktoren werden durch die hygrothermische Beanspruchung sowie die Speichermasse des Bauteils bestimmt [8]. Die nachfolgende Betrachtungsweise der Oberputze bezieht sich in erster Linie auf die Materialkennwerte wie z.B. die Wasseraufnahme des Werkstoffs. In dieser Arbeit sind in erster Linie die Oberputze betrachtet. Aus Sicht des Verfassers sollte bei jedem Putzsystem für Außenputze der Grundputz wasserabweisende Eigenschaften haben, um eine Durchfeuchtung des Mauerwerks durch Schlagregen zu vermeiden. Ausnahmen können jedoch bei historischen oder denkmalgeschützten Bauwerken zugelassen werden. Das Wasseraufnahme- und abgabeverhalten spielt bei der Tauwasserresistenz (hygrothermische Beanspruchung) eine entscheidende Rolle um eine Algenbesiedlung im Bereich des Oberputzes zu reduzieren [8].

Die Wasseraufnahme und -abgabe des Oberputzes erfolgt in erster Linie über das sorptive Verhalten des Baustoffs. Füller, Bindemittelgehalt und Zusatzstoffe sowie Hilfsmittel spielen eine weitere Rolle [8].

Die chemischen Schutzmaßnahmen haben in den letzten Jahren bei Putzsystemen für Außenputze eine immer stärkere Rolle eingenommen. Für die chemischen Schutzmaßnahmen werden Putzen Biozide beigemischt. Zu den Bioziden gehören eine Vielzahl von Produkten wie z.B. Desinfektionsmittel, Schädlingsbekämpfungsmittel oder sonstige Biozide [24].

„Laut Definition sind Biozid- Produkte Wirkstoffe und Zubereitungen, deren Zweck es ist, auf chemischem oder biologischem Wege Schadorganismen (z.B. Bakterien, Pilze, Insekten, Nagetiere) abzuschrecken, unschädlich zu machen oder zu zerstören“ [25].

In Fassadenprodukten (Putze und Farben) lag bei einer Untersuchung die Menge der Wirkstoffe bei 100mg/kg bis 2000mg/kg [26]. Biozide können nur Ihre Wirkung erlangen, wenn Sie aus der verkapselten festen in die wässrige Phase an die Oberfläche gelangen. Dieser Effekt entsteht durch diffundieren im Baustoff von innen nach außen mit Hilfe der Feuchte im Baustoff. Hierzu reicht Regenwasser oder Tauwasser aus.

“Jedes Schlagregenereignis transportiert die Biozide an der Fassade abwärts“ [27].

Jedoch ist eine Wasserlöslichkeit nicht alleine ausschlaggebend, Photoabbau, Verflüchtigungen und Bindungsvermögen aus der Putzmatrix spielen ebenfalls eine Rolle [28].

„Am 16. Februar 1998 trat die Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten in Kraft und infolge dessen am 28. Juni 2002 das deutsche Biozid-Gesetz. Es integriert die Regelungen, die zur Umsetzung der Richtlinie 98/8/EG erforderlich sind, in das Chemikaliengesetz (ChemG).“ [25]

Folgend einige Wirkstoffe der Biozide, die für Fassadenprodukte eingesetzt werden:

- Diuron
- Cybutryn
- Zinkpyrithion
- Terbutryn [29], [30]

Einer Studie zufolge sind heute etwa 25-40% aller professionellen Produkte für Fassaden (Putze und Farben) in der Schweiz mit verkapselten Bioziden ausgerüstet [31]. Biozide werden nach Vorschlägen der EU Kommission in die Wasserrahmenrichtlinie aufgenommen und soll verstärkt in Gewässern beprobt werden [32]. Biozide führen z.B. über eine Auswaschung durch das Regenwasser in das Grundwasser oder Fließ- und stehende Gewässer. Studien des Umweltbundesamtes aus Deutschland sowie des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU) haben diese bereits bestätigt. Bei Feldmessungen an Fassaden in der Schweiz wurden Terbutryn Konzentrationen im Bereich von einigen hundert $\mu\text{g/l}$ [33]. In Bayern wurden in Oberflächengewässern sogar Maximalwerte von bis zu 140ng/l nachgewiesen [34]. In Deutschland ist Terbutryn als Pflanzenschutzmittel seit 1997 nicht mehr zugelassen [24]. In hessischen Flusssystemen sind Terbutryn- Konzentrationen über dem Wert der Trinkwasserverordnung von $0,1\mu\text{g/l}$ festgestellt worden [35].

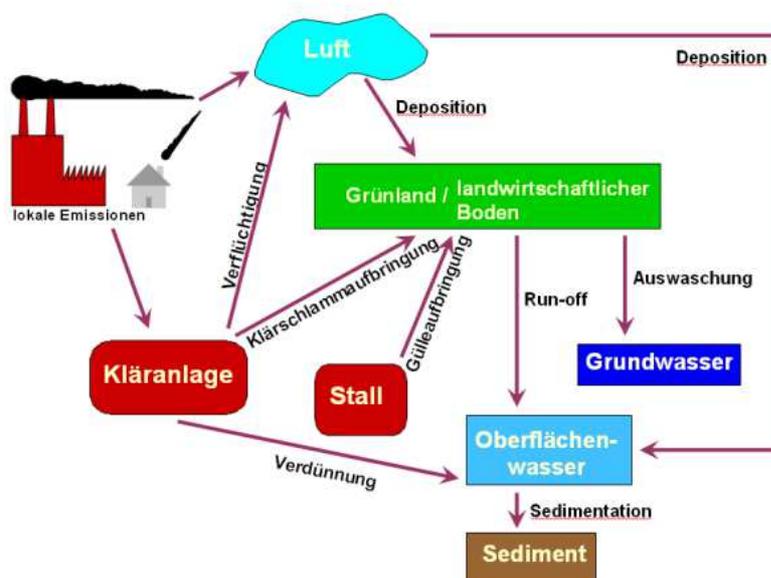


Abb. 03: Indirekte Eintragspfade von Bioziden in Gewässer [36].

Grundsätzlich können mehrere Quellen für die Biozideinträge in Frage kommen vgl. Abb. 03. Dies kann z.B. auch die Landwirtschaft sein oder Eintragungen durch verunreinigtes Regenwasser bei Trennkanalisation. Ein Grundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes ist die Sicherung der Gewässer. Diese stellen einen wichtigen Lebensraum für Pflanzen, Tiere dar und liefern dem Menschen das notwendige Trinkwasser. Bisweilen gibt es noch keine Nachweispflicht über den Eintrag von Bioziden in Gewässern über den Weg der kommunalen Kläranlagen. Im Anhang 1 der Abwasserverordnung (Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung - AbwV)) werden keine Biozide erfasst [37].

Es wird erfasst:

- Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)
- Biochemischer Sauerstoffbedarf (BSB)
- Ammoniumstickstoff (NH₄-N)
- Stickstoff gesamt (Nges)
- Phosphor gesamt (Pges) [37]

Lediglich beim Klärschlamm werden verschiedene Parameter nach Klärschlamm- und Düngemittelverordnung untersucht, falls der Klärschlamm zur landwirtschaftlichen Verwertung für den Ackerbau eingesetzt wird.

Dies sind z.B.:

- Benzo(a)pyren (B(a))
- Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD)
- Blei (Pb)
- Chrom (Cr)
- Nickel (Ni)
- Zink (Zn)
- Cadmium (Cd)
- Kupfer (Cu)
- Quecksilber (Hg) [38], [39]

Biozide sind jedoch hier nicht explizit zu untersuchen. Also kann grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden, dass eine Gewässereintragung oder sogar eine Rückführung in die Nahrungskette über die Landwirtschaft erfolgen kann vgl. Abb. 03 [36]. In der Trinkwasserverordnung (2001), Umsetzung der Richtlinie 98/83/EG werden verschiedene Parameter für die Trinkwasserqualität bei menschlichen Gebrauch definiert. In der Anlage 2 sind die Grenzwerte für Biozide aufgeführt, Einzelwerte dürfen 0,1µg/l nicht überschreiten und das Summenparameter aller Biozide nicht mehr als 0,5µg/l betragen [40].

Hier einige beispielhafte Bilder für Fassadenverfärbungen.



Abb. 04: Fassade von einem Mehrfamilienhaus in Wismar (Deutschland).

Putzverfärbungen deutlich zu erkennen, auf der Fassade aus Wärmedämmverbundsystem an der Nordseite des Gebäudes.



Abb. 05: Büro und Verwaltungsgebäude in der Eifel (Deutschland).

Putzverfärbungen an der süd west Seite des Gebäudes zu erkennen.



Abb. 06: Landwirtschaftliche Scheune in der Eifel (Deutschland).

Putzverfärbungen an der Westseite des Gebäudes zu erkennen. Geringer Dachüberstand, Oberputz ohne Egalisierungsanstrich.

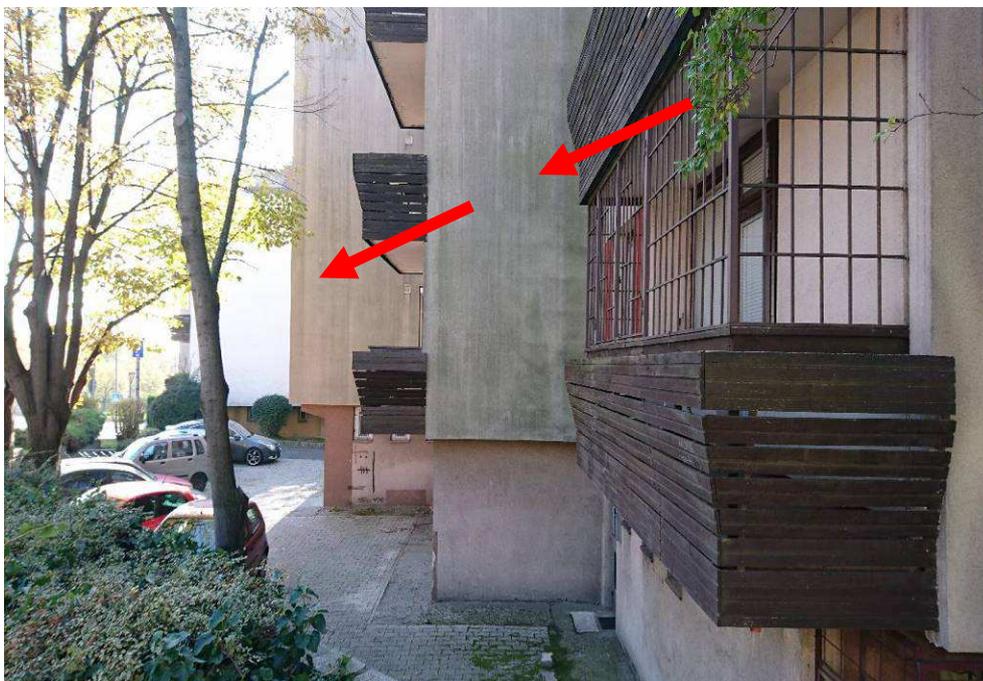


Abb. 07: Mehrfamilienhaus in Pécs (Ungarn).

Putzverfärbungen ist deutlich zu erkennen. Exposition durch hohen Baubestand unmittelbar am Gebäude.

Aus der Sichtweise des verfassers ist der Feuchteintrag in die Fassade immer im Kontext der Konstruktion der Fassade und möglicher weiterer Ursachen eines

Feuchteintrags neben der des Schlagregens zu betrachten. Konstruktive Lösungsansätze wie Dachüberstände, Gesimse oder die Baustoffe selber sind ebenfalls nicht zu vernachlässigen [22].

„Langfristig gesehen wird bei der Gebäudeplanung entschieden, wie nachhaltig die Fassade frei von Bewuchs bleibt. Daher ist für jedes Gebäude das Fassadensystem individuell zu planen“ [41].

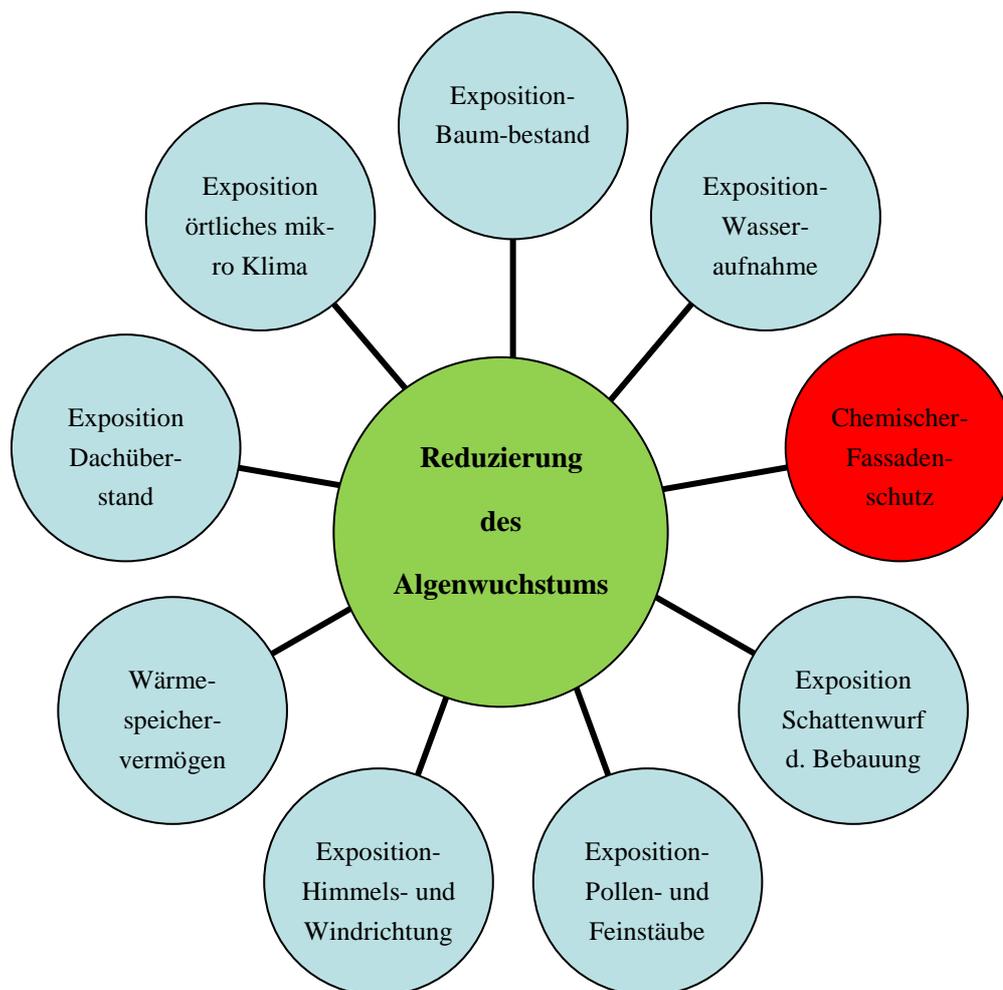


Abb. 08: Übersicht der Einflussgrößen für eine Reduzierung des Algenwachstums an Putzoberflächen an Fassaden.

1.2. Begriffsbestimmung und Fassadenschutztheorie

Fassadenputze bestehen aus porösen Baustoffen sowie organisch- und mineralischen Bestandteilen [1].

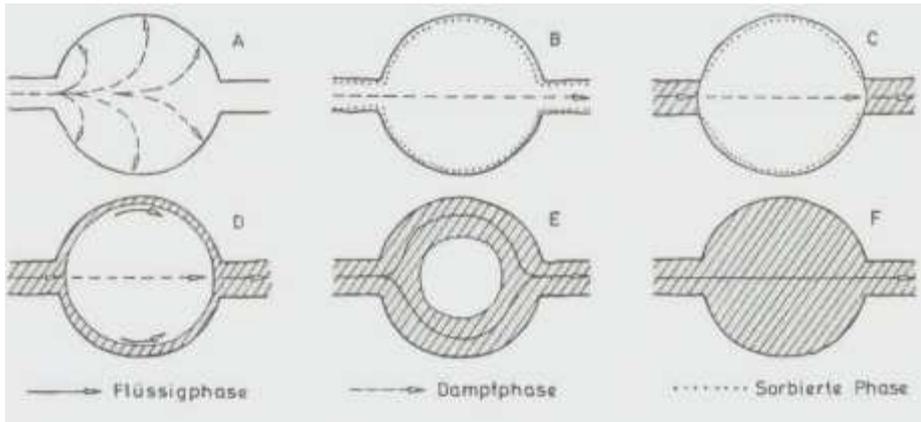


Abb. 09: Schematische Darstellung der fortschreitenden Wassereinlagerung in einer Baustoffpore bei steigendem Wassergehalt nach Rose [42].

(A) In einem trockenen Baustoff wird der Wasserdampf in den Poren absorbiert. Ein Feuchtetransport findet nicht statt, es wird nur gespeichert [42].

(B) Belegung einer oder mehrerer Molekülschichten, so ist der Porenraum für Wasserdampf diffundierbar. Die Dicke des Wasserfilm steht im Gleichgewicht zur Luftfeuchte der Porenluft [42].

(C) Die Porenengpässe sind in Folge von Kapillarkondensation mit flüssigem Wasser gefüllt [42].

(D) Die Dicke der Sorbatschicht ist so angewachsen, dass ein Wassertransport in der flüssigen Phase möglich ist [42].

(E) Es ist bereits so viel Wasser enthalten, dass eine Strömung des Wassers stattfinden kann [42].

(F) Der Porenraum ist gesättigt, der Wassertransport und die Fließgeschwindigkeit folgen der Darcy-Gleichung, Diese beschreibt die Wasserbewegung in flüssiger Form in einem porösen Medium [42].

Eine weitere Rolle spielt dabei auch die Porengröße vgl. Abb. 10.

Wasseraufnahmemechanismen und Porengröße

Mikroporen Gelporen Kapillarkondensation Kondensation	Kapillarporen Kapillarität Kondensation	Makroporen Luftporen Sickerwasser Wasseraufnahme unter Druck Kondensation
10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
10^{-3}	10^{-2}	
Porenradius		

Abb. 10: Wasseraufnahmemechanismen und Porengröße. [43]

Klassifizierung der Poren:

- Luftporen > kapillarbrechend
- Makroporen > kapillare Leitfähigkeit
- Kapillarporen > kapillare Leitfähigkeit
- Mikroporen > keine kapillare Leitfähigkeit
- Gelporen > keine kapillare Leitfähigkeit [44]

Hier nochmals die Wirkungsweise am Beispiel eines Kapillarröhrchens.

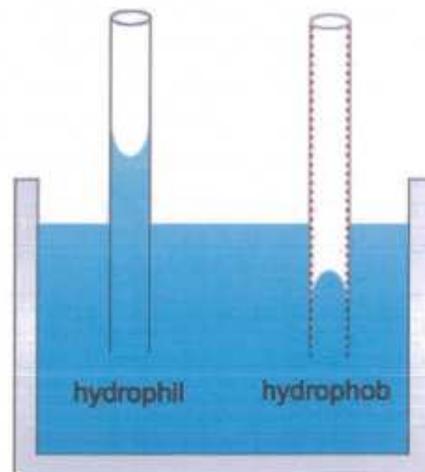


Abb. 11: Wirkungsweise hydrophil und hydrophob[45]

Ziel eines hydrophob eingestellten Baustoffes ist es, die mineralische Oberfläche wie z. B. von Putzen wasserabweisend auszurüsten, dies erfolgt durch die Auskleidung der Porenoberfläche im Baustoffinneren [22]. Durch diese Auskleidung der Poren kann sich kein Wasserfilm mehr an die Wandungen der Poren anlegen [22]. Eine Wasseraufnahme in das innere Baustoffgefüge kann nicht mehr stattfinden. Der Prozess der eindringenden Feuchtigkeit durch die kapillaren Poren im Baustoff wird unterbrochen [22].

Bei einem hydrophil eingestellten Baustoff, wird die mineralische Oberfläche wie z. B. von Putzen wasseraufnehmend ausgestattet [22].

Eine Wasseraufnahme in das Innere des Baustoffgefüges kann stattfinden.

Bei einem hydrophilen Baustoff ist eine Wasseraufnahme in das innere Baustoffgefüge erwünscht [22].

In der folgenden Abb. 12 sind die einzelnen Mechanismen der Wasseraufnahme am Beispiel eines Mauerquerschnitts dargestellt und näher beschrieben. Die kapillaren Poren im Baustoff befinden sich im gesamten Bauwerk. Sie werden durch unterschiedliche Feuchtigkeitsaufnahme beansprucht vgl. Abb. 12.

Unterschieden wird hierbei die;

flüssige Wasseraufnahme:

1. Kapillare Saugfähigkeit
2. Sickerwasser
3. Schlagregen

gasförmige Wasseraufnahme:

4. Kondensation (Tauwasser)
5. Kapillarkondensation auch durch Hygroskopizität

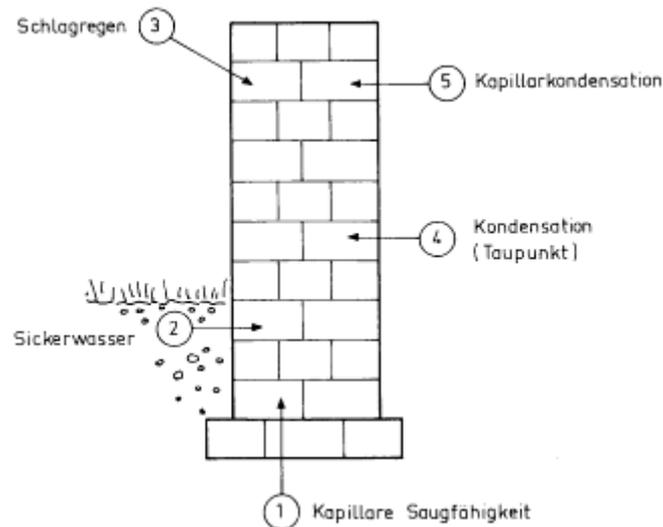


Abb. 12: Unterschiedliche Mechanismen der Wasseraufnahme [46]

Die Kondensation, oder auch Tauwasserbildung genannt, siehe Abb. 12 (4) findet bis heute keine Beachtung beim Schutz der Fassade. Lediglich für das Gebäudeinnere gibt es Regelwerke die einen Tauwasserschutz betrachten. Der Tauwasserschutz der äußeren Oberputzschicht wurde bisweilen vollständig vernachlässigt, da in erster Linie ein guter Schlagregenschutz für den Grundputz gefordert ist. Eine normierte Regelung für einen Tauwasserschutz außerhalb des Gebäudes bei Putzoberflächen existiert bislang nicht.

Vielmehr wird in der Normierung für Putzfassaden auf den Schlagregenschutz (3) eingegangen.

Durch starke Wind- und Regenbelastungen können nicht unerhebliche Mengen an vertikalen Fassaden von Belastungen bis zu 8l/m^2 in der Minute führen [47].

Bei solchen Belastungen durch Regen auf die Bauteiloberfläche bildet sich schnell ein Wasserfilm, der durch kapillare Saugfähigkeit ins Bauteil gelangt. Zusätzlich wird durch die Windbeanspruchung auch Wasser in Bauteilrisse und Spalten gedrückt, was dadurch zu einer zusätzlichen Wasseraufnahme führt. Daher ist es wichtig, dass die Bauteiloberfläche an Fassaden möglichst frei von Rissen und Beschädigungen ist. Ansonsten können größere Bauteilschäden nicht ausgeschlossen werden [48].

Der Schlagregen, der eine flüssige Wasserbelastung darstellt, vgl. Abb. 12 (3), wird in Deutschland durch die Einteilung nach Regionen näher beschrieben vgl. Abb. 13. Hierbei erfolgt eine Kartierung nach Beanspruchungsgruppen. Deutlich zu erkennen auf der Karte ist, dass z. B. Wismar in der Beanspruchungsgruppe II liegt.

Übersichtskarte zur Schlagregenbeanspruchung³⁾ in der Bundesrepublik Deutschland

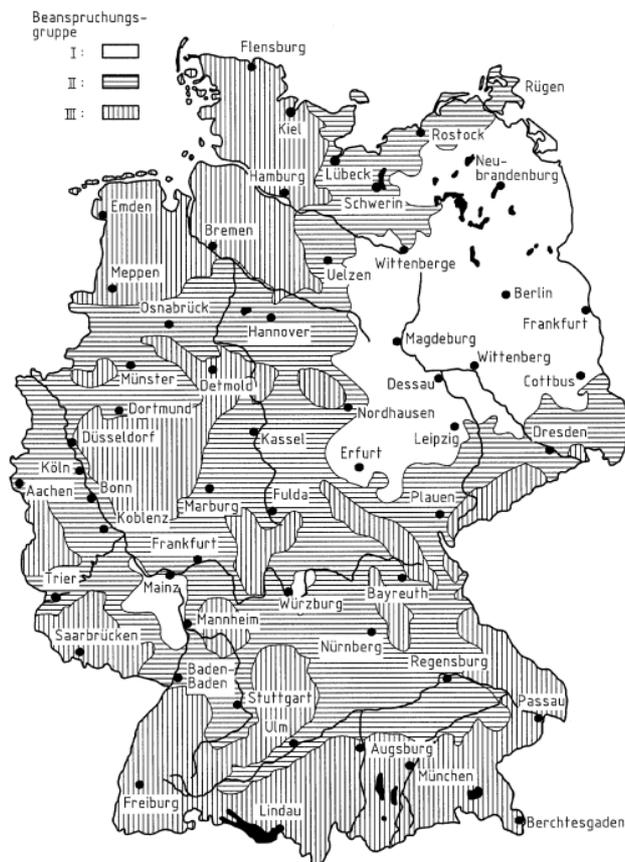


Abb. 13: Schlagregenbeanspruchung in Deutschland lt. DIN 4108-3 [49]

Beanspruchungsgruppen gemäß DIN 4108-3 und deren Anforderungen an den Wassertaufnahmewert.

Gruppe I:

Geringe Schlagregenbeanspruchung < 600mm Jahresniederschlagsmenge, windgeschützte Lage [49].

Gruppe II:

Mittlere Schlagregenbeanspruchung 600-800mm Jahresniederschlagsmenge, windgeschützte Lage, Hochhäuser, Häuser in exponierter Lage [49].

Gruppe III:

Starke Schlagregenbeanspruchung > 800mm Jahresniederschlagsmenge, windreiche Gebiete, Mittel- und Hochgebirgslagen Küstengebiete [49].

KÜNZEL hat dieses bereits in den 60er Jahren zum Anlass genommen, um dies in den folgenden bauphysikalischen Kennwerten in der Fassadenschutztheorie zu bestimmen:

$$w \leq 0,5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5}$$

$$S_d \leq 2,0 \text{ m}$$

$$w * S_d \leq 0,2 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0,5} \text{ [50]}$$

Diese Anforderungen wurden später in die DIN 4108-3 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden, sowie DIN 18550 Putznorm übernommen [50].

Zu bedenken gilt, dass bei der Fassadenschutztheorie nach **KÜNZEL** nur der Trocknungsvorgang der Wand aufgrund von Diffusion Beachtung findet. Noch kritischer ist

die Trocknungsrate im äußeren Trocknungsabschnitt neben den äußeren Randbedingungen wie bspw. Exposition, Windgeschwindigkeiten etc. und durch die kapillare Leitfähigkeit bestimmt wird. Die Trocknungsgeschwindigkeit nimmt durch zusätzlichen Diffusionswiderstand der trockenen Schicht ab [51].

Immer wichtiger ist es bei Bauwerken durch ein ausgeklügeltes Präventionskonzept die Lebenszykluskosten zu verringern. Dies gilt gleichermaßen für Fassaden an Gebäuden, für Brücken, für Tiefgaragen usw. Unterhaltungsmaßnahmen können dabei schnell die ursprünglichen Baukosten übersteigen [52].

„Dank geeigneter Maßnahmen ist es möglich, die Lebensdauer einer Immobilie zu einem Bruchteil der Kosten des zukünftig zu erwartenden Sanierungsaufwands zu verlängern und damit die Lebenszykluskosten zu optimieren“ [53]

Bei all diesen Überlegungen wird jedoch der Tauwasserschutz für Fassaden völlig vernachlässigt. Erhöhte Instandsetzungskosten für die Fassadenunterhaltung bleiben nicht aus.

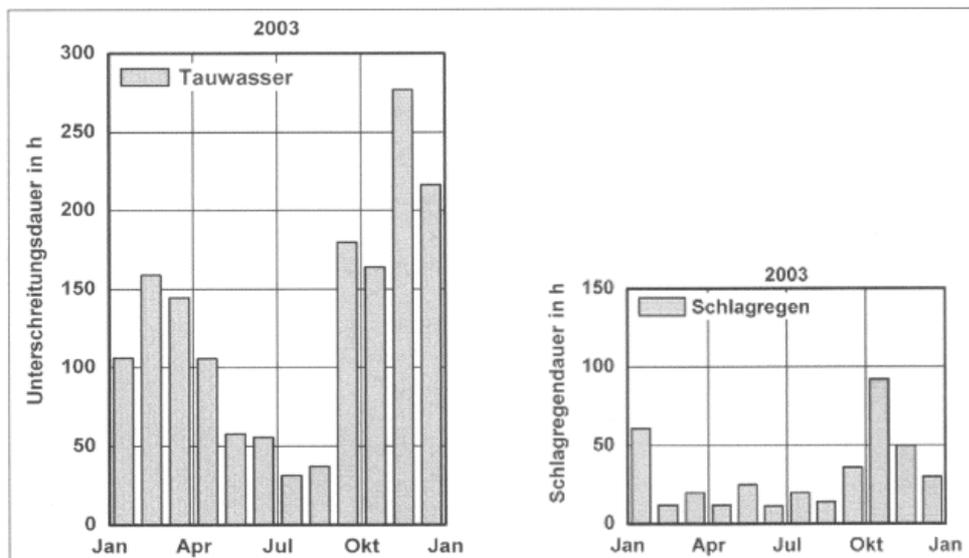


Abb. 14: Vergleich Tauwasserbildung-Schlagregenbelastung [54].

Linkes Diagramm, Dauer der Tauwasserbildung in den Monaten Januar bis Januar in Stunden. Rechtes Diagramm, Dauer der Schlagregenbelastung in den Monaten Januar bis Januar in Stunden. Gemessen an einer nach Westen orientierten Versuchswand in Holzkirchen (Deutschland). Die Oberfläche besteht aus Dünnputz mit weißem Anstrich auf Wärmedämmverbundsystem.

Deutlich zu erkennen, die wesentlich länger andauernde Tauwasserbelastung der Fassade im Vergleich zur Schlagregenbelastung. Die Tauwasserbelastung ist in den Monaten Mai bis September am geringsten. Zu erklären lässt sich dies durch die geringen Temperaturunterschiede, da es nachts nicht so stark abkühlt um den Taupunkt zu unterschreiten.

Grundsätzlich sollte die Überlegung angestellt werden stark Schlagregen- oder Tauwasserbelastete Fassadenseiten grundsätzlich getrennt zu betrachten.

Vorstellbar ist z.B. eine Fassadenseite, die sehr exponiert ist, mit einem guten Schlagregenschutz auszurüsten und eine Fassadenseite mit einer tauwasseropti-

mierten Fassade. Alternativen sollten grundsätzlich überlegt werden, ob evtl. auch vorgehängte oder verklankerte Fassaden zur Anwendung kommen sollten.

1.3. Fragen und Zielsetzung zur Verbesserung des Tauwasserverhaltens

In dieser Arbeit soll der Zusammenhang zwischen den Werkstoffen für Putzfassaden sowie deren Verhalten bei Tauwasseranfälligkeit näher untersucht werden. Es sollen Prüfungsverfahren zu einer reinen bauphysikalischen Lösungsmöglichkeit ohne den Einsatz von umweltschädlichen Bioziden aufgezeigt werden.

Folgende Fragestellungen werden nachfolgend vertieft:

Frage I

Gibt es (neue) dynamische Messverfahren um die Wirkweise für einen guten Tauwasserschutz zu untersuchen?

Frage II

Gibt es bei unterschiedlichen Werkstoffen eine Veränderung der Tauwassermenge, die letztendlich zu einer Beeinflussung der Algenbesiedlung führen kann?

Frage III

Sind kunststoffvergütete oder modifizierte Putze anfälliger gegen Tauwasser als mineralische Putze? Gibt es bei diesen unterschiedlichen Werkstoffen eine Veränderung der Tauwassermenge, die letztendlich zu einer Beeinflussung der Algenbesiedlung führen kann?

Frage IV

Können Analyseverfahren die Inhaltsstoffe der Putze nachweisen? Kann damit eine Zuordnung in mineralische oder organische Putze erfolgen?

Frage V

Welche grundlegenden bauphysikalischen Empfehlungen können für ein verbessertes Tauwasserverhalten auf Putzoberflächen gegeben werden?

Der Versuchsablauf, sowie die verwendeten Baustoffe werden im dritten Kapitel näher beschrieben. Die Antworten auf die Fragen erfolgen im Kapitel 3.8.

2. Derzeitiger Kenntnisstand

2.1. Entwicklung der Putze und Mörtel früher und heute

In der historischen Entwicklung der Baustoffe und Baukunst galt es immer schon eine Verbindung von unterschiedlichen Stoffen einzugehen. Diese war ortsabhängig und zeitlich abhängig. Dies bedeutete, dass in unterschiedlichen Regionen die natürlich vorkommenden Ressourcen unterschiedlich eingesetzt wurden. Dies konnten Natursteine, künstliche Steine wie Ziegel, Holz, Lehm oder Putze sein. Auch die Nutzung unterschiedlicher natürlicher Vorkommen wie Kalke oder Tone war ein

entscheidendes Merkmal. Durch diese natürlichen Bedingungen konnte eine Vielzahl genutzter Werkstoffe in die bauliche Geschichte Einzug halten.

Mineralisch gebundene Putze und ihre Entwicklung

Die Zusammensetzung der Gesteinskörnung wich in der Vergangenheit teils erheblich von den heutigen ab. Sie bestanden aus wesentlich mehr Größtkorn und wesentlich hohem Anteil an Feinkorn. Der Größtkorn-Durchmesser betrug teilweise > 6mm vgl. Abb. 24, Oberputz aus den 1960er Jahren. Die Gewinnung der Zuschlagstoffe erfolgte noch nicht industriell aus dem Tagebau sondern oftmals im Schwemmland von Bächen und Flüssen. Zu den ältesten Baustoffen zählen daher Baustoffe wie Natursteine, Holz, und lehmhaltige, luftgetrocknete und später gebrannte Ziegel. Zur Zeiten der Antike beherrschten die Griechen und Römer die Erkenntnis, dass mit verschiedenen Zuschlagstoffen und Erden, wie z.B. Kalk und Puzzolane besondere Eigenschaften der Mörtel und Putze eingestellt werden konnten [55]. Diese besonderen Mörtel wurden verwendet um die Trinkwasserversorgung im Römischen Reich mit wasserdichten Viadukten und Gewölben herzustellen. Einige der imposanten Bauwerke römischer Baukunst können heute noch z.B. in Trier (Augusta Treverorum) und Köln (Colonia Agrippina) besichtigt werden. Auch heute werden noch Putze und Mörtel eingesetzt die im Grunde ähnliche Eigenschaften besitzen wie das Opus caementitium (Mörtel) oder das Opus signinum (hydraulisch- oder, Wasserbindender Verputz) der Römer [56], [57].



Abb. 15: Tempelanlage von Knossos (Kreta).

Verputze dienen immer schon als Wetterschutz der Tragkonstruktion, sowie als architektonische Gestaltungselement [1]. Besonders in der Zeit der Antike und im Mittelalter dienten farbige Gestaltungen der Putzfassade dazu einen gewissen Gesellschaftstand wieder zu spiegeln vgl. Abb. 15 bis 18. Oftmals wurden öffentliche Gebäude, Apotheken und Kaufmannshäuser farbig gestaltet vgl. Abb. 15 bis 18.



Abb. 16: Historische Fassade einer Apotheke (Mitte), Bürgerhaus (Links und Rechts) in Wismar (Deutschland).



Abb. 17: Historische Fassade des Theaters in Pécs (Ungarn).



Abb. 18: Nachbildung einer historischen Fassade eines Kaufhauses in München (Deutschland).

Verstärkt wurden Pigmentierungen und Kunstobjekte durch Putzmodellierung in die Fassade eingearbeitet vgl. Abb. 15 bis 18. Dies konnten einfache Putzabsetzungen an Gesimsen, Fenstern oder Gebäudeecken sein, aber auch plastische Gestaltungselemente mit Motiven vgl. Abb. 15 bis 18.

Somit spielt die Erhaltung und Sicherung von Bauwerken und deren Putzfassaden eine entscheidende Rolle in der Denkmalpflege. Im Artikel 11 der Charta von Venedig aus dem Jahre 1964 steht.

„Die Beiträge aller Epochen zu einem Denkmal müssen respektiert werden: Stileinheit ist kein Restaurierungsziel. Wenn ein Werk verschiedene sich überlagernde Zustände aufweist, ist eine Aufdeckung verdeckter Zustände nur dann gerechtfertigt, wenn das zu Entfernende von geringer Bedeutung ist, wenn der aufzudeckende Bestand von hervorragendem historischen, wissenschaftlichen oder ästhetischen Wert ist und wenn sein Erhaltungszustand die Maßnahme rechtfertigt. Das Urteil über den Wert der zur Diskussion stehenden Zustände und die Entscheidung darüber, was beseitigt werden darf, dürfen nicht alleine von dem für das Projekt Verantwortlichen abhängen“ [58]

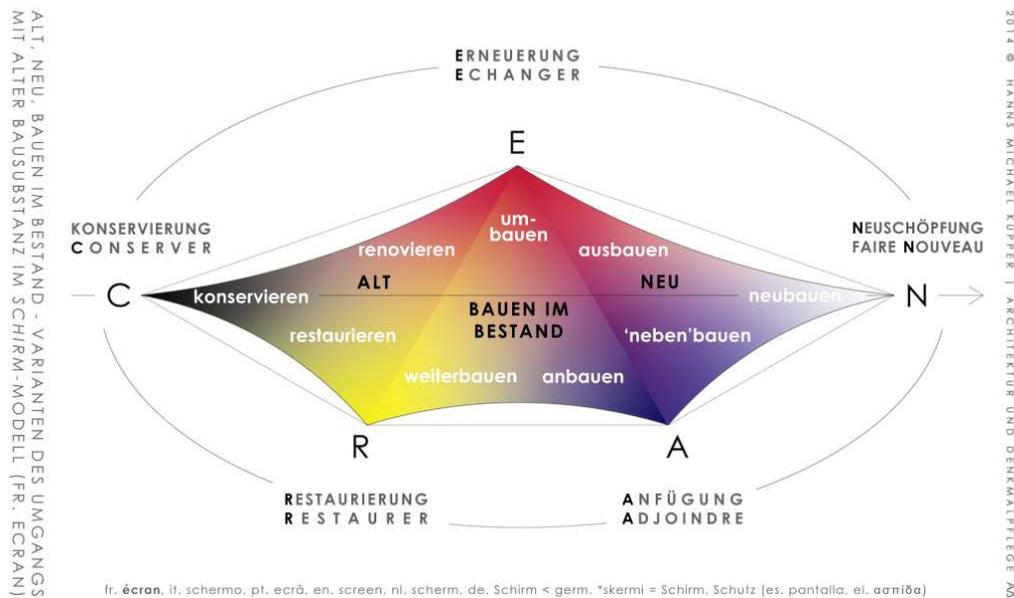


Abb. 19: Strategiemodell der Charta von Venedig [59].

Das schirmförmige Modell soll den Kontext zwischen einer Restaurierung, Anfügung, Konservierung, Erneuerung und Neuschöpfung mit historischer Bausubstanz herstellen.

Bei historischen Gebäuden und Bauwerken sollten grundlegende materialwissenschaftliche Kenntnisse und Analysen zur Verfügung stehen, um eine der Tradition und Technik gerecht werdende Rehabilitation herzustellen.

Hier einige beispielhafte zeitgeschichtlichen Ereignisse für die Entwicklung von Bindemitteln für Putze und Mörtel.

Zeit	Bindemittel	Ort/Volk/Objekt/Ereignis
3000 v. Chr.	Lehm	Trocknung bei erhöhter Temperatur Ziegel der Sumerer
2000 v. Chr.	Gips	Herstellung bei 150 – 200° C Mörtel und Putze, Pyramiden, Knossos
1600 v. Chr. bis 1000 v. Chr.	Kalk	Brennen bei 800 – 1000° C Mörtel und Putze der Phönizier
300 v. Chr.	Kalk	doppelschaliges Mauerwerk der Griechen (Emplecton)
50 v. Chr. bis 200 n. Chr.	hydraulischer Kalk	Zusätze von Puzzolanerde, gemahlener Ziegelstein und Sand, doppelschaliges Mauer- werk der Römer, Caementitium
1600 n. Chr. bis 1850 n. Chr.	hydraulischer Kalk	Zusätze von Tuffstein und Sand
1844	Zement	Erfindung des Portlandzementes durch Johnson, Sinterung unter 1400° C (Mehl- feinheit etwa 25 µm)
ab 1960	Zement	Sinterung zwischen 1400 und 1500° C (Mehlfineinheit etwa 1 µm) Sand- und Kiesfüllung, Armierung, Entwick- lung des Stahlbetones

Abb. 20: Zeitliche Entwicklung der Mörtel und Putze [60].

Lehmputze finden heute noch in einigen arabischen Ländern an historischen sowie neuen Bauten Anwendung. Durch die geringe Festigkeit sowie Empfindlichkeit gegenüber Erosion (Wasser und Wind) und Anfälligkeit der Rissbildung bei starker Austrocknung ist eine stetige Instandsetzung unumgänglich. Die Feuchtigkeitsaufnahme und Wiederabgabe dient jedoch in diesen Ländern zur natürlichen Temperatur- und Feuchtigkeitsregulierung in den Gebäuden. Die Lehmbautechnik war bis zum 2. Weltkrieg auch in Deutschland noch häufig verbreitet und ist heute wieder auf dem Vormarsch [61].

Die Kalk- und Kalkhydrate im Putz benötigen zur Abbindung Kohlendioxid sowie Wasser. Die Anfangserhärtung findet zunächst durch eine Trocknung (Verdunstung des Wassers) statt. Später setzt danach ein Erhärtungsprozess durch Kohlendioxid (Carbonatisierung) ein. Kalkputze weisen eine höhere Festigkeit auf als Lehmputze und bieten für die Gebäudehülle einen länger anhaltenden Schutz. Kalkputze weisen durch ihre weiche Struktur eine geringe Empfindlichkeit gegenüber Putzrissen auf. Durch den erforderlichen Wasserüberschuss bilden sich zahlreiche Kapillarporen, die eine gute Diffusion des Putzes mitbringen [62].

Zementmörtelputze hingegen haben eine größere Festigkeit und eine höhere Dichte [54]. Diese hemmt die Wasserdampfdiffusion und verhindert eine schnelle Feuchtigkeitsaufnahme aus der Umgebungsluft oder durch Niederschlagswasser. Dies spielt z.B. eine Rolle im Bereich des Sockel für den Spritzwasserschutz eines Gebäudes. So dient z.B. die Zugabe von Fasern zur Rissreduzierung bei der Anfangserhärtung [63].

Heute werden für mineralische Putze oftmals Gemische aus Zement, Kalken, Zuschlagstoffen und Zusatzmitteln für die Putzherstellung eingesetzt, um Werkstoffeigenschaften zu vereinen [64].

Organisch gebundene Putze und ihre Entwicklung

Im Jahr 1952 experimentierte der schweizer Malermeister Silvio Pietroboni erstmals mit Kunststoffdispersionen als Bindemittel für Putze. In den 1960er Jahren kamen auf Basis von Polyvinylacetat als Ersatz für das übliche Bindemittel Kalk oder Zement auf den Markt. Die organisch gebundenen Kunstharzputze werden heute mit einem Anteil von ca. 7% aus Polymerbinder, ca. 75% aus mineralischen Zuschlägen zur Erfüllung der Kornstruktur, sowie Additive ca. 2% und Wasser hergestellt [57]. Im Jahr 1985 wurden die Kunstharzputze genormt in der DIN 18556. Prüfungen von Beschichtungsstoffen für Kunstharzputze und von Kunstharzputzen sowie der DIN 18558 Kunstharzputze: Begriffe, Anforderungen, Ausführungen [65].

Heute sind die Kunstharzputze in der DIN 18550 (01.2018) gemeinsam mit den mineralischen Putzen normiert.

Die organisch gebundenen Putze werden heute nach DIN 18550 untergliedert in:

Dispersionssilikatputz

Diese Putze verfügen als Bindemittel aus einer Mischung von Kali-Wasserglas und Polymerdispersion. Durch die Modifikation der Hinzugabe der Polymerbinder konnte eine stabile Lagerfähigkeit erzielt werden [65].

Dispersionsharzputz

Dieser Putz verfügt als Bindemittel über eine Polymerdispersion. Die Dispersionsputze stellen die erste Entwicklungsstufe der Kunstharzputze dar. Der Nachteil ist die sehr geringe Wasserdampfdiffusion. Die Verseifungsgefahr auf alkalischen Untergründen führt häufig zu Schäden an den Putzen [65].

Silikonharzputz

Dieser Putz verfügt als Bindemittel über eine Silikonharzemulsion und Polymerdispersion. Die Dispersionsputze stellen die neueste Entwicklungsstufe der Kunstharzputze dar. Der Vorteil ist eine höhere Wasserdampfdiffusion. Somit kann Feuchtigkeit besser als bei den beiden anderen Kunstharzputzen durch die Konstruktion diffundieren. Zusätzlich kann der Putz noch mit Silikonöl hydrophobiert werden. Da Silikonharze jedoch teuer sind, wurden an den Bindemitteln Modifikationen vorgenommen, das Ergebnis sind Siloxan Putze. Diese weisen jedoch eine nicht so lange Haltbarkeit wie die reinen Silikonharzputze auf [65].

Bis in die 1960er Jahre hinein wurden Putze meist aus den einzelnen stofflichen Komponenten wie Kalk, Zement, Sand und Wasser an der Baustelle händisch gemischt und verarbeitet. Erst mit der industriellen Fertigung von Putzen als Silo oder Sackware sowie die Verbesserung der mechanischen Verarbeitbarkeit wurde zusehens die händische Mischung auf der Baustelle ersetzt [66].

Die erste Normierung der Putze erfolgte im Oktober 1955 in der DIN 18550 Putz – Baustoffe und Ausführung [67].

Sie beinhaltet, wie die Bezeichnung schon aussagt nicht nur die stofflichen Komponenten, sondern auch eine Regelung der handwerklichen Ausführung [67].

Die erste europäische Putznorm DIN EN 998- 1 aus dem Jahr 2003 betrachtete nur die rein stofflichen Komponenten und bezog sich nur auf mineralische Putze [67].

Aufgrund einer Vielzahl von Materialien innerhalb der EU sowie den unterschiedlichen Arbeitsweisen in Europa ist es nicht möglich, dass es eine einheitliche Verarbeitungsnorm in dieser alle Einzelheiten detailliert für alle Länder betrachtet werden können [67]. Für Deutschland ist eine nationale Ergänzungsnorm im Jahre 2014 erschienen.“ DIN 18550 Teil 1 und 2 Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen- Ergänzende Feststellung zu DIN EN 13914 [67].

Bezeichnung	Beschreibung	übliche Druckfestigkeitskategorie nach EN 998-1	Anwendungsbeispiele	Ehemalige Putzmörtelgruppen nach DIN V 18550
Mörtel mit Luftkalk (CL)	Putzmörtel mit Luftkalk (Kalkhydrat) als Hauptbindemittel	CS I	Denkmalpflege	P I
Mörtel mit hydraulischem Kalk (NHL, HL)	Putzmörtel mit Hauptbindemittel hydraulischer Kalk (NHL; HL)	CS I/CS II	Außenbereich, Denkmalpflege	P I
Kalk-Zementmörtel	Putzmörtel der die Bindemittel Baukalk (Kalkhydrat) und Zement enthält.	CS II/CS III	Außenbereich, Sockelbereich	P II
Zementmörtel	Putzmörtel mit Hauptbindemittel Zement	CS III/CS IV	Außenbereich (Sockel, Kelleraußenwände)	P III

Tab. 01: Mineralische Putzmörtelgruppen gemäß DIN EN 18550:2014 [68].

Die verschiedenen Arten von mineralischen Putzmörteln für den Außenbereich sind in der Tabelle abgebildet. Angaben zum Bindemittel, Druckfestigkeit sowie Anwendungsmöglichkeiten sind normiert vgl. Tab. 01 [68]. Putze mit organischen Bindemitteln haben keine Spezifikation aufgrund ihrer Druckfestigkeit. [68]

Gesteinskörnungen

Die verwendeten Gesteinskörnungen müssen mit nachgewiesener Eignung den Regelwerken EN 13055 und EN13139 entsprechen [69]. Die zur Anwendung kommenden Gesteine unterscheiden sich maßgeblich aufgrund ihrer morphologischen Zusammensetzung und geogenen unterschiedlichen Strukturen in den verschiedenen Regionen und Ländern in der EU.

Mineralische Bindemittel

Für die mineralischen Bindemittel werden häufig verwendet:

- Normalzement (EN 197-1)
- Baukalk (EN459-1)
- Hydraulischer Kalk (EN 459-1)
- Putz- und Mauerbinder (EN 413-1) [69]

Organische Bindemittel

Für die organischen Bindemittel werden häufig verwendet:

- Dispersions-Silikat
- Dispersions Kunstharz
- Silikonharzemulsion
- Polymerdispersion [68]

Zusatzmittel

Die Zusatzmittel oder auch Additive können die Werkstoffeigenschaften entscheidend beeinflussen. Z.B. können Zusatzmittel eine bessere Maschinengängigkeit, bessere händische Verarbeitbarkeit oder auch bessere wasserabweisende Eigenschaften herstellen. Die Zugabe liegt im Ermessen des Herstellers, soll jedoch keine schädigenden Einflüsse hervorbringen und die Dauerhaftigkeit verändern [69], [70].

Hierbei kommen Additive zum Einsatz die verbesserte Eigenschaften der Putze hervorheben sollen. Zusätzlich ergibt es jedoch auch den Effekt, dass verschiedene andere Bindemittel substituiert werden können, bzw. deren teuren Einsatz reduziert werden, kann um Herstellungskosten einzusparen [69], [70].

Zum Beispiel gemäß DIN EN 934:

- Stabilisierer
- Luftporenbildner
- Erstarrungsbeschleuniger
- Erhärtungsbeschleuniger
- Verzögerer
- Dichtungsmittel
- Viskositätsmodifizierer
- Desinfektionsmittel (Biozide)
- Armierungsfaser [69]

Diese Additive bewirken z.B. eine schneller Erhärtung und höhere Druckfestigkeit. Eine geringere Wasseraufnahme oder Einsatzgebiete durch Substitution z.B. Kalkersetzung. Zur Verminderung des Schwindverhaltens, verbesserte Verarbeitungseigenschaften ohne mehr Wasserzugabe [70], [71].

Bei historischen Putzen wurden oftmals zu den Bindemitteln und Zuschlägen auch Zusatzmittel verwendet. So wurde z.B. mit der Zugabe von Tierhaaren die Elastizität zum Zweck einer Verhinderung von Rissbildungen eingesetzt [72]. Die Abbindezeit wurde oftmals bei historischen Putzen durch die Zugabe von Zucker, Wein oder Leimwasser beeinflusst [72].

Arten der Oberflächen

Gemäß DIN 18550 werden mögliche Oberflächenstrukturen unterschieden, nicht normiert sind freie Strukturen, hier einige Beispiele:

Für mineralisch gebundene Putze:

- Gefilzt
- Gerieben (Rillenputz, Münchener Rauputz, Scheibenputz)
- Kratzputz
- Modellierputz
- Spritzputz [73]

Nicht normiert sind freie Strukturen des Putzers

Für organisch gebundene Putze:

- Kratzputz
- Reibe- /Rillenstruktur
- Rollstruktur
- Buntsteinputz
- Modellierputz [73]

Nicht normiert sind handwerkliche freie Strukturen des Verputzers.

Für historische Putze werden zum Beispiel nach dem Aussehen folgende Oberflächenstrukturen unterschieden:

- Altdeutscher Putz
- Rillenputz
- Wellenputz
- Steinputz
- Besenspritzputz [74]

Diese Beispiele stellen jedoch nur einen kleinen Auszug der möglichen regional unterschiedlichen historischen Putze dar.

Hier einige beispielhafte Bilder der verschiedenen Oberflächengestaltungsmöglichkeiten:

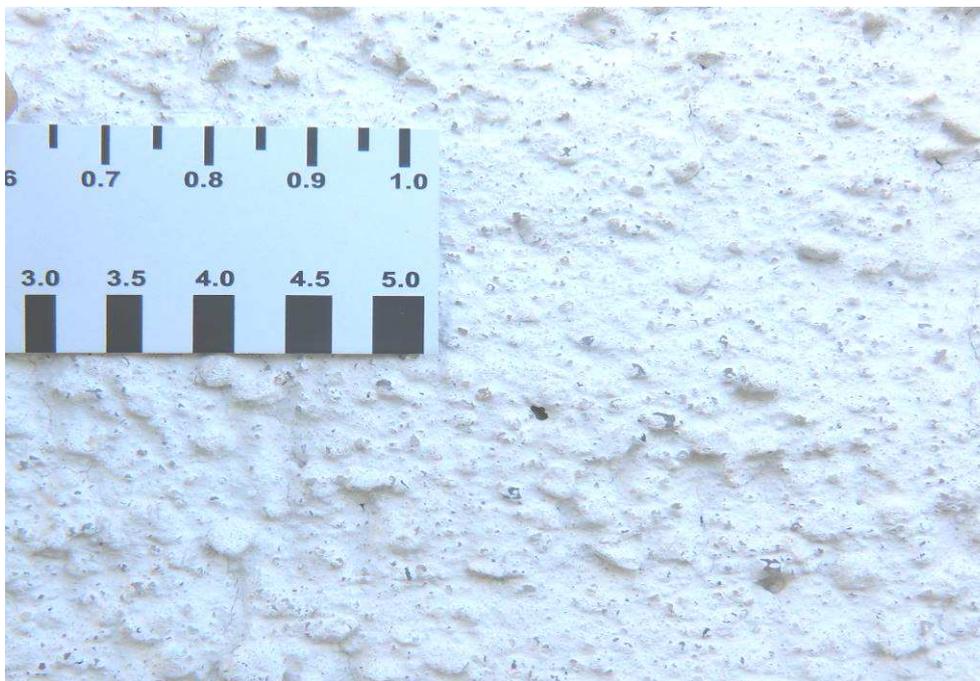


Abb. 21: Öffentliches Gebäude in der Eifel (Scheibenputz).

Putzoberfläche als Scheibenputz mit freier Struktur, hergestellt in den 1990er Jahren, bis heute noch kein Anstrich. Korngröße bis ca. 4mm.



Abb. 22: Wohnhaus in der Eifel (Spritzputz).

Putzoberfläche als Spritzputz mit Marmorkorn hergestellt in 1992 Jahren, erster Anstrich 2013.



Abb. 23: Mehrfamilienwohnhaus in der Eifel (Kratzputz).

Putzoberfläche als Kratzputz mit Marmorkorn hergestellt in 1990er Jahren, noch kein Anstrich.



Abb. 24: Wohnhaus in der Eifel (Strukturputz).

Strukturputz aus den 1970er Jahren im händischen Auftrag, bis zum heutigen Tage noch nicht mit einem Farbanstrich versehen. Körnung bis ca. 6mm, vgl. 1 Cent Stück.



Abb. 25: Wohnhaus in der Eifel (Rillenputz).

Putzoberfläche als Rillenputz mit Quarzkorn hergestellt in 1960er Jahren, Oberfläche mit Farbanstrich versehen.

Organische und mineralische Fassadenputze

Viele mineralische Putze für Fassaden sind lange nicht mehr nur aus mineralischen Bestandteilen zusammengesetzt. Vielmehr werden Hilfsstoffe, Kunstharzdispersionen und Additive gezielt eingesetzt [75].

So werden z.B. seit den 50er Jahren bis heute Silikone und Silizium für den Einsatz von Hydrophobierungsmitteln auf und in Baustoffen eingesetzt. Charakteristisch ist die Hydrophobie (wasserabweisende Wirkung) [75].

Ausgangsstoff für die Herstellung ist Sand SiO_2 , durch Reduktion im Elektroofen wird Silizium gewonnen [76].

2.2. Planungsansätze für das Fassadendesign ohne Biozide und Gifte

Diese Arbeit befasst sich in erster Linie mit der Materialauswahl der Fassadenoberputze. Der Zusammenhang zwischen der Masse und einer Auskühlzeit sowie einer eventuell erforderlichen Farbbeschichtung wird hier nicht näher betrachtet. Jedoch können die in der Arbeit beschriebenen Messmethoden auch auf andere Oberputze oder Farbbeschichtungen angewendet werden.

Für eine möglichst biozidfreie Fassade aus Putz sind grundsätzliche Randbedingungen zu beachten.

Diese sind unter anderem:

- Lage
- Umgebung
- Ausrichtung
- Gestaltung und Konstruktion
- Oberflächenauskuhlung
- Material- oder Werkstoffauswahl [22]

Entscheidungsgrundlage für eine Werkstoffauswahl aus der Sicht des Verfassers kann sein:

- Benetzungswinkel
- Wasseraufnahmevermögen
- Tauwassermenge an der Oberfläche
- Anteile an Kunststoffen bei Putzen

Aus eigener Erfahrung sollte Grundsätzlich kein Verzicht auf Probeflächen und Voruntersuchungen erfolgen. Im Sanierungsfall sollte im Vorfeld jeder Planung eine Bauwerksdiagnostik erstellt werden. Die Bauwerksdiagnostik hat folgende Ziele zu erfüllen: die Ursachenanalytik, Beratungen zu Instandsetzung bzw. Instandhaltung, Effizienznachweis, Qualitätssicherung sowie prophylaktische Bauwerkserhaltungsmaßnahmen. Die Abb. 26 stellt die einzelnen Schritte einer Bauwerksdiagnose dar. Ersichtlich ist hierbei, dass es sich um einen geschlossenen Kreislauf handelt. Durch eine gezielte Bauwerksdiagnostik soll der Zeitablauf zwischen dem Instandsetzungsziel und dem Instandsetzungsbedarf einer

Bestandsimmobilie möglichst lange sein vgl. Abb. 26. Die Bauwerksdiagnostik ist in folgende Schritte gegliedert:

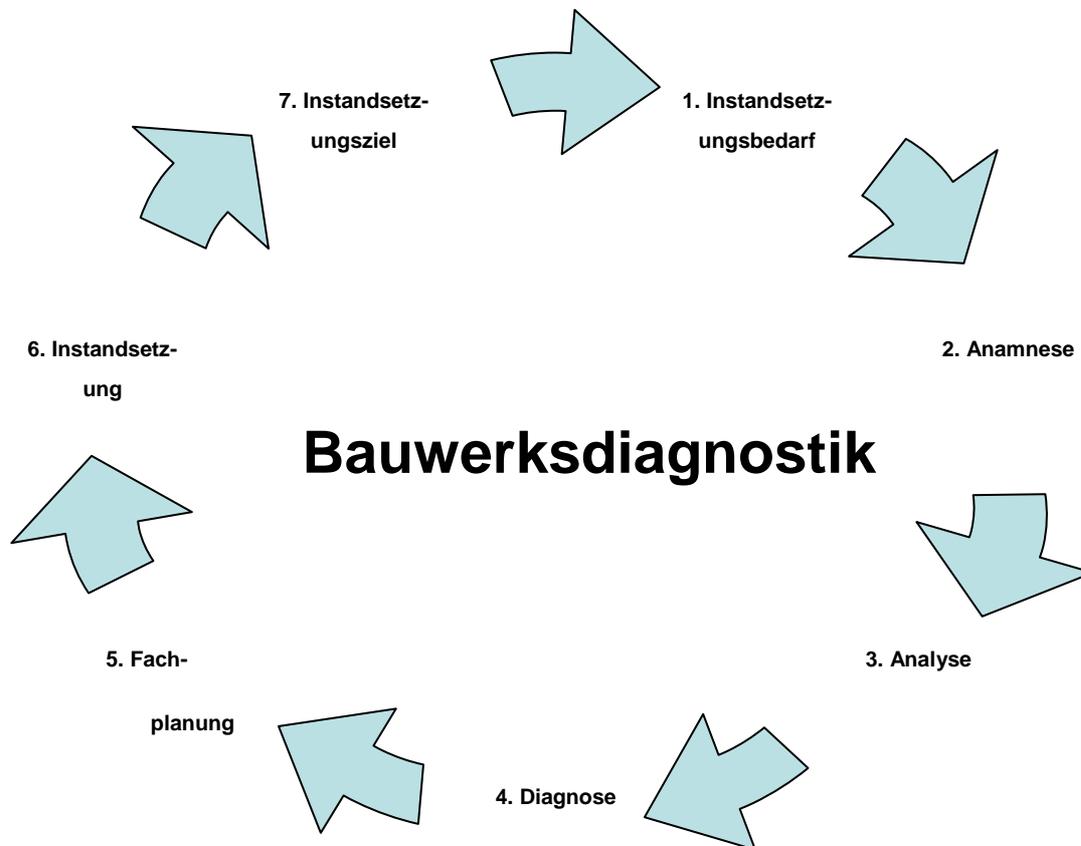


Abb. 26: Schritte der Bauwerksdiagnostik. [77]

3. Beschreibung des Versuchsablaufs

3.1. Die Probekörper

Es wurden für die Versuchsreihe mineralisch gebundene Oberputze (M) und für die Versuchsreihe organisch (kunstharz) gebundene Oberputze (O) jeweils 6 verschiedene Produktproben mit 3 Probekörper für die verschiedenen Analysen angefertigt. Insgesamt entstand ein Probenpool von 36 Oberputzproben.

Die Werk trockenputze bzw. Bindemittel und Zuschläge für die Eigenmischung wurde direkt beim Baustoffhandel als Sackware in 2016 eingekauft und hergestellt. Die Zuschlagsgröße war für das Größtkorn 2mm. Die Oberfläche wurde wie ein Scheibenputz strukturiert. Aufgrund eigener Erfahrungen beim privatem Hausbau kann ich jedoch bestätigen, dass selbst von ein und demselben Hersteller, bei einer Charge es schon einmal zu optischen Materialunterschieden bei Sackware kommen kann. Ebenso können die Baustoffhersteller inzwischen die Rezepturen geändert haben, ohne grundlegende normierte Eigenschaften verändert zu haben. Defakto stellen die als Beispiel verwendeten Oberputze nur ein grundlegendes Beispiel dar. Aus diesem Grund werden Produktnamen und Hersteller nicht genannt.

Die Probekörper haben eine Durchmesser von ca. 100mm*10mm. Die Oberputze wurden in eine Schalung aus PVC Rohr eingebracht.



Abb. 27: Probekörper für den Versuchsablauf.

Von den 6 verschiedenen mineralisch- und organisch gebundenen Putzen wurden jeweils 3 Proben aus Sackware bei den mineralischen Oberputzen sowie als Eimerware bei den organischen Oberputzen. Die Probe M3 wurde nach einer Baustellenmischung selber angemischt. Der Wasseraufnahmekoeffizient wurde beispielsweise mit allen 36 Proben durchgeführt, in Anlehnung an die EN ISO 15148. Bei der Benetzungswinkelmessung wurde von jedem Produkt jeweils die Probenreihe 1 des Probenpool verwendet. Nähere Informationen befinden sich Kap. 3.3. des Probenablaufplans.

3.2. Die Fassadenoberputze

Die Herstellung der mineralischen Probekörper wurde mit fünf handelsüblichen Werk trocken Oberputzen durchgeführt, die beim Baustoffhandel eingekauft wurden. Eine Probe wurde nicht als Werk trockenputz sondern als Baustellenmischung hergestellt als historisches Beispiel. Die organisch gebundenen Oberputze wurden als Eimerware beim Baustoffhandel eingekauft. Die einzelnen Produkte werden in den folgenden Kap. 3.2. näher beschrieben. Die Beschreibung bezieht sich auf Angaben der Hersteller. Die Hersteller und Produkte sind nur beispielhaft und werden in dieser Arbeit nicht veröffentlicht.

3.2.1. Mineralischer Oberputz M1

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Oberputz für mineralische Baustoffe. Scheibenputz mit Marmorkorn.

„Mineralischer Edelputz zur Herstellung einer brillantweißen Putzoberfläche mit Korn-an-Korn Struktur“ [78]

3.2.2. Mineralischer Oberputz M2

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Oberputz für mineralische Baustoffe. Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.

„Mineralischer Edelputz zur Herstellung einer dekorativen Putzoberfläche mit Korn-an-Korn Struktur“ [79]

3.2.3. Mineralischer Oberputz M3

Oberputz für mineralische Baustoffe.

Mineralischer Oberputz, nach Baustellenrezeptur vor Ort hergestellt.

Die Rezeptur wurde nach Vorgabe aus 2 Teil Kalkhydrat, 1 Teil Zement und 8 Teilen Sand hergestellt [80].

3.2.4. Mineralischer Oberputz M4

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Oberputz für mineralische Baustoffe, Scheibenputz mit Jura Korn.

„Mineralischer Edelputz zur Herstellung einer Putzoberfläche mit Korn-an-Korn Struktur“ [81].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.

3.2.5. Mineralischer Oberputz M5

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand September 2013):

Scheibenputz mit Marmorkorn, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Mineralischer Edelputz zur Herstellung einer Putzoberfläche mit Korn-an-Korn Struktur“ [82].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.

3.2.6. Mineralischer Oberputz M6

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand September 2013):

Scheibenputz-Rillenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Mineralischer Edelputz zur Herstellung einer dekorativen Gestaltung von Fassade und Innenwänden auf mineralischen Unterputzen“ [83].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.

3.2.7. Organischer Oberputz O1

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Silikat- Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Silikat-Oberputz zur Herstellung einer dekorativen Korn-an-Korn Struktur“ [84].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

3.2.8. Organischer Oberputz O2

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Siloxan- Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Siloxan-Oberputz zur Herstellung einer dekorativen Korn-an-Korn Struktur“ [85].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

3.2.9. Organischer Oberputz O3

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Silikonharz-Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Siloxan-Oberputz zur Herstellung einer dekorativen Korn-an-Korn Struktur“ [86].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

3.2.10. Organischer Oberputz O4

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand Juli 2016):

Silikonharzverstärkter-Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Silikonharz verstärkter verarbeitungsfertiger organisch gebundener Strukturputz zur Herstellung einer freien oder Scheibenputz struktur“ [87].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

3.2.11. Organischer Oberputz O5

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand März 2016):

Silikat- Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.



„Silikat, kaliwasserglas gebundener Oberputz zur Herstellung dekorativer Beschichtungen von Wand und Decke“ [88].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

3.2.12. Organischer Oberputz O6

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand März 2016):

Siloxan- Scheibenputz, Oberputz für mineralische Baustoffe.

„Silikat, kaliwasserklasgebundener Oberputz zur Herstellung dekorativer Beschichtungen von Wand und Decke“ [89].

Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen.

Besonderer Hinweis: Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

Technische Daten lt. Hersteller im Anhang im Kapitel 6.

3.3. Versuchsablaufplan

Um einen wissenschaftlichen Versuchsablauf planen zu können, ist es nötig einen Probeplan mit den notwendigen Versuchen zu erstellen. Somit kann recht schnell ermittelt werden, wie viele Probekörper anzufertigen sind. Die folgende Tabelle zeigt die einzelnen Versuche und die dazu gehörigen Materialien

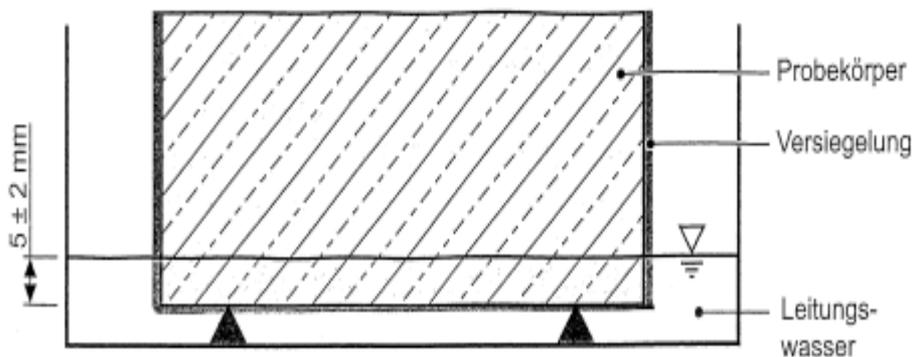
Lfd. Nr.	Probe Nr.	Material	Durchmesser [mm]	Stärke [mm]	Fläche [mm ²]	Bindemittel	Korngröße [mm]	w-Wert	Tauwassermenge	Benetzungswinkel	Materialanalyse	Laserscannmikroskop
1	M 1.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
2	M 1.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
3	M 1.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
4	M 2.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
5	M 2.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
6	M 2.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
7	M 3.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
8	M 3.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
9	M 3.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
10	M 4.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
11	M 4.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
12	M 4.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
13	M 5.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
14	M 5.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
15	M 5.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
16	M 6.1	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X	X	X	
17	M 6.2	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X		X	
18	M 6.3	Scheibenputz	100	10	1000	M	2	X	X			X
19	O 1.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
20	O 1.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
21	O 1.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X
22	O 2.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
23	O 2.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
24	O 2.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X
25	O 3.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
26	O 3.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
27	O 3.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X
28	O 4.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
29	O 4.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
30	O 4.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X
31	O 5.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
32	O 5.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
33	O 5.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X
34	O 6.1	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X	X	X	
35	O 6.2	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X		X	
36	O 6.3	Scheibenputz	100	10	1000	O	2	X	X			X

Tab. 02: Versuchsablaufplan, M = mineralischer Oberputz, O = organischer Oberputz

3.4. Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) der Probekörper

Der Wasseraufnahmekoeffizient beschreibt nach EN ISO 15148 das wärme- und feuchtetechnische Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten. Mit dieser Methode kann die Wasseraufnahme aufgrund der Kapillarkräfte bei teilweiser Eintauchung im Wasserbad beurteilt werden. Diese stehen mit den Temperatur- und Feuchtgradienten und den Eigenschaften der jeweiligen Baustoffe in einer komplexen Wechselbeziehung [90].

Die Wasseraufnahme wird durch mehrmalige Wägung des Probekörpers in einer Zeitspanne von 24 Stunden ermittelt [91]. Die Abb. 28 beschreibt die Versuchsanordnung gemäß EN ISO 15148: 2002 näher.



1. Auflage (falls erforderlich), 2. Probekörper und 3. Wasserspiegel

Abb. 28: Prüfanordnung der Proben nach EN ISO 15148: 2002. [91]

Der Wasseraufnahmekoeffizient ist entscheidend, um Aussagen wie das Wassereindringverhalten in den Baustoff zu bestimmen. Durch ein hohes Wassereindringvermögen lässt sich z. B. eine Aussage bei Baustoffen bezüglich des Mindestsaugvermögens treffen [91].

Es müssen mindestens 8 Wägungen in 24 Stunden durchgeführt werden, bis das kapillare Saugen sich allmählich dem Sättigungspunkt annähert [91]. Die Wägungen wurden mit der Laborwaage Kern 572 ausgeführt.

		Definition:
$w = \frac{W}{\sqrt{t}}$	W	= Wasseraufnahme kg/m^2
$\text{kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$	t	= Zeit h
	w	= Wasseraufnahmekoeffizient $\text{kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

Abb. 29: Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) nach EN ISO 15148 [92]

Es wurden von allen Proben M1 bis O6 und Reihe 1 bis Reihe 3 der w-Wert bestimmt und anschließend das arithmetische Mittel aus 36 Wasseraufnahmekoeffizienten gebildet. Die Ergebnisse daraus sind in der Tabelle 3 dargestellt.



Abb. 30: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten, hier Probe M4.

Die Kenngröße des Wasseraufnahmekoeffizienten bildet die kapillare Saugfähigkeit von Baustoffen ab. Man unterscheidet hierbei:

stark saugend: $w > 2,0 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

wasserhemmend: $0,5 \leq w \leq 2,0 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

wasserabweisend: $w 0,001 \leq 0,5 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$

wasserdicht: $w \leq 0,001 \text{ kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$ [93]

Es wurden bei den Probekörpern folgende arithmetische Mittel aus den Wasseraufnahmekoeffizienten ermittelt:

Probe	w-Wert
Nummer	$\text{kg/m}^2 \text{h}^{0,5}$
M1	9,73
M2	6,56
M3	12,49
M4	5,66
M5	1,52
M6	15,92
O1	4,89
O2	1,89
O3	1,57
O4	1,87
O5	3,70
O6	0,93

Tab. 03: w-Wert der Versuche, arithmetische Mittel aus Probe M1.1 bis O6.3.

Deutlich zu erkennen durch die farbige Hinterlegung, die mineralische Oberputzproben liegen bis auf die Probe M5 alle im Bereich stark saugend $w > 2,0\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Auffällig der recht große Unterschied der Probe M5 mit nur $1,52\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ zu den übrigen Proben der mineralischen Oberputzen wie z.B. der Probe M3 (eigene Mischung) mit $12,49\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ oder der Probe M6 mit $15,92\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Bei den organisch gebundenen Oberputzen liegen bis auf die Probe O1 und O5 alle im Bereich wasserhemmend $w \leq 2,0\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Auffällig der recht große Unterschied der Probe O1 und O5 mit $4,89\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ bzw. $3,70\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$, die im Bereich stark saugend liegen.

Hier einige Beispiele zum Saugverhalten der Proben in Abhängigkeit der Zeit, zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten.

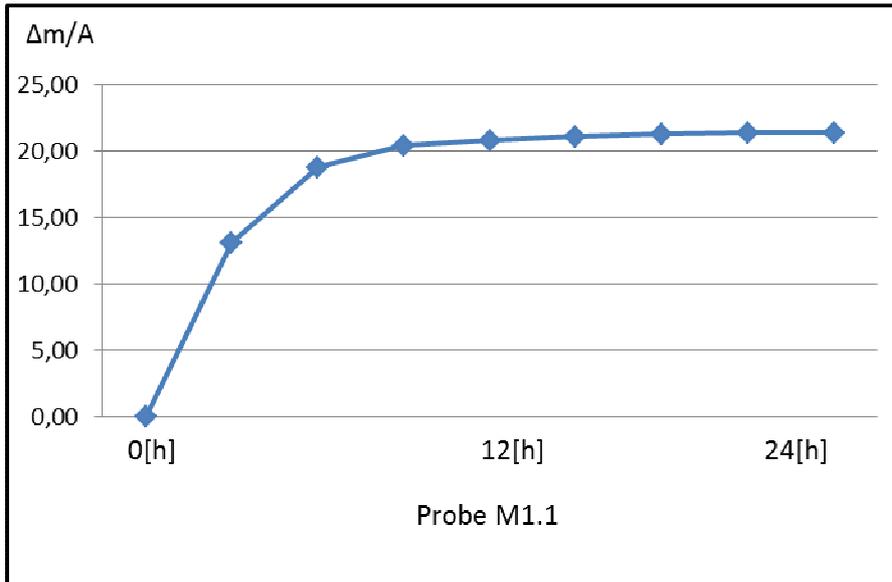


Abb. 31: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M1.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens mineralisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe M1.1.

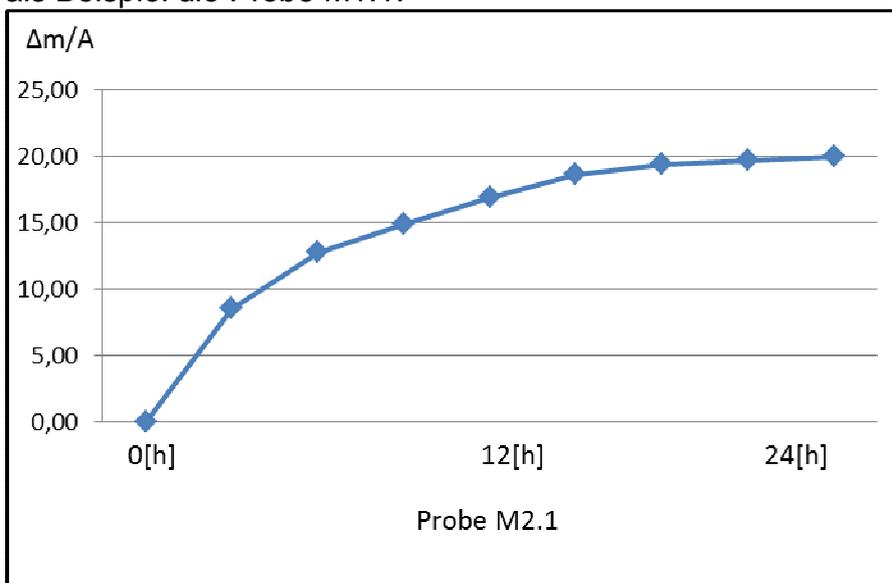


Abb. 32: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M2.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens mineralisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe M2.1.

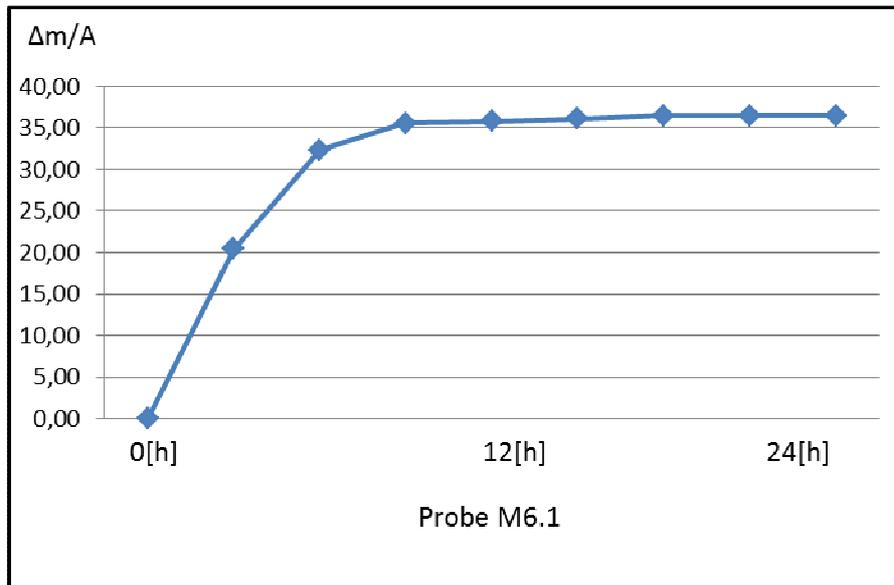


Abb. 33: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M6.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens mineralisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe M6.1.

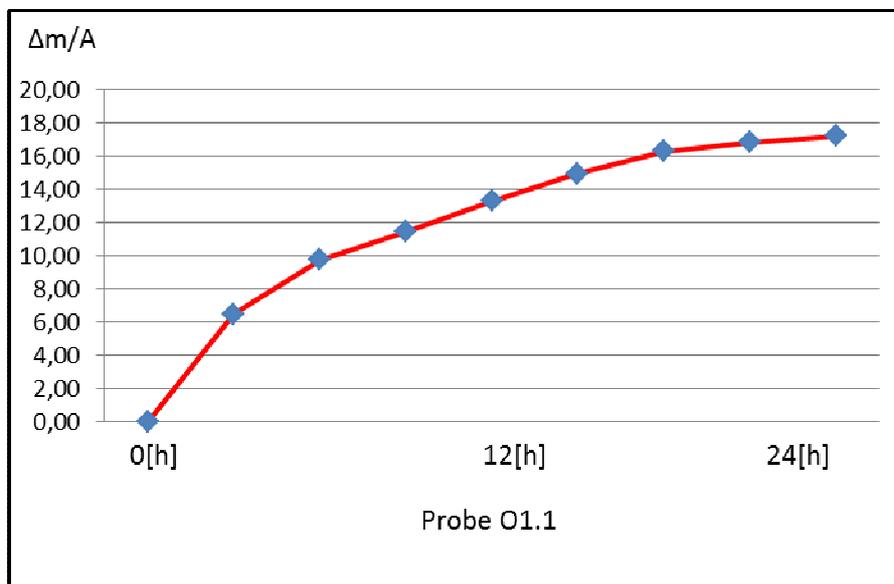


Abb. 34: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O1.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens organisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe O1.1.

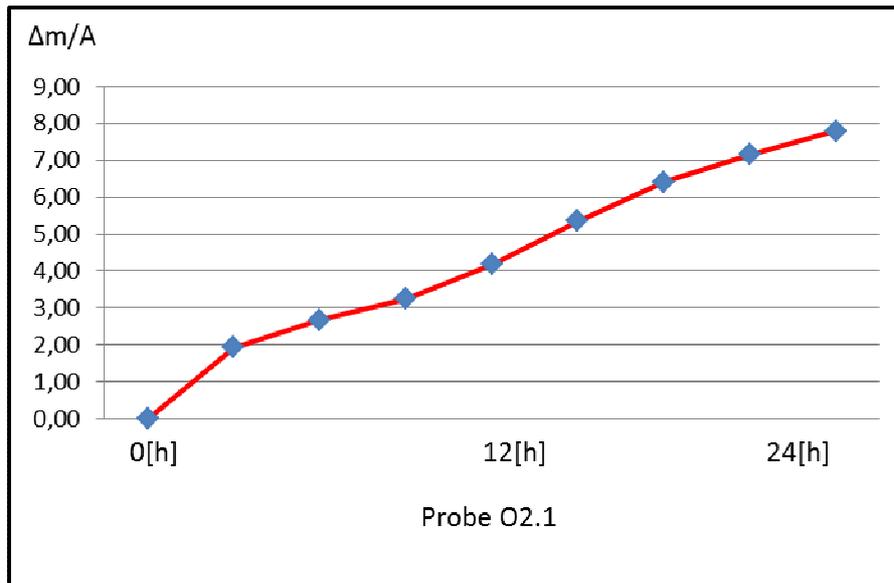


Abb. 35: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O2.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens organisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe O2.1.

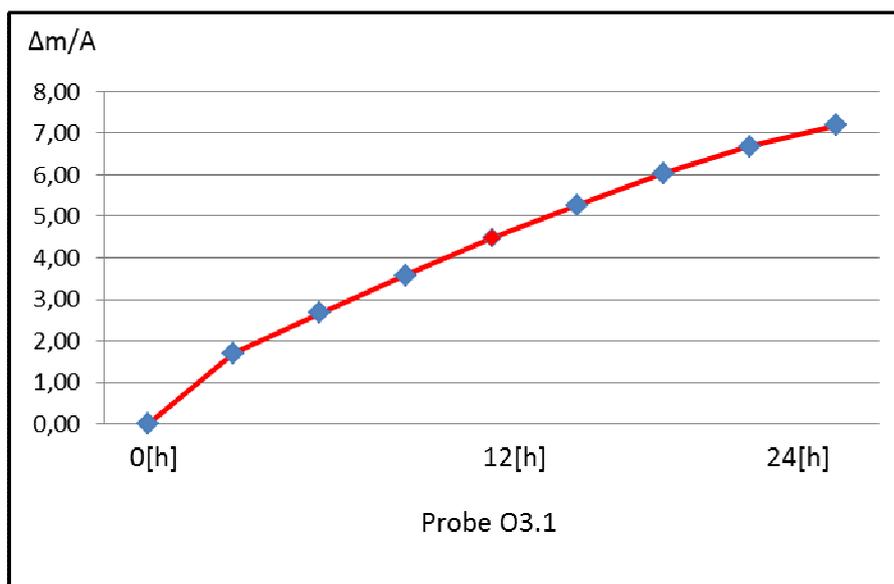


Abb. 36: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O3.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens organisch gebundener Oberputze, hier als Beispiel die Probe O3.1.

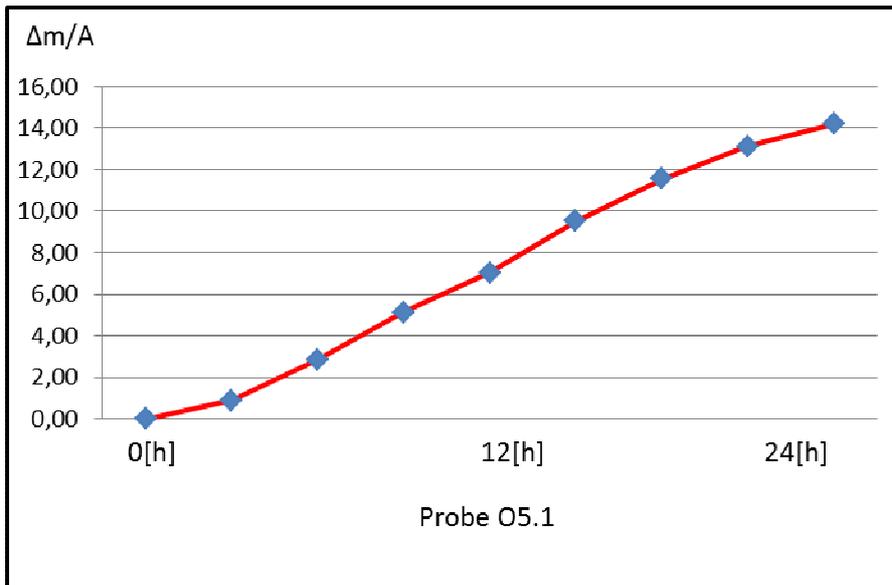


Abb. 37: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe O5.1.

Darstellung des Wasseraufnahmeverhaltens organisch gebundener Oberputze hier als Beispiel die Probe O5.1.

Am Kurvenverlauf der Abbildungen 31 bis 37 ist deutlich zu erkennen, dass die sorptiven (saugenden) Eigenschaften der Baustoffe völlig unterschiedlich reagieren. Bei den mineralischen Proben beginnt ein starker Saugeffekt gleich zu Beginn und flacht dann nach ca. 12h ab vgl. Abb. 31 bis 33. Bei den organischen Proben ist ein leichter Saugeffekt fast über den gesamten Messzyklus kaum festzustellen vgl. Abb. 34 bis 37. Die Diagramme in Abb. 38 bis 40 zeigen Beispiele für die Wasseraufnahme, in den einzelnen Perioden, welche zur Ermittlung des Wasseraufnahmekoeffizienten führen. Insgesamt wurden 9 Wägungen in 24 Stunden durchgeführt.

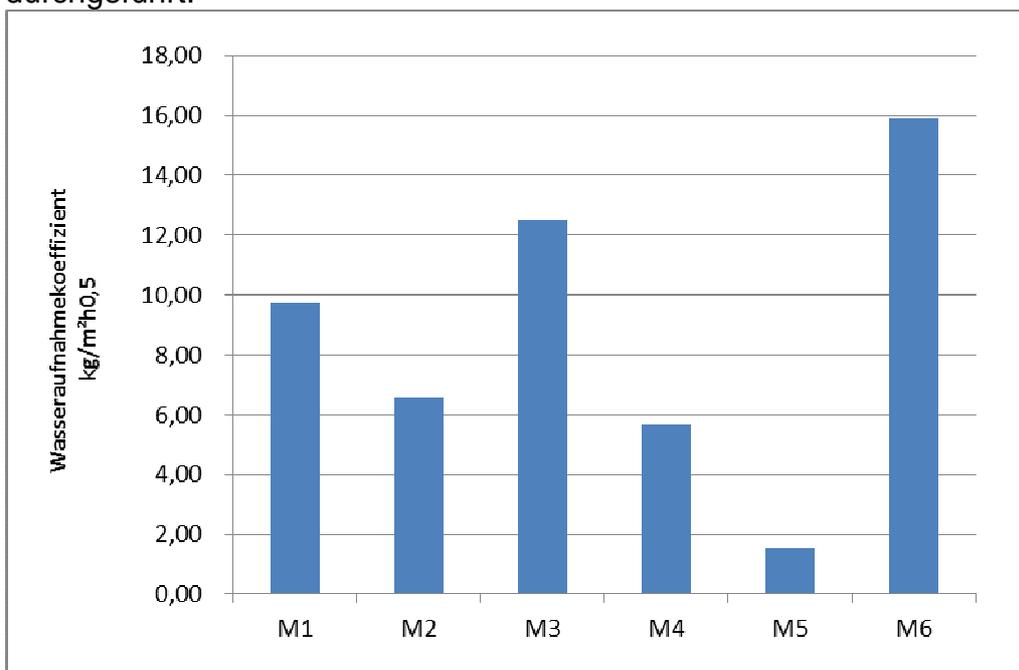


Abb. 38: Arithmetisches Mittel der Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Proben M1 bis M6.

Aus den Proben M1 bis M6 wurde das arithmetische Mittel des Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Reihe 1 bis 3, hier blau dargestellt ermittelt. D.h. aus insgesamt 18 Proben wurde das arithmetische Mittel berechnet. Deutlich zu erkennen, dass die mineralisch gebundenen Oberputze M1 bis M4 und M6 einen Wasseraufnahmekoeffizient von $w > 2\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ haben. Diese gelten als stark saugend [93].

Eine Ausnahme stellt die Probe M5 dar, diese weist einen Wasseraufnahmekoeffizienten von $w 0,5 \leq w \leq 2,0\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ auf. Diese besitzt wasserhemmende Eigenschaften [93]. Die Ursache für diesen recht niedrigen w -Wert wird in dem Kapitel der Materialanalyse näher betrachtet.

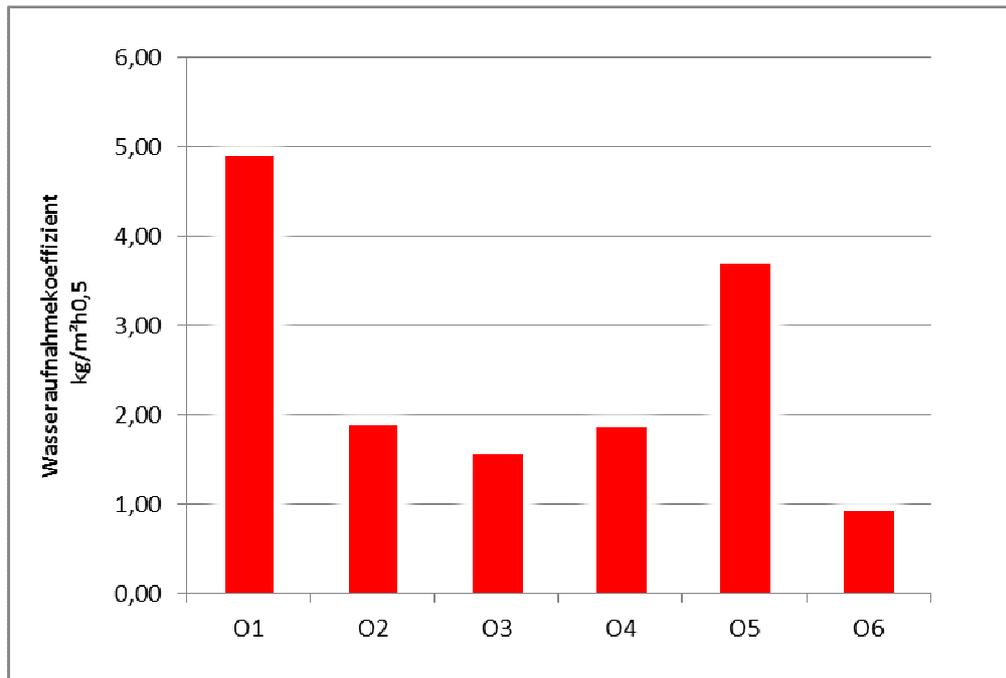


Abb. 39: Arithmetisches Mittel der Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Proben O1 bis O6.

Aus den Proben O1 bis O6 wurde das arithmetische Mittel des Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Reihe 1 bis 3, hier rot dargestellt ermittelt. D.h. aus insgesamt 18 Proben wurde das arithmetische Mittel berechnet. Deutlich zu erkennen, dass die organisch gebundenen Oberputze O2, O3 und O4 wasserhemmende Eigenschaften mit $w 0,5 \leq w \leq 2,0\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ aufweisen [93]. Die Proben O1 und O5 haben einen Wasseraufnahmekoeffizient von $w > 2\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$. Diese gelten als stark saugend [93].

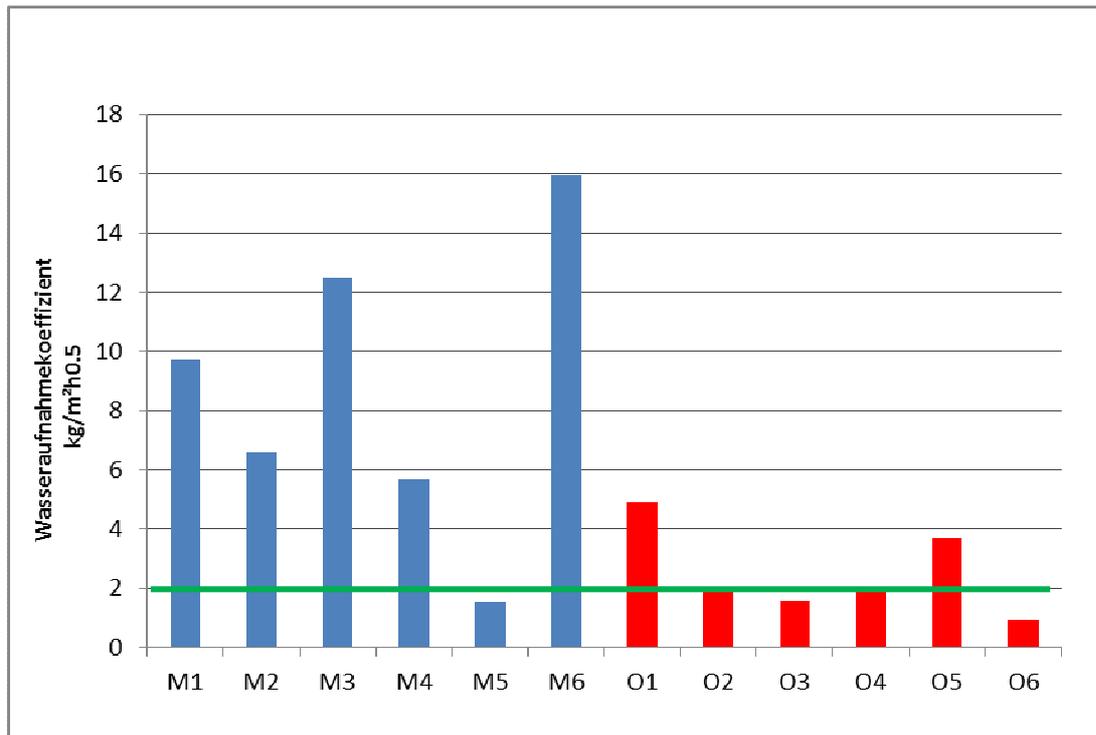


Abb. 40: Gegenüberstellung des Wasseraufnahmekoeffizient in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0.5}$ der Proben M1 bis O6.

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass mineralisch gebundene Oberputze ein stärkeres Saugvermögen gegenüber Tauwasser besitzen als die organisch gebundenen Oberputze. Dies wird nochmals in den Abbildungen 38 bis 40 verdeutlicht.

Die vollständigen Untersuchungsergebnisse und Diagramme befinden sich in Kapitel 6 im Anhang.

3.5. Messung der Tauwassermenge

Als Tauwasser oder auch Kondenswasser bezeichnet man den freien Wasserdampf, der sich an kühlen Oberflächen von Gegenständen niederschlägt [94]. Sobald die wasserdampfhaltige Luft dort unter den Taupunkt abgekühlt wird, erfolgt der Übergang von dem gasförmigen in den flüssigen Aggregatzustand von Wasser [94]. Eine Tauwasserbildung auf der angrenzenden Bauteiloberfläche findet filmbildend statt [94].

Lufttemperatur in °C	Taupunkt in °C bei einer relativen Luftfeuchte von										
	45 %	50 %	55 %	60 %	65 %	70 %	75 %	80 %	85 %	90 %	95 %
2	-7,70	-6,56	-5,43	-4,40	-3,16	-2,48	-1,77	-0,98	-0,26	0,47	1,20
4	-6,11	-4,88	-3,69	-2,61	-1,79	-0,88	-0,09	0,78	1,62	2,44	3,20
6	-4,49	-3,07	-2,10	-1,05	-0,08	0,85	1,86	2,72	3,62	4,48	5,38
8	-2,69	-1,61	-0,44	0,67	1,80	2,83	3,82	4,77	5,66	6,48	7,32
10	-1,26	0,02	1,31	2,53	3,74	4,79	5,82	6,79	7,65	8,45	9,31
12	0,35	1,84	3,19	4,46	5,63	6,74	7,75	8,69	9,60	10,48	11,33
14	2,2	3,76	5,10	6,40	7,58	8,67	9,70	10,71	11,64	12,55	13,36
15	3,12	4,65	6,07	7,36	8,52	9,63	10,70	11,69	12,62	13,52	14,42
16	4,07	5,59	6,98	8,29	9,47	10,61	11,68	12,66	13,63	14,58	15,54
17	5,00	6,48	7,62	9,18	10,39	11,48	12,54	13,57	14,50	15,36	16,19
18	5,90	7,43	8,83	10,12	11,33	12,44	13,48	14,56	15,41	16,31	17,25
19	6,80	8,33	9,75	11,09	12,26	13,37	14,49	15,47	16,4	17,37	18,22
20	7,73	9,30	10,72	12,00	13,22	14,40	15,48	16,46	17,44	18,36	19,18
21	8,60	10,22	11,59	12,92	14,21	15,36	16,40	17,44	18,41	19,27	20,19
22	9,54	11,16	12,52	13,89	15,19	16,27	17,41	18,42	19,39	20,28	21,22
23	10,44	12,02	13,47	14,87	16,04	17,29	18,37	19,37	20,37	21,34	22,23
24	11,34	12,93	14,44	15,73	17,06	18,21	19,22	20,33	21,37	22,32	23,18
25	12,20	13,83	15,37	16,69	17,99	19,11	20,24	21,35	22,27	23,30	24,22

Tab. 04: Darstellung des Taupunkts in Abhängigkeit der Temperatur und rel. Luftfeuchte [95].

In der Tabelle ist beispielhaft dargestellt, dass bereits der Taupunkt bei 16,46°C erreicht wird. Bei einer Lufttemperatur von 20,00°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 80% [95]. D.h. ab 16,46°C auf einer Bauteiloberfläche ändert sich der Aggregatzustand des Wasserdampfs in flüssiges Wasser. Kondens- oder Tauwasser bildet sich.

$$t_t = \frac{1}{\varphi^{8,02}} * (109,8 + t) - 109,8 \quad [96]$$

- t = Taupunkttemperatur (°C)
- p_{sat} = Sättigungsdampfdruck (Pa)
- t_t = Taupunkttemperatur (°C)
- φ = Relative Luftfeuchtigkeit (-)
- t = Lufttemperatur (°C)

(°C)	w (g/m³)	(°C)	w (g/m³)	(°C)	w (g/m³)	(°C)
-20	0,900	-2	4,140	16	13,650	34
-19	0,990	-1	4,475	17	14,500	35
-18	1,080	0	4,840	18	15,400	36
-17	1,180	1	5,205	19	16,300	37
-16	1,290	2	5,590	20	17,300	38
-15	1,405	3	5,985	21	18,350	39
-14	1,530	4	6,395	22	19,400	40
-13	1,670	5	6,825	23	20,550	41
-12	1,820	6	7,280	24	21,800	42

Tab. 05: Tabellarische Darstellung des Wasserdampfgehalts in der Luft in Abhängigkeit der Lufttemperatur [97].

In der Tabelle ist beispielhaft dargestellt, dass bei einer Lufttemperatur von 20,00°C ein Wasserdampfgehalt von 17,30g/m³ in der Luft vorhanden ist [97].

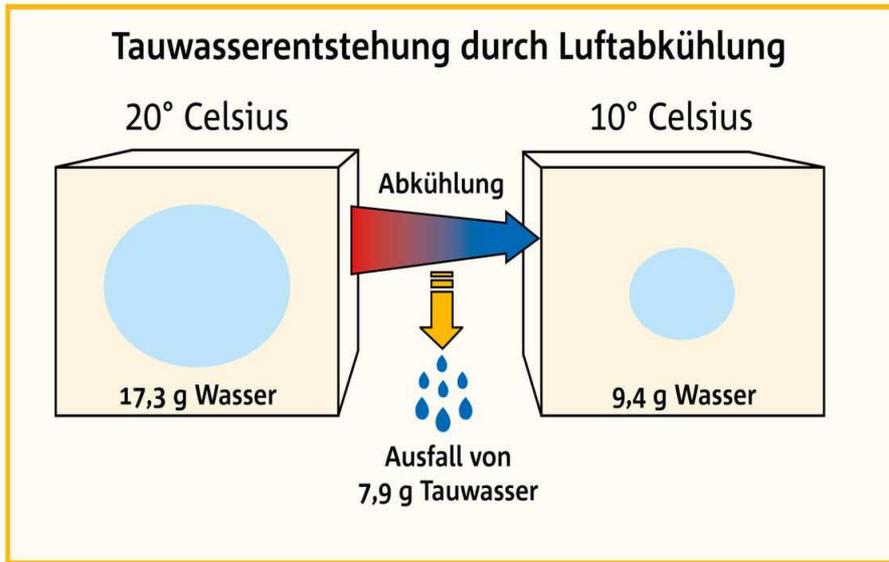


Abb. 41: Darstellung der Tauwasserentstehung durch die Abkühlung der Lufttemperatur [98].

Im Abb. 41 zu erkennen, dass zum Beispiel die 10°C warme Luft nur noch 9,4g Wasser pro m³ Luft aufnehmen kann. Die überschüssigen 7,9g/m³ Luft, fallen als Kondens- oder Tauwasser aus.



Abb. 42: Tauwasserausfall auf einer Glasscheibe im Sommer 2018.

Tauwasserbildung morgens um 6:18 Uhr. Gemessene Temperatur tagsüber ca 24°C, Nachts ca. 8°C, relative Luftfeuchtigkeit 80%.

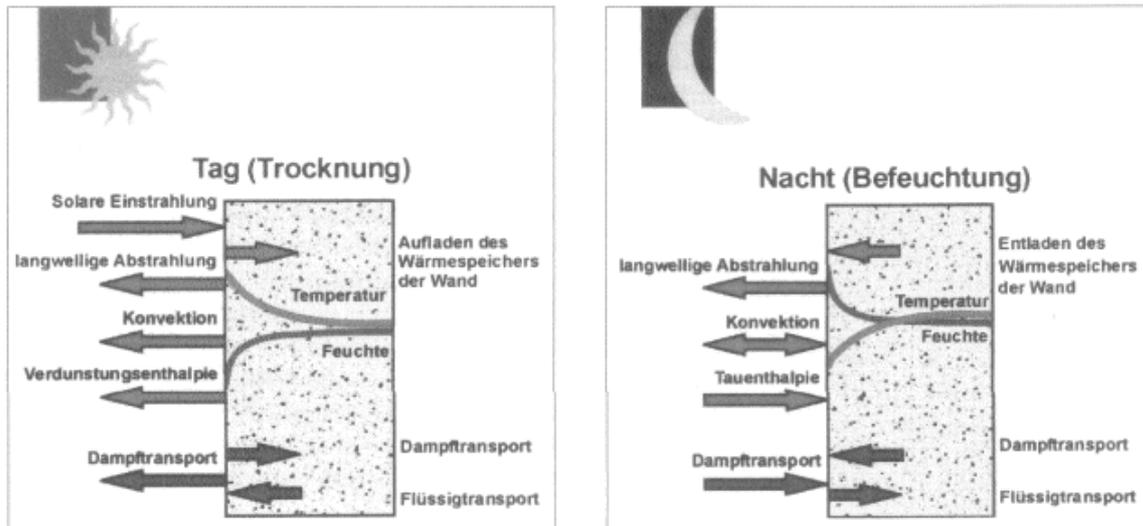


Abb. 43: Schematische Darstellung einer gedämmten Außenwand (Tags links), (Nachts rechts) [99].

In der Nacht sinken die Oberflächentemperaturen auf der Fassade. Sinkt die Temperatur unter den Taupunkt, kommt es zur Befeuchtung durch Tauwasserausfall an der Bauteilgrenzzone [99]. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass die tatsächliche Tauwassermenge immer von einem Mikroklima abhängig ist. Allgemeingültige überregionale Karten wie z.B. die Niederschlagsmenge und Regenbelastung wie in DIN 4108 vgl. Abb. 13 ist somit kaum möglich.

3.5.1 Messung der Tauwassermenge mit der Laborwaage

Eine gute statische Messmethode stellt die Betauung der Probekörper im Labor dar. Die statische Messung erfolgt mittels Saugvlies und Wägung mit einer Laborwaage, hier Kern 572. Die Proben werden hierbei abgetupft mit dem Vlies und durch die Differenzwägung des Vlieses lässt sich die Menge bestimmen vgl. Abb. 44. Eine weitere Möglichkeit stellt ein Testverlauf über einen standardisierten Testzyklus von 2 Stunden dar mit einem künstlichen Verdampfer. Die Proben werden hierbei vorgekühlt auf 10°C und 2 Stunden einem Wassernebel ausgesetzt. Die Messergebnisse sind sehr brauchbar und jederzeit wieder zu rekonstruieren. Feldversuche erweisen sich eher schwierig, da nie die gleichen Bedingungen von Ort zu Ort eingestellt werden können. Zudem sind die Test im Zeitraffer möglich ohne einen bestimmten Zeitpunkt abwarten zu müssen.



Abb. 44: Versuchsaufbau zur Tauwassermessung mit einem Dampferzeuger und anschließende Wägung.

Dampferzeuger mit verschiedenen Oberputzproben in einer Box. Abgebildet die Versuchsbox, ca. 30*30*30cm sowie der Verdampfer mit einer Leistung von ca 300ml/h, gemessene rel. Luftfeuchte zw. 93% und 97%, Trotec T3000 in Verbindung mit Sonde TS 210 SDI. In Abb. 44 (links) die Wägung des Vlieses vor und nach der Tauwassermessung. Die Wägung findet durch abtupfen der Probenoberfläche statt. Dies muss ohne Zugluft erfolgen, ansonsten kann das Messergebnis verfälscht werden, da bereits während der Wägung ein Trocknungsprozess abläuft.

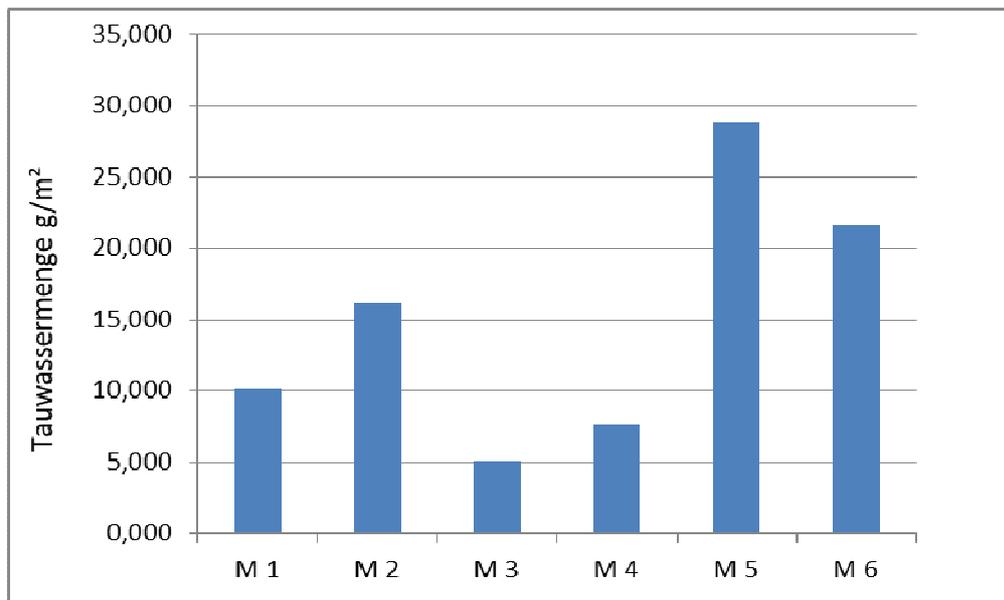


Abb. 45: Arithmetisches Mittel der Tauwassermenge der mineralischen Scheiben- Oberputze M1 bis M6.

Deutlich zu erkennen die relativ niedrige Tauwassermenge in g/m^2 der Proben M1, M3 und M4, unter 10g/m^2 . Recht hoher Tauwasseranfall der Proben M5 und M6, über 20g/m^2 .

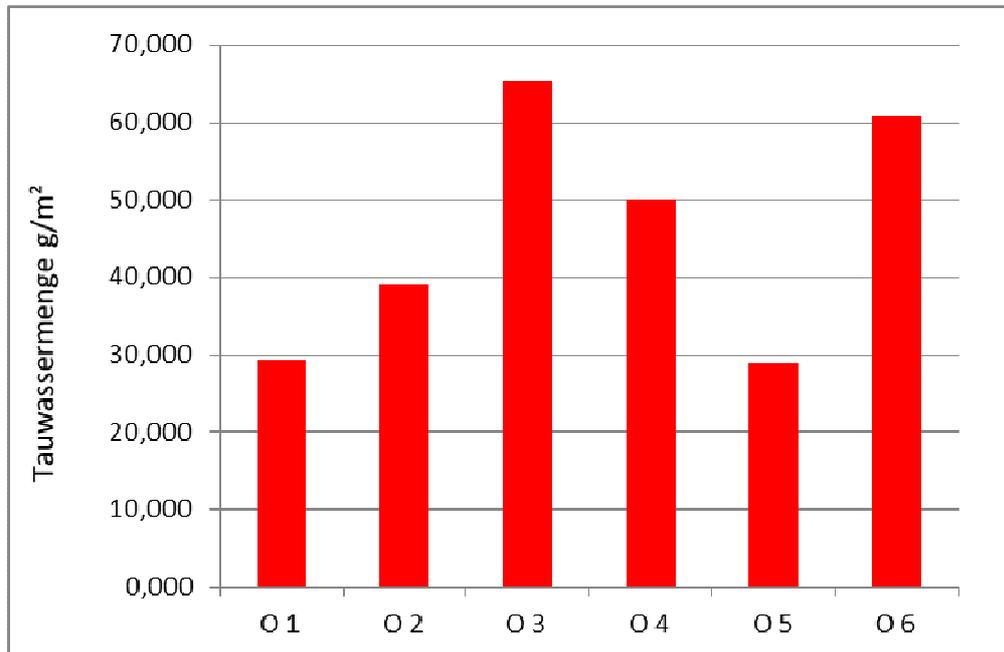


Abb. 46: Arithmetisches Mittel der Tauwassermenge der organischen Scheiben- Oberputze O1 bis O6.

Deutlich zu erkennen die relativ niedrige Tauwassermenge in g/m^2 der Probe O1 und O5, unter 30g/m^2 . Hoher Tauwasseranfall der Proben O3, O4 und O6, mit über 50g/m^2 .

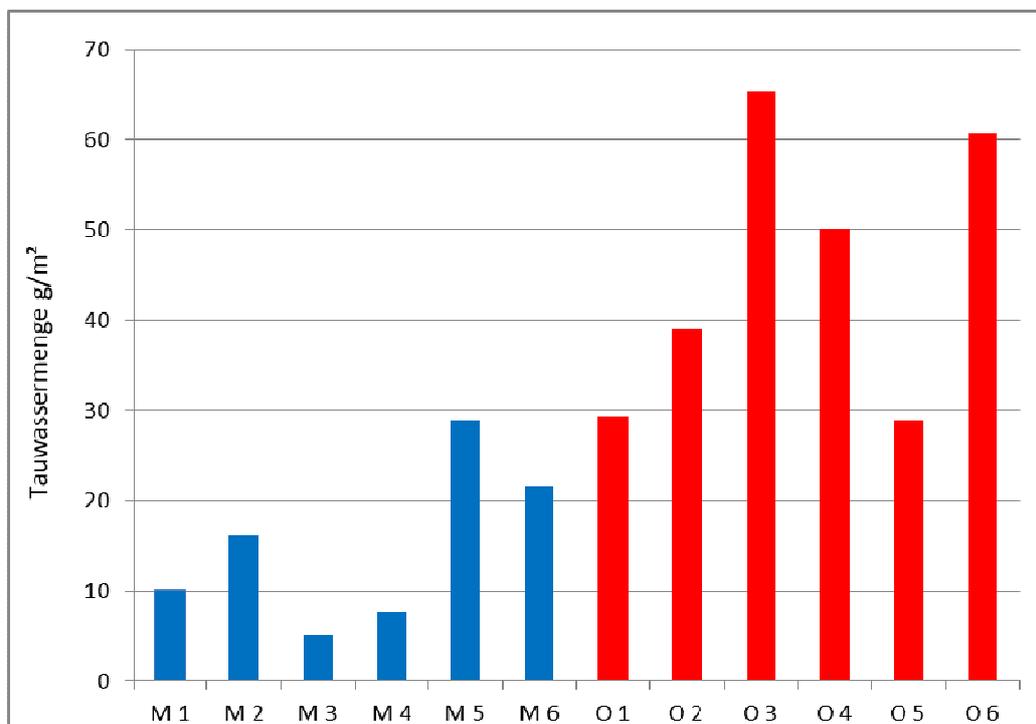


Abb. 47: Gegenüberstellung der Tauwassermenge der Proben (M1 bis M6) und (O1 bis O6).

Im Diagramm ist eine Gegenüberstellung der Tauwassermenge in g/m², der mineralischen (M1 bis M6) und organischen Scheibenoberputze (O1 bis O6) dargestellt. Bei der Gegenüberstellung deutlich zu erkennen die größere Tauwassermasse der organisch gebundenen Scheiben- Oberputze gegenüber den mineralisch gebundenen Oberputzen. Wobei sich Grenzbereiche zwischen mineralischen und organischen Putzen überlagern, vgl. Probe M5 mit O1 und O5 in Abb. 47.

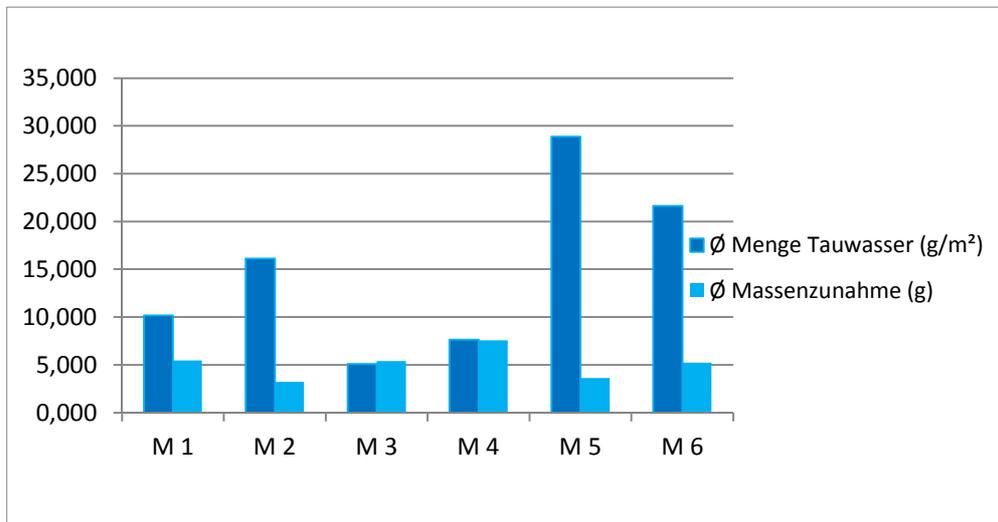


Abb. 48: Tauwassermenge (blau) sowie der Massenzunahme (hellblau) der Proben M1 bis M6.

Im Diagramm dargestellt die Tauwassermenge (blau) sowie die Massenzunahme (hellblau) der mineralisch gebundenen Proben M1 bis M6 während des Betauungszyklus von 2 Stunden. Zu erkennen die unterschiedlichen Materialeigenschaften innerhalb der Materialgruppe. Zu erkennen ein ausbalanciertes Verhältnis zwischen Tauwassermenge und Massenzunahme der Proben M3 und M4.

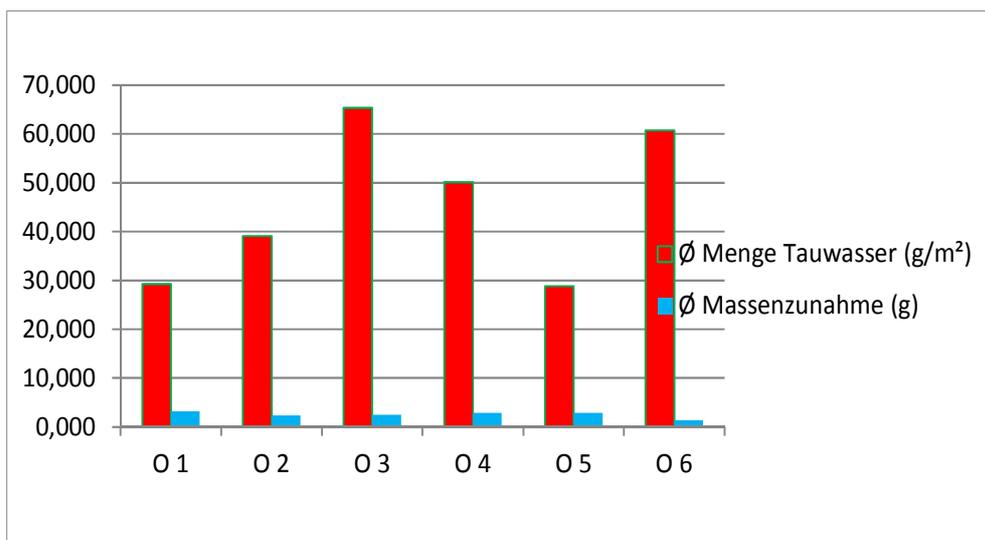


Abb. 49: Tauwassermenge (rot) sowie der Massenzunahme (hell blau) der Proben O1 bis O6.

Im Diagramm darstellt die Tauwassermenge (rot) sowie die Massenzunahme (hell blau) der organisch gebundenen Proben O1 bis O6 während des Betauungszyklus von 2 Stunden. Zu erkennen, die kaum unterschiedliche Massenzunahme innerhalb

der Materialgruppe. Desweiteren zu erkennen eine etwas höhere Massenzunahme der Proben O1 und O5. Dies lässt Rückschlüsse darauf zu, dass hier ein besserer Feuchtetransport ins Baustoffinnere statt findet. Weniger Tauwasser entsteht vgl. Abb. 49.

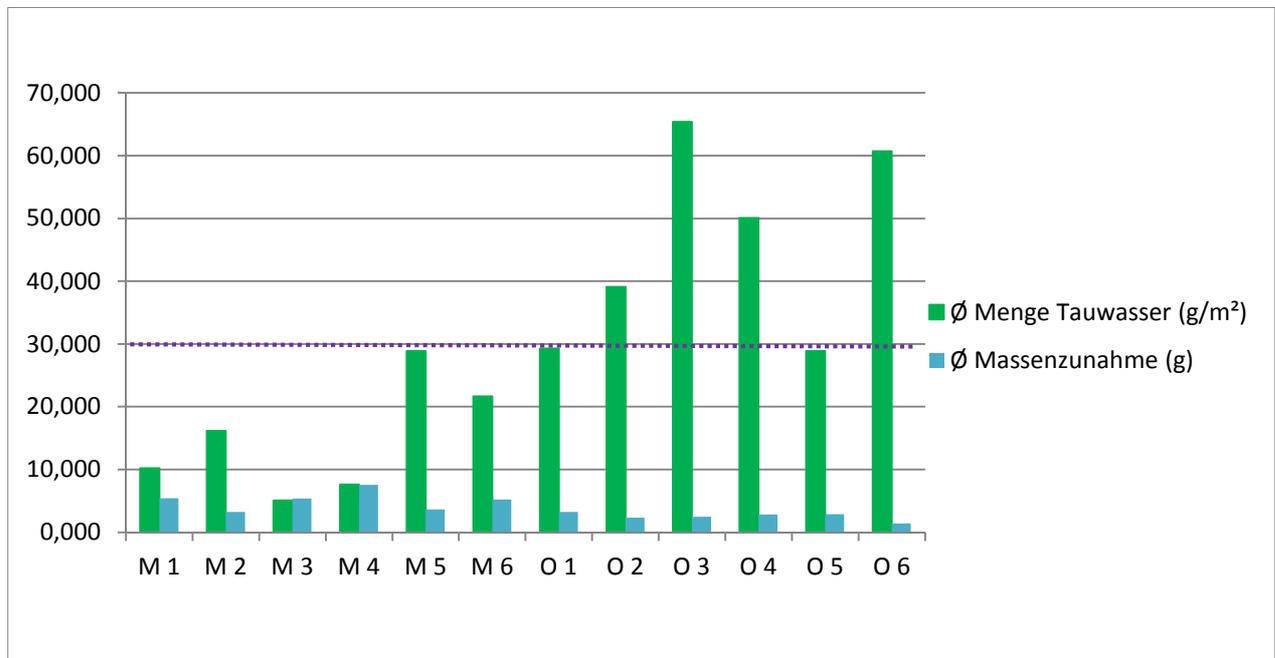


Abb. 50: Tauwassermenge sowie die Massenzunahme der Proben M1 bis O6.

Im Diagramm dargestellt die Tauwassermenge sowie der Massenzunahme der Proben während des Betauungszyklus von 2 Stunden, hier der Vergleich der Proben M1 bis O6.

In Abb. 50 lässt sich der Unterschied von den mineralisch gebundenen Baustoffen zu den organisch gebundenen Proben klar feststellen. Die Tauwassermenge ist größer bei den organisch gebundenen Putzen als bei den mineralisch gebundenen Putzen. Die lila dargestellte Linie ist das arithmetische Mittel der Tauwassermenge von ca. 30g/m² aller Proben.

Der Massenunterschied zu Beginn der Probe bis zum Ende des Betauungszyklus liegt wesentlich niedriger bei den organisch gebundenen als bei den mineralisch gebundenen Putzproben vgl. Abb. 50. Das bedeutet, dass die mineralisch gebundenen Putze mehr Tauwasser in der Messzeit in das Innere des Baustoffgefüges ableiten können. Unterschiede bei den mineralischen Putzen können aufgrund verschiedener Materialien des Bindemittels oder Zusatzmittel erfolgen.

Deutlich zu Erkennen der Zusammenhang zwischen der Wasseraufnahme, Transport der Wassermoleküle in das Innere der Oberputze (mineralische Oberputze) bzw. der Verbleib des Tauwassers auf der Oberfläche (organische Oberputze).

Die Betrachtung der Rücktrocknung spielt bei der Wasseraufnahme eine zusätzliche Rolle. Es ist grundlegend wichtig, dass ein Baustoff soviel Wasser an einem Tag verdunsten kann wie er auch aufnimmt, um eine Durchnässung der Fassade zu verhindern. Der V-Wert nach DIN EN ISO 7783-2 lässt Rückschlüsse auf das Trock-

ungsverhalten zu [100]. Die Einteilung nach Norm erfolgt in drei Klassen, diese gilt jedoch für Farben. Wenn Feuchtigkeit durch Witterungseinflüsse in eine Fassade gelangt, kann der betroffene Bereich umso schneller wieder austrocknen, je diffusionsoffener die oberste Fassadenschicht ist [100]. Dadurch sinkt das Risiko von Bauteilschäden durch anhaltende Bauteilfeuchte [100]. Der V-Wert errechnet sich wie folgt:

$$V = 21/s_d\text{-Wert (bei } 23^\circ\text{C) bei } 13^\circ\text{C} = \frac{1}{2} \text{ bei } 3^\circ\text{C} = \frac{1}{2} \text{ [101]}$$

Seine Einheit ist $\text{g/m}^2 \text{ d}$

Beispiel:

Probe M 4, s_d -Wert von 0,1m

$$\text{D.h. } V = 21/0,1$$

$$V = 210\text{g/m}^2 \text{ d}$$

Dies bedeutet, dass an einem Tag von 23°C , 210g/m^2 verdunsten können. An einem Tag mit 13°C sind es ca. 105g/m^2 und bei 3°C noch ca. 53g/m^2 . Die gemessenen Werte aller mineralischen Proben lagen bei einem Zyklus von 2 Stunden unterhalb dieses Wertes.

3.5.2 Messung der Tauwassermenge per Laserscanmikroskop

Eine weitere Methode stellt die Laserscantechnologie dar.

Die Laserscantechnologie ermöglicht die quantitative Analyse von verschiedenen Merkmalen wie beispielsweise die Oberflächenbeschaffenheit und die Filmdickenmessung von Tauwasser. Das Laserscanmikroskop nutzt zwei Strahlengänge mit zwei Lichtquellen und zwei Detektoren. Die Weißlichtquelle und der CCD Kamera-Chip erzeugen ein hochauflösendes Mikroskopbild als optisches Bild [102]. Dies ist z.B. für die Höhe und Länge von Spitzen und Tälern auf einer Oberfläche notwendig. Gekennzeichnet werden die Höhen und Täler mit unterschiedlichen Farbschwellen in einer Skala vgl. Abb. 52.

Eine dreidimensionale Vermessung in X-, Y- und Z-Achse erfolgt automatisch und wird durch das Bearbeitungsprogramm in einer unterschiedlichen Farbschwelle angezeigt. Durch das Bearbeitungsprogramm kann zusätzlich ein 3D-Modell simuliert und betrachtet werden. Ebenfalls können die Profilkurven verglichen und die Zunahme der durchschnittlichen Höhe im Messpunkt ermittelt werden vgl. beispielsweise Abb. 53 [102].

Ein stetiger Zuwachs bei der Tiefenprofilmessung bildet später den Tauwasserfilm. Es findet eine Füllung der Täler statt. Die einzelnen Tauwassertropfen bilden im Laufe der Messung einen vollständigen Film auf der Oberfläche.

Dieses dynamische Laserscan-Verfahren besitzt folgende Vorteile:

- Es ist zu unterscheiden, ob Tauwasserbelastungen vorhanden sind und an welcher Stelle Tauwasserbelastungen vorliegen

- Es wird eine sehr gute Auflösung in der Z-Achse erreicht und die Erhebung von digitalen Daten erleichtert eine Weiterverarbeitung per Computer.

Dieses dynamische Laserscan- Verfahren besitzt folgende Nachteile:

- Erschütterungsempfindlich
- Temperatur und Luftzugempfindlich
- Messabweichungen durch Oberflächenstruktur möglich



Abb. 51: Versuchsaufbau mit Laserscanmikroskop Keyence VK 9700 und Kühlplatte.

Die Messung erfolgte im 10-Fach Modus. Auf dem Messtisch die Kühlplatte mit Vor- und Rücklauf zum Umlaufkühler. Die Vorlauftemperatur am Kühler ist ca. -2,5 bis -5°C, die relative Luftfeuchte im Labor ca. 65-75% (gemessen mit Trotec T3000 in Verbindung mit Sonde TS 210 SDI), Temperatur im Labor ca. 20-22°C. Weil Tauwasseranalysen im Freifeldversuch zeitlich aufwändig und umständlich sind, ist es sinnvoller, Tauwasseranalysen unter Laborbedingungen durchzuführen. Um den Tauwasserfilm im Labor zu erzeugen, ist eine künstliche Kühlung der Probeträger (z.B. mit einem Umlaufkühler und Kühlplatten) notwendig. Die Kühlplatte wird mit einer Wärmedämmplatte auf den Messtisch des Laserscanmikroskops gelegt. Der Umlaufkühler sorgt für eine Kühlung eines Glycol- Wasser- Gemischs unter den Taupunkt. Durch eine Umwälzpumpe wird das Glycol- Wasser- Gemisch in die Kühlplatte gefördert. Die kühlere Temperatur der Kühlplatte sorgt für einen Temperaturabfall der Probe. Die Oberflächentemperatur fällt unter den Taupunkt, Tauwasser bildet sich. Der Kühlprozess muss mit einem Temperatursensor im Kühler selbst sowie einem externen Oberflächentemperatursensor, Raumluft- und Feuchtigkeitssensor überwacht werden. Damit kein Einfrieren der Probe erfolgen kann. D. h. es ist lediglich ein Herabsenken der Temperatur des Probekörpers bei Normklima von 20°C und 50% relative Luftfeuchte auf unter ca. 12,6°C erforderlich. Das Laserscanning der Probenoberfläche erfolgt periodisch parallel zu den Btauungsvorgängen. Dabei tastet der Laserstrahl die Oberfläche punktuell ab. Der Abtastbereich wird durch eine Referenzmessung kalibriert. Nach dem Beginn der

Kühlung der Probe können die 3D Vermessung in Periodenabständen ausgeführt werden. Die gemessenen Profilkurven werden verglichen und die Zunahme der Höhe im Messpunkt kann ermittelt werden. Die Messungen wurden im Abstand von 10 Minuten für die Versuchsreihen durchgeführt. Als Beispiel dienen zur Veranschaulichung die Bilder 52 bis 80 aus der Messung der Probe M3 und O2. Die einzelnen Tauwassertropfen bilden im Laufe der Messung einen vollständigen Film auf der Oberfläche. Dann ist keine Messung mehr möglich, da das Tauwasser zu fließen beginnt. Somit kann man davon ausgehen, dass sich freies Wasser gebildet hat und der Prozess der Tauwasserbildung abgeschlossen ist. Als Beispiel wird hier der Verlauf des Probezyklus von zwei Proben, einer mineralisch gebundenen und einer organisch gebundenen Putzprobe aufgezeigt sowie der Zuwachs in einem Weg- Zeit- Diagramm. Alle ausführlichen Messergebnisse befinden sich im Anhang in Kapitel 6. Hier ein Beispiel für eine Laserscanmessung beim mineralisch gebundenen Scheiben- Oberputz M5.

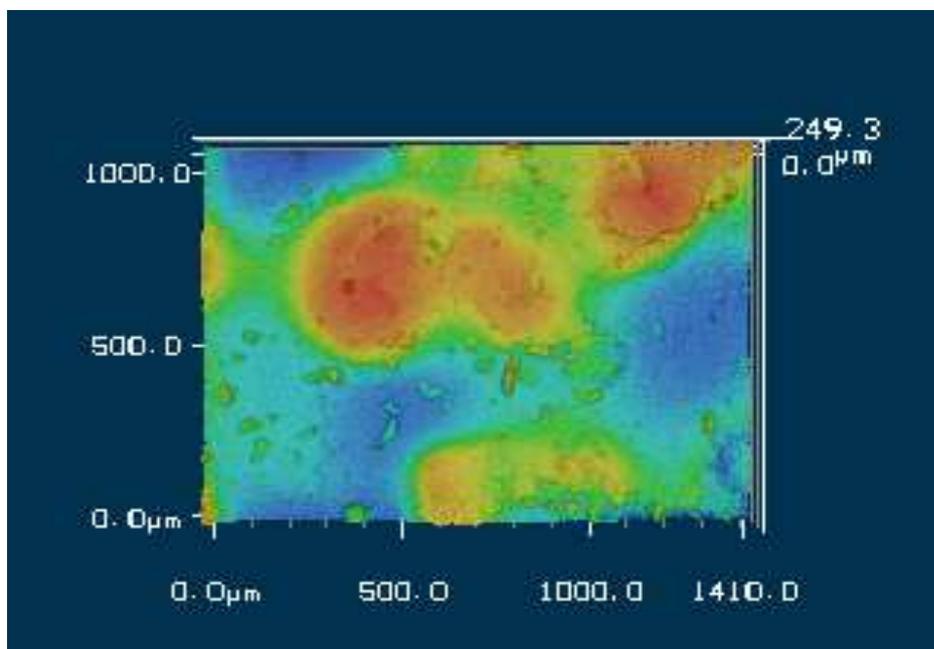


Abb. 52: Messung in 3D vor der Betauung (t = 0min.), Probe M5.

Die Farbgebung der Z-Achse (dunkelblau entspricht tief, rot entspricht hohe Kontur). Damit lassen sich lassen sich hohe und tiefe Konturen visualisieren. Alle Angaben der Höhen in μm .

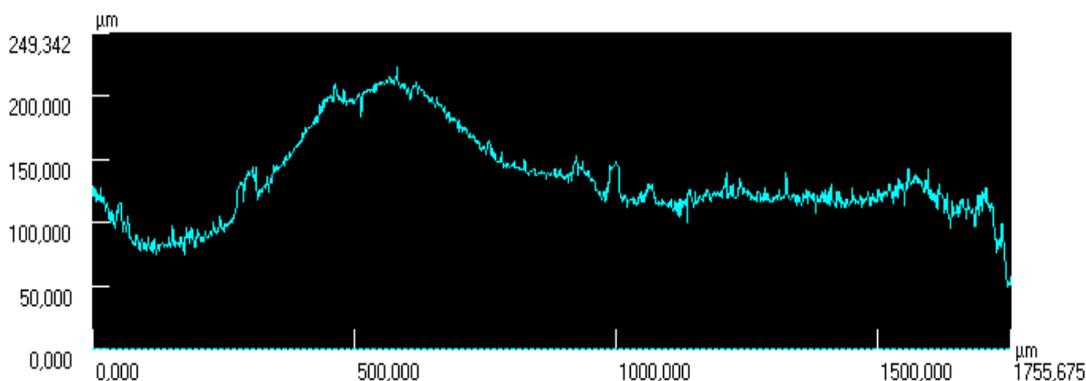


Abb. 53: Rautiefenmessung vor der Betauung (t = 0min.), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. $50\mu\text{m}$, höchster Punkt bei ca. $232\mu\text{m}$, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei $133,725\mu\text{m}$.

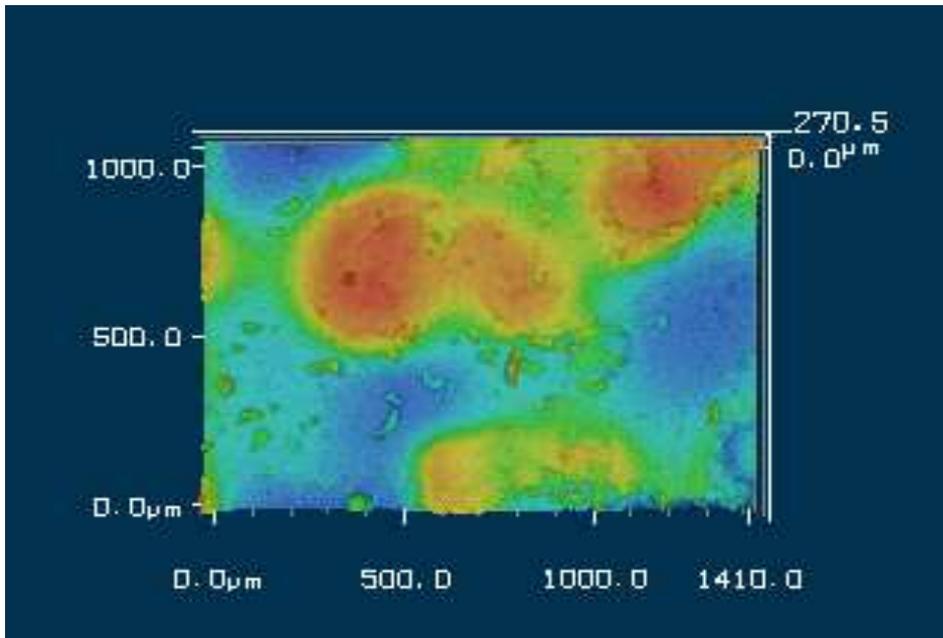


Abb. 54: Messung in 3D während der Betauung ($t = 10\text{min.}$), Probe M5.

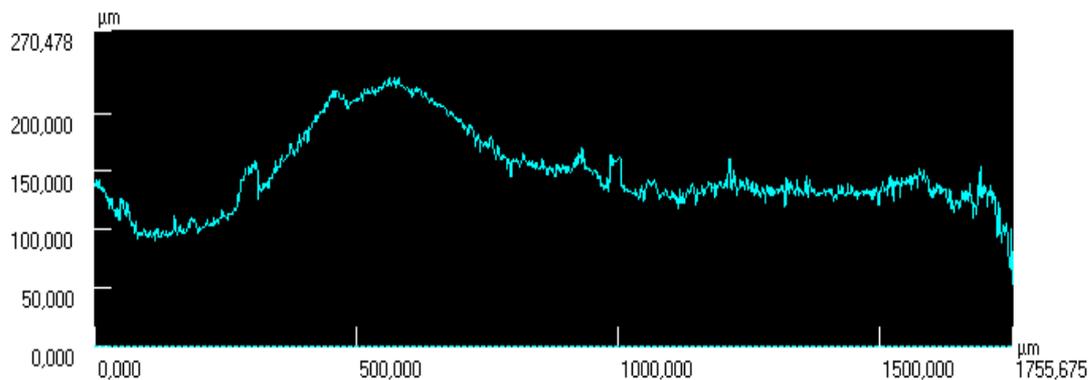


Abb. 55: Rautiefenmessung während der Betauung ($t = 10\text{min.}$), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. $25\mu\text{m}$, höchster Punkt bei ca. $250\mu\text{m}$, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei $148,068\mu\text{m}$.

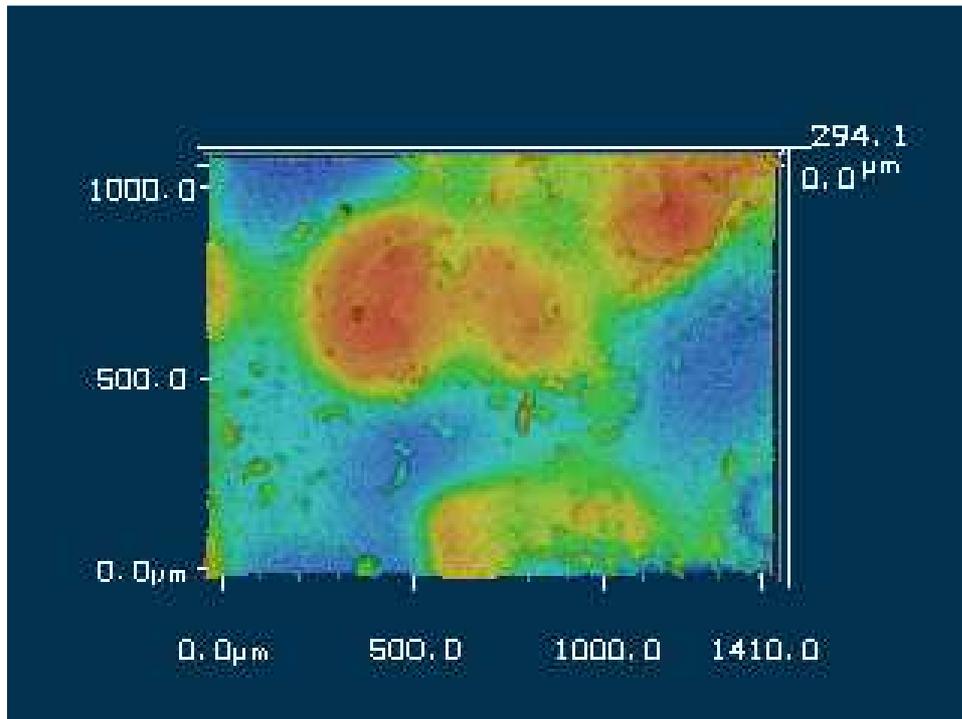


Abb. 56: Messung in 3D während der Betauung (t = 20min.), Probe M5.

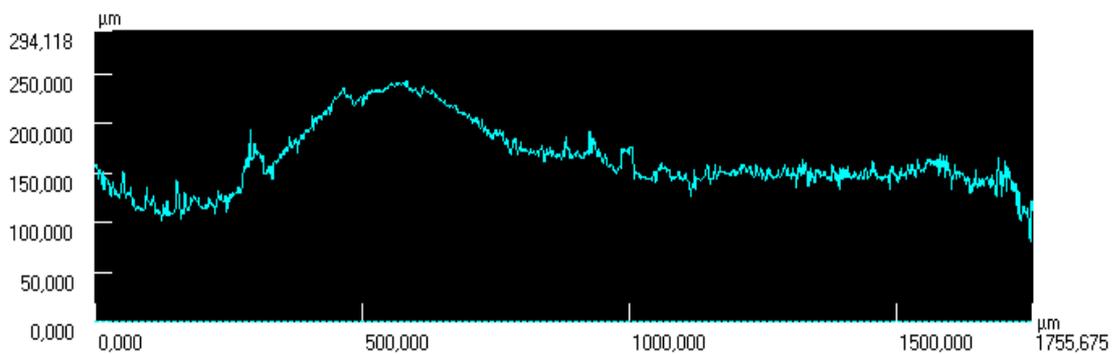


Abb. 57: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 20min.), Probe M5

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 25 μm , höchster Punkt bei ca. 254 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 163,449 μm .

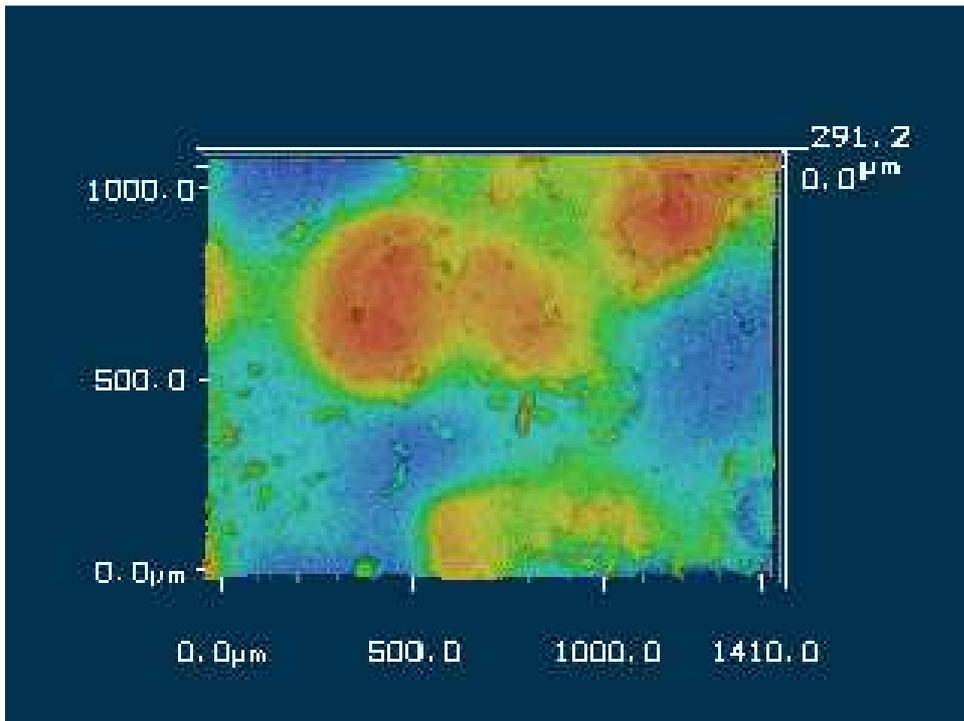


Abb. 58: Messung in 3D während der Betauung (t = 30min.), Probe M5.

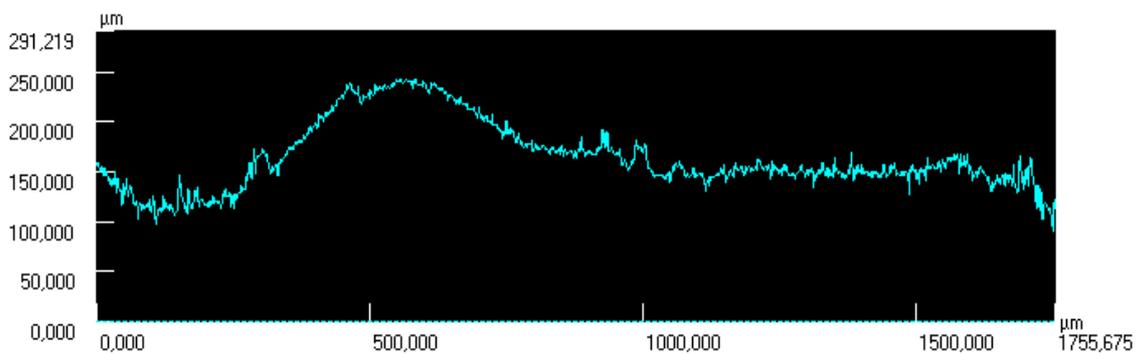


Abb. 59: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 30min.), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z- Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 25 μ m, höchster Punkt bei ca. 250 μ m, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 164,513 μ m.

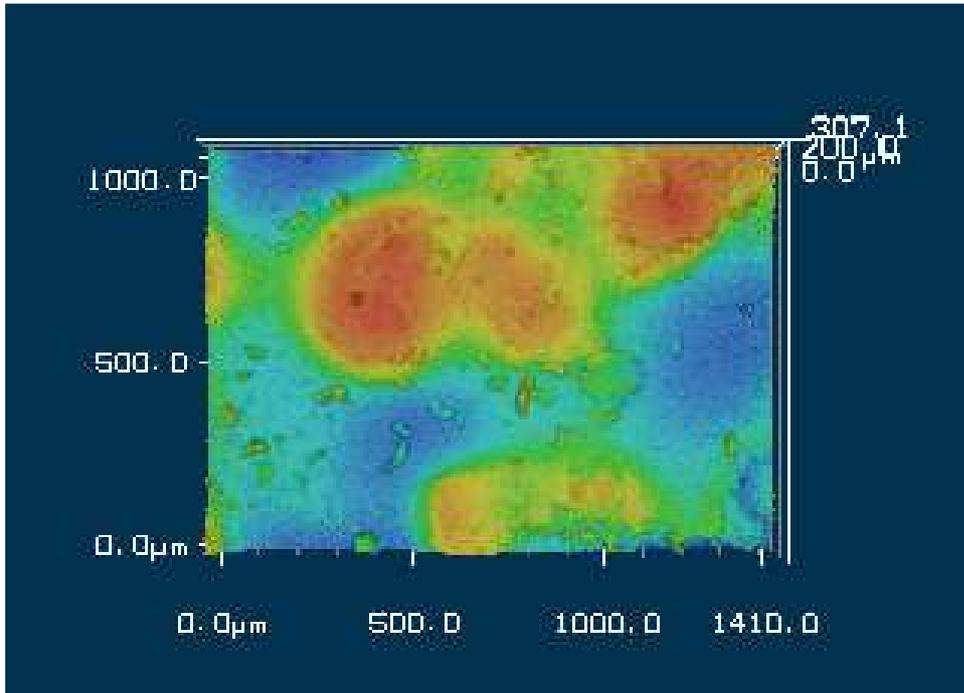


Abb. 60: Messung in 3D während der Betauung (t = 40min.), Probe M5.

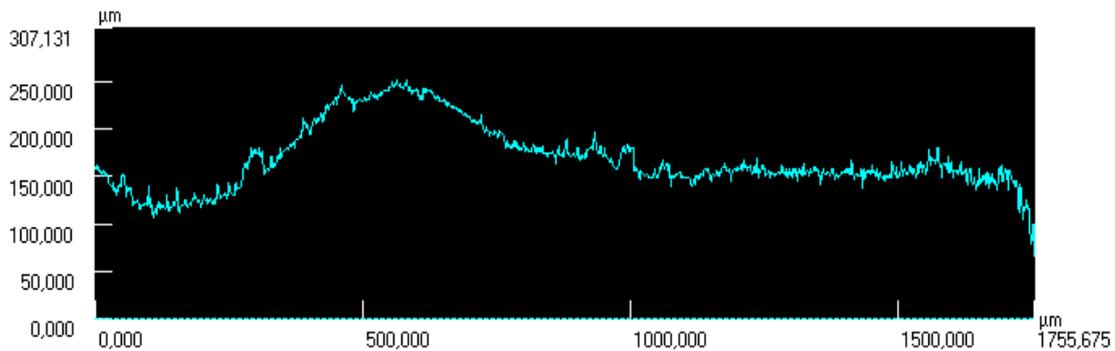


Abb. 61: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 40min.), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z- Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 25 μ m, höchster Punkt bei ca. 250 μ m, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 169,047 μ m.

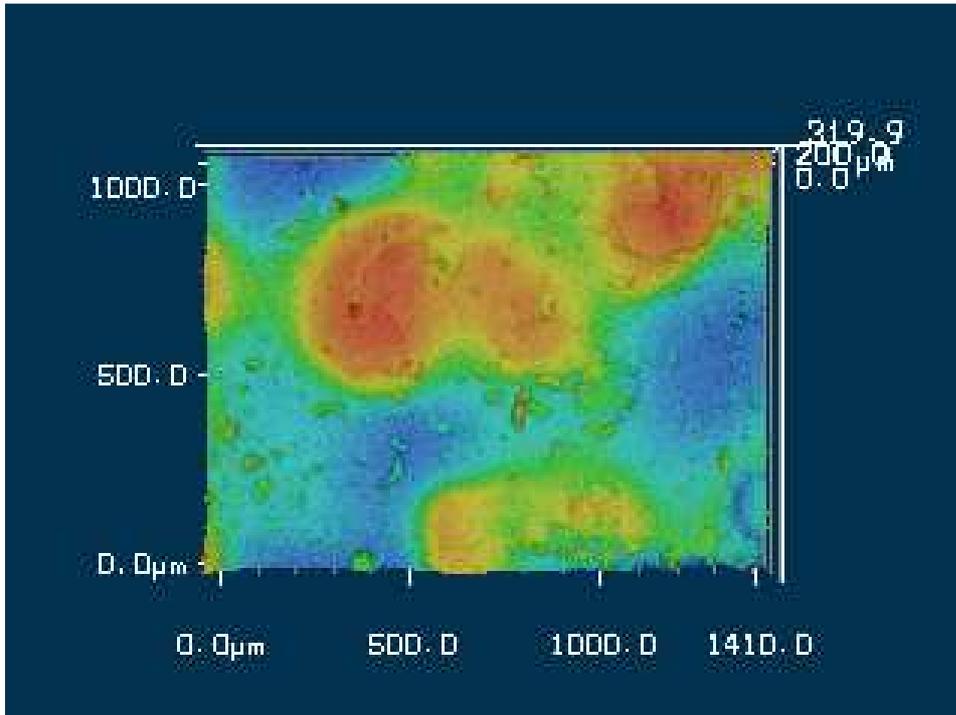


Abb. 62: Messung in 3D während der Betauung (t = 50min.); Probe M5.

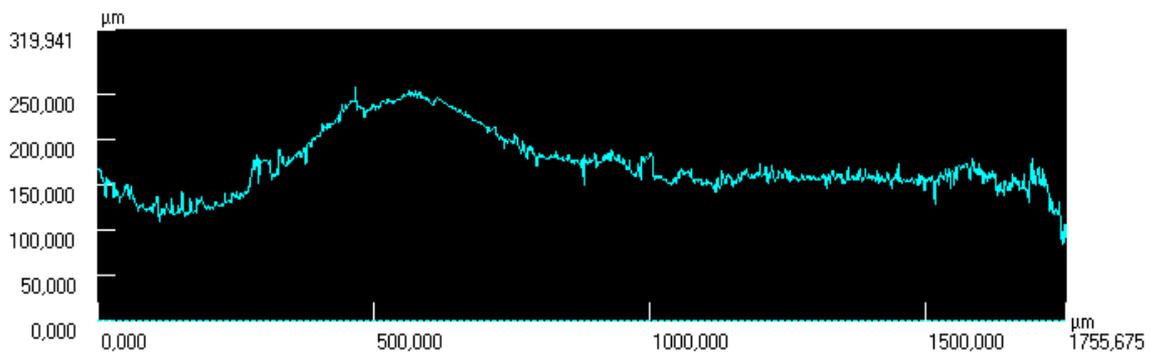


Abb. 63: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 50min.), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 25µm, höchster Punkt bei ca.250µm, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 171,315µm.

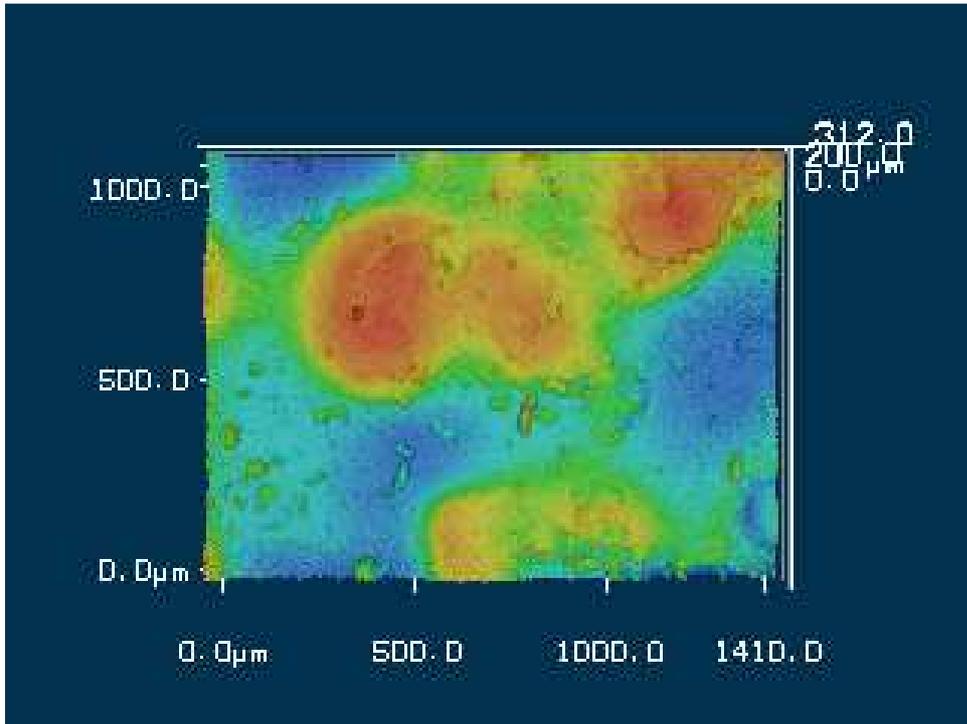


Abb. 64: Messung in 3D während der Betauung (t = 60min.), Probe M5.

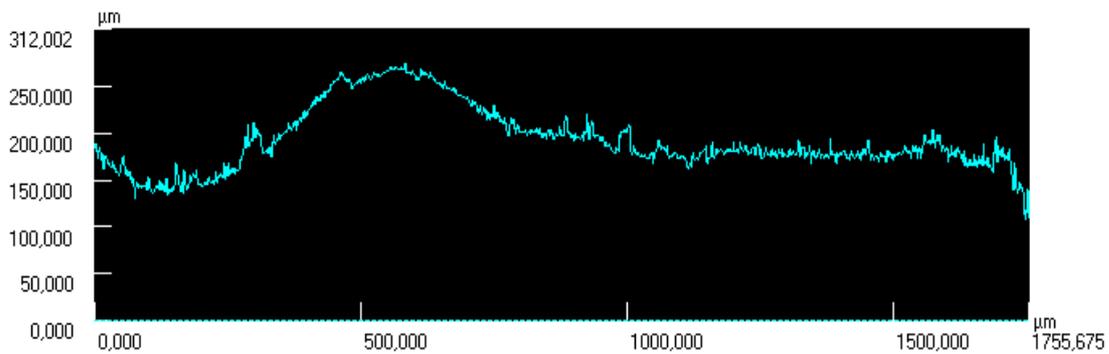


Abb. 65: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 60min.), Probe M5.

Die Verlaufslinie (Z- Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 25µm, höchster Punkt bei ca. 250µm, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei der Höhe befindet sich bei 193,129µm.

Der Höhenzuwachs betrug insgesamt beim arithmetische Mittel der Höhe 59,404µm (Profilogramm).

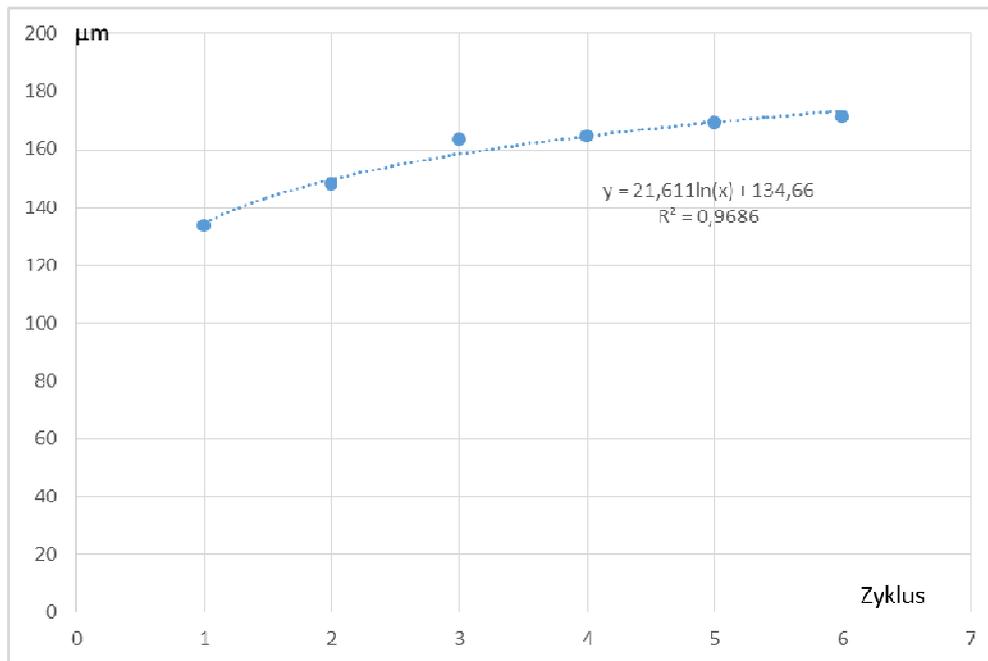


Abb. 66: Darstellung des Tauwasserzuwachs der Probe M5.

Im Diagramm abgebildet der Messzyklus, eins bis sechs in der Zeit $t = 0\text{min.}$ bis $t = 60\text{min.}$ des mineralischen Scheiben- Oberputzes M5 als Funktion.

Beispiel für eine Laserscanmessung beim organisch gebundenen Scheiben-Oberputz O2

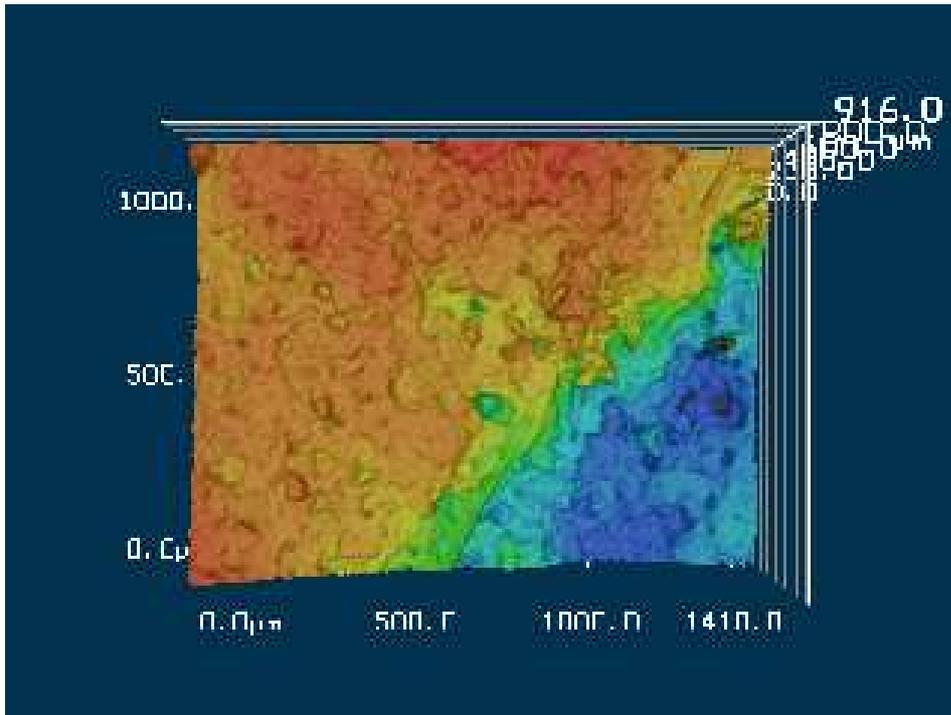


Abb. 67: Messung in 3D vor der Betauung (t = 0min.), Probe O2.

Die Farbgebung der Z-Achse (dunkelblau entspricht tief, rot entspricht hohe Kontur). Damit lassen sich lassen sich hohe und tiefe Konturen visualisieren. Alle Angaben der Höhen in μm .

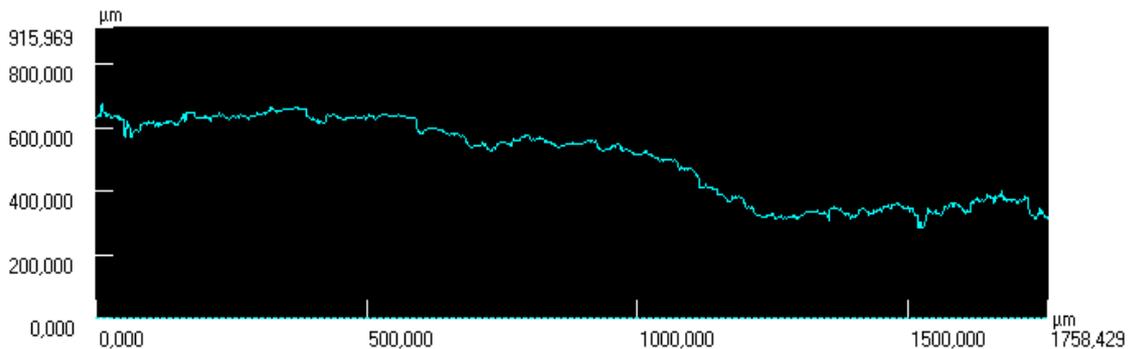


Abb. 68: Rautiefenmessung vor der Betauung (t = 0min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. $350\mu\text{m}$, höchster Punkt bei ca. $65\mu\text{m}$, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei $501,053\mu\text{m}$.

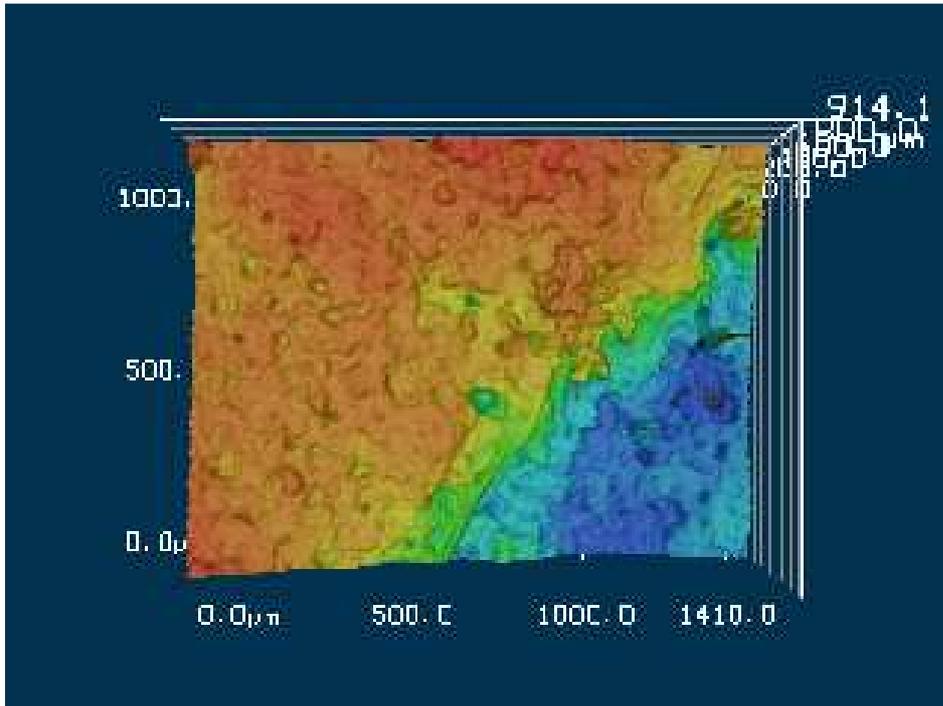


Abb. 69: Messung in 3D während der Betauung (t = 10min.), Probe O2.

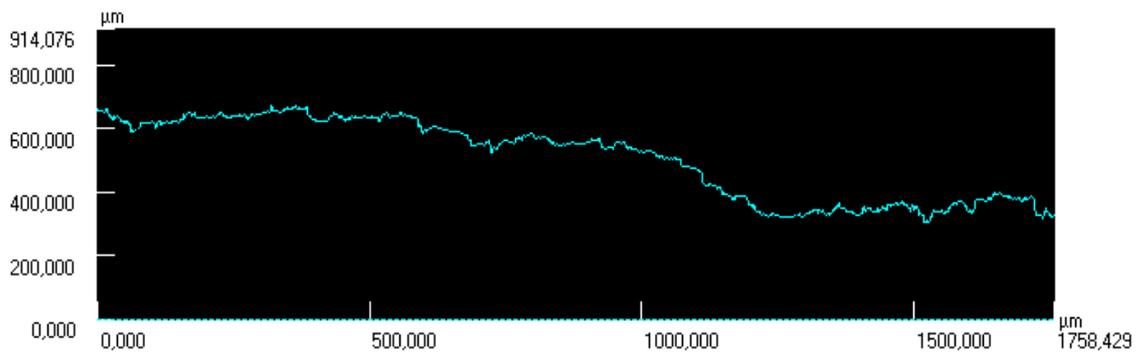


Abb. 70: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 10min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 360 μm , höchster Punkt bei ca. 650 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 508,345 μm .

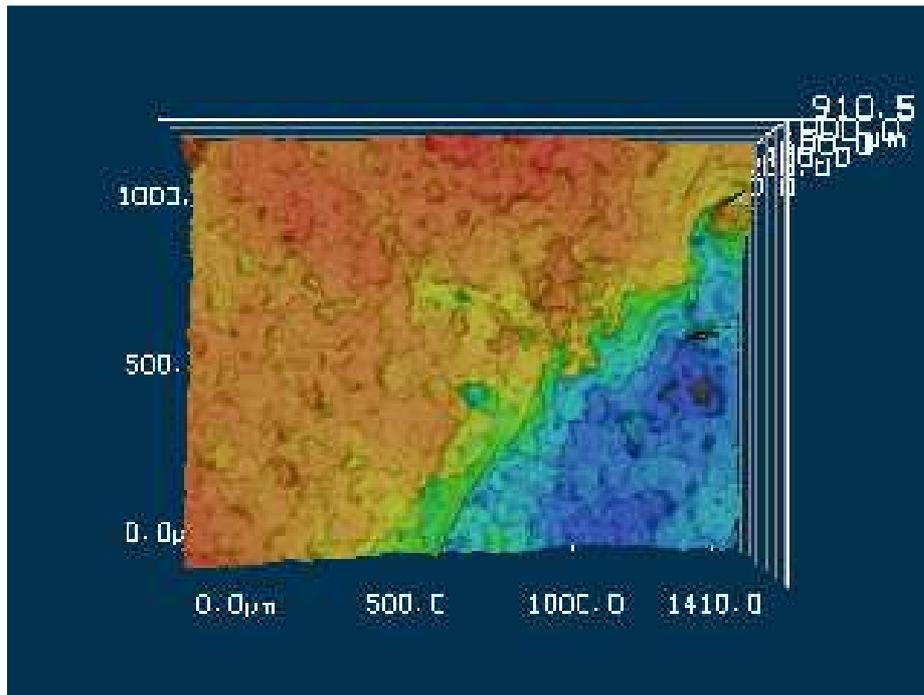


Abb. 71: Messung in 3D während der Betauung (t = 20min.), Probe O2.

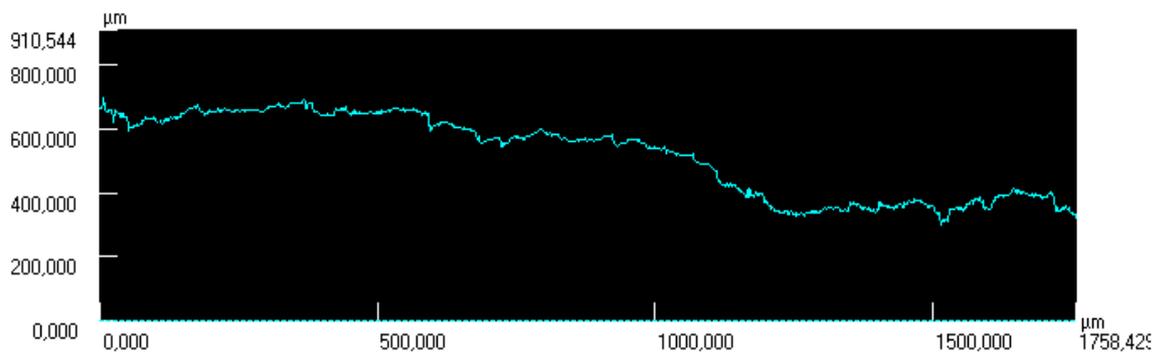


Abb. 72: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 20min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 360µm, höchster Punkt bei ca. 650µm, das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 508,345µm.

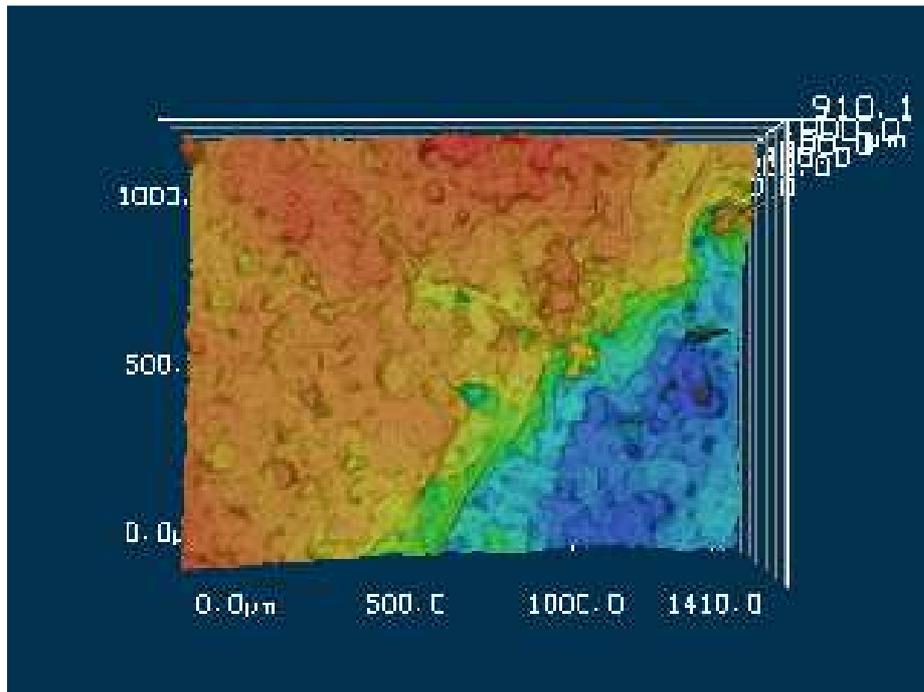


Abb. 73: Messung in 3D während der Betauung (t = 30min.), Probe O2.

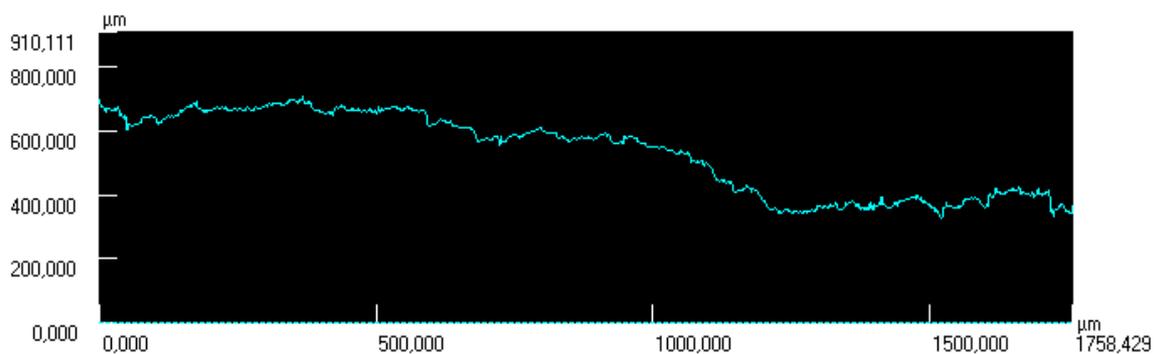


Abb. 74: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 30min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 380 μm , höchster Punkt bei ca. 680 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 533,158 μm .

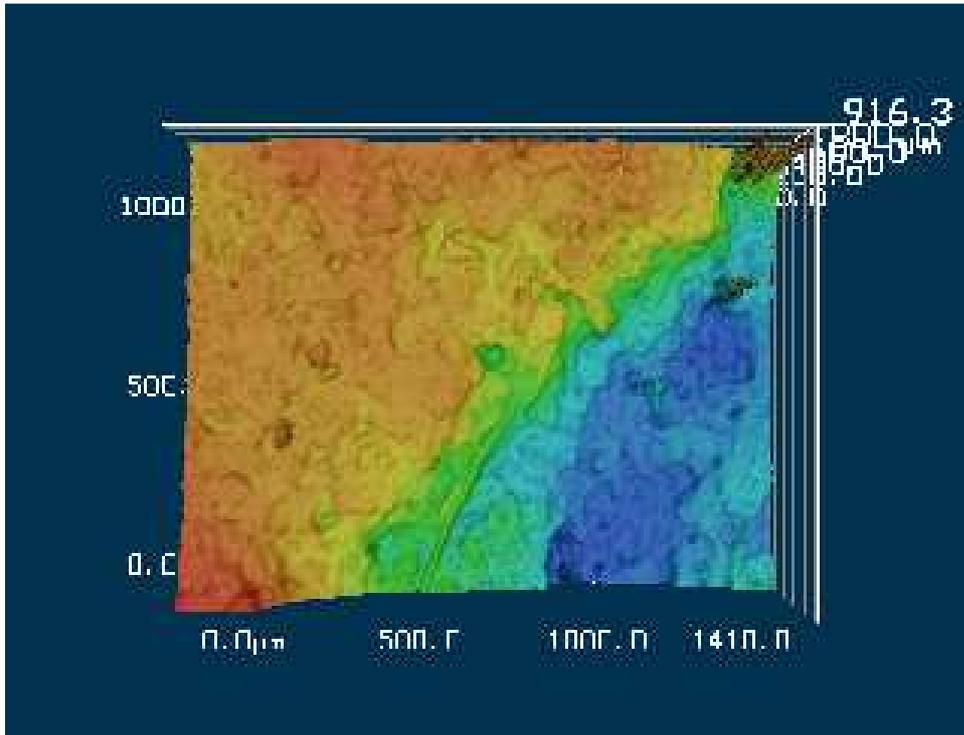


Abb. 75: Messung in 3D während der Betaung (t = 40min.), Probe O2.

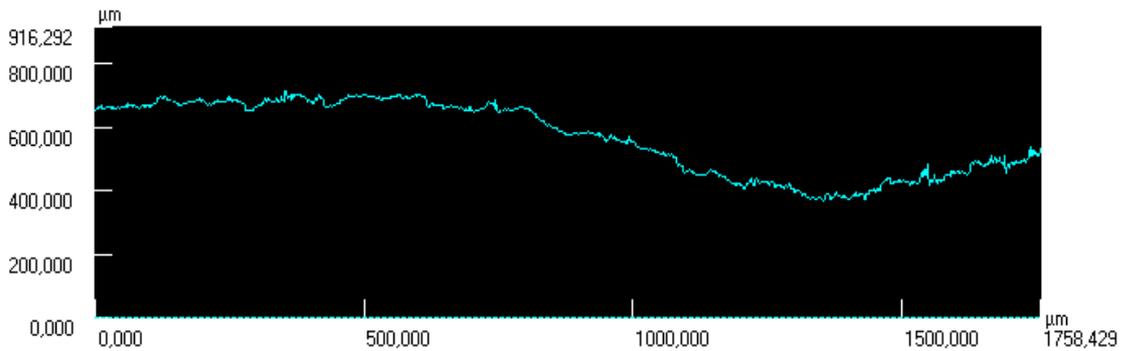


Abb. 76: Rautiefenmessung während der Betaung (t = 40min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 400 μm , höchster Punkt bei ca. 680 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 567,253 μm .

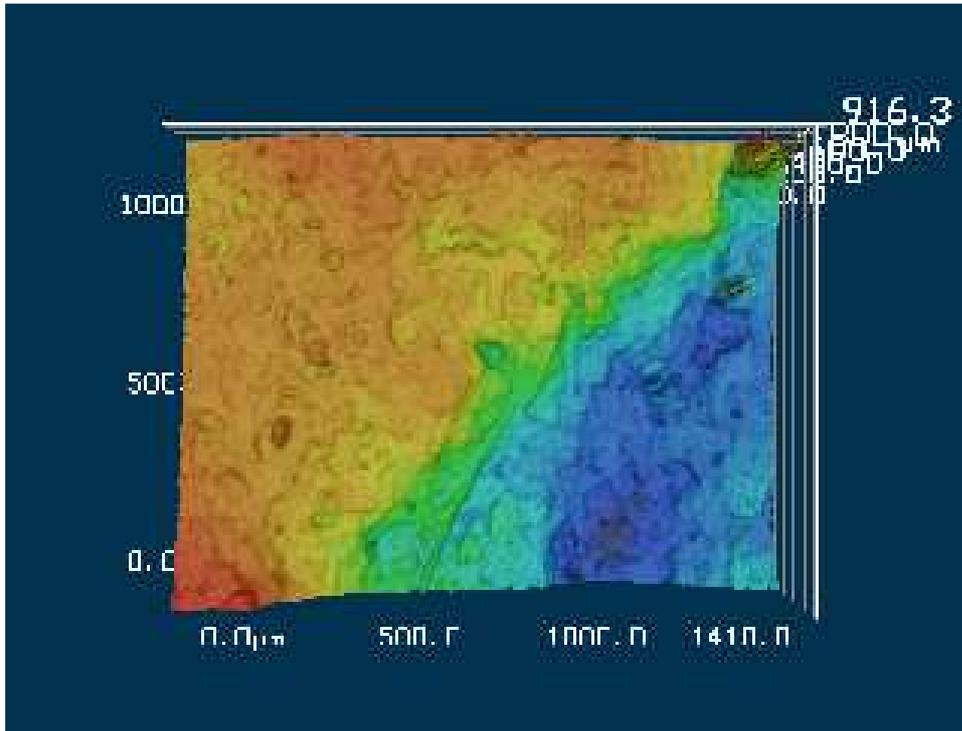


Abb. 77: Messung in 3D während der Betaung (t = 50min.), Probe O2.

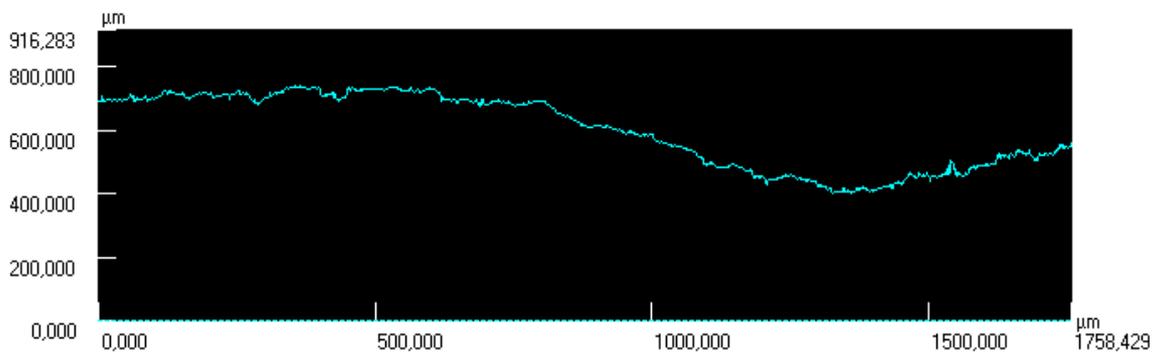


Abb. 78: Rautiefenmessung während der Betaung (t = 50min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 600 μm , höchster Punkt bei ca. 700 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 598,782 μm .

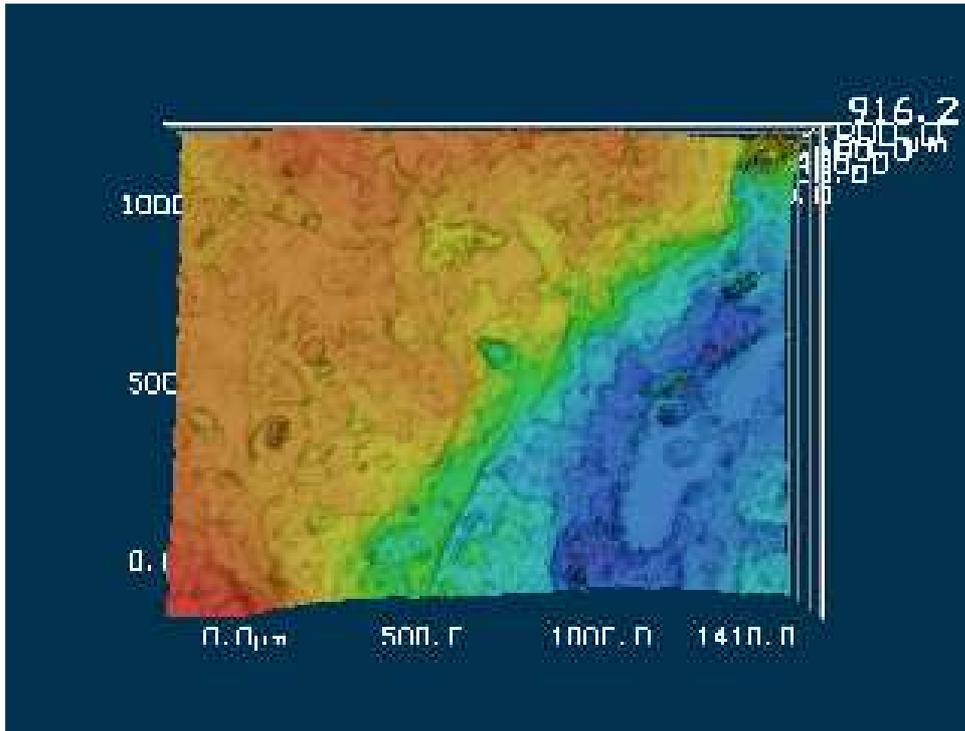


Abb. 79: Messung in 3D während der Betauung (t = 60min.), Probe O2.

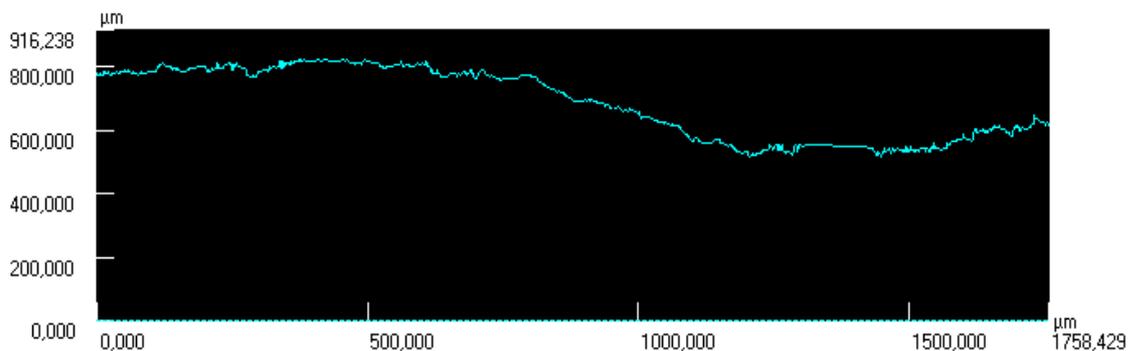


Abb. 80: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 60min.), Probe O2.

Die Verlaufslinie (Z-Achse, hellblau dargestellt) bildet die Rautiefe der Oberfläche ab. Tiefster Punkt bei ca. 630 μm , höchster Punkt bei ca. 780 μm , das arithmetische Mittel der Höhe befindet sich bei 685,715 μm .

Der Höhenzuwachs betrug insgesamt beim arithmetische Mittel der Höhe 158,1974 μm (Profilogramm).

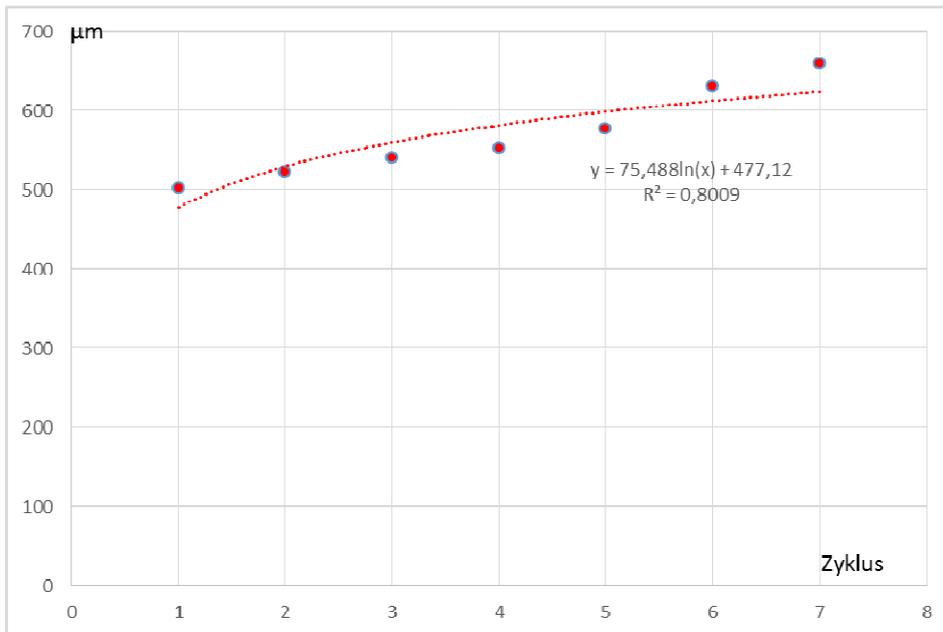


Abb. 81: Darstellung des Tauwasserzuwachs der Probe O2.

Im Diagramm abgebildet der Messzyklus eins bis sechs in der Zeit $t = 0\text{min. bis } t = 60\text{min.}$ des mineralischen Scheiben- Oberputzes O2 als Funktion. Die tiefen Konturen werden mit einem Tauwasserfilm gefüllt. Die raue Oberfläche ist nahezu eingeebnet.

Die beiden Beispiele verdeutlichen die unterschiedlichen Tauwassermengen in der Profilografie. Man kann deutlich erkennen wie die Tauwasserfilmstärke sich bei den beiden Putzen unterscheidet. Beim organischen Scheiben-Oberputz (Probe O1 bis O6) ist dies ca. $165\mu\text{m}$ und beim mineralischen Scheiben-Oberputz (Probe M1 bis M6) ca. $25\mu\text{m}$.

Weitere Untersuchungsergebnisse der Proben vgl. Anhang Kap. 6.

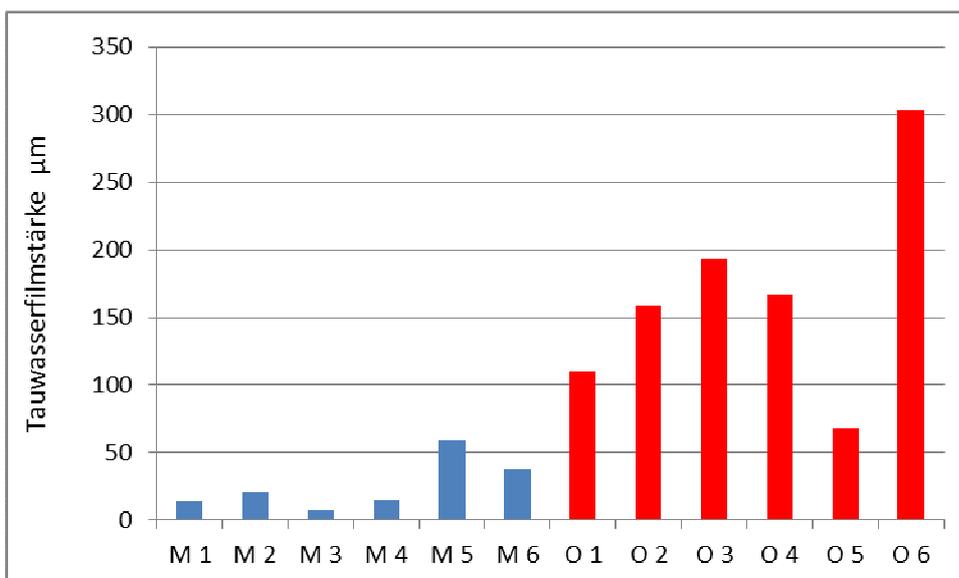


Abb. 82: Gegenüberstellung der gemessenen Tauwasserfilmstärke Probe M1 bis O6 in μm .

Das Diagramm dient zur Gegenüberstellung der mineralischen Proben M1 bis M6 sowie O1 bis O6 beim gemessenen Zyklus von 60 Minuten im Labor mit dem Laserscanmikroskop.

Zu erkennen die mineralischen Proben (blau) weisen eine geringere Tauwasserhöhe aus (arithmetisches Mittel ca. 25 μ m). Die organischen Proben (rot) weisen eine viele höhere Tauwasserhöhe aus (arithmetisches Mittel ca. 165 μ m).

Kriterien und Fragestellungen	Messmethode	
	Nebenkammer, Saugvlies und Waage	Probenkühlung und Laserscanmikroskopie
Messverfahren zerstörungsfrei / nicht -frei	zerstörungsfrei	zerstörungsfrei
Problemfelder beim Standardverfahren?	Saugvlies-Kontaktzeiten uneinheitlich	-
Problemfelder beim Laserscan-Verfahren	-	bisher nur unter Laborbedingungen einsetzbar Störanfällig durch externe Faktoren
Messzeit frei wählbar?	Ja, weil unter Laborbedingungen	Ja, weil unter Laborbedingungen
Zeitlicher Aufwand in Minuten?Minuten Minuten
Welche Kenngrößen sind zu gewinnen?	Tauwassermasse pro Zeit und Flächeneinheit Massenzunahme	Tauwasser- Profilogramm vor und nach der Betauung
Wiederholbarkeit der Messung?	Ja	Ja

Tab. 06: Gegenüberstellung der konventionellen und alternativen Methode mittels Laserscanmikroskop zur Tauwasseranalytik [103].

Schlussfolgernd kann die Feststellung getroffen werden, dass sich der Versuchsaufbau grundsätzlich bewährt hat. Er kann neue Erkenntnisse zum Tauwasseranfall, quantitativ als auch qualitativ bringen. In diesem dynamischen Messverfahren können die Faktoren Menge und Zeit betrachtet werden. Es können mehr Informationen gewonnen werden in Hinblick auf die zeitliche Abfolge der Tauwasserbildung. Bei diesem wissenschaftlichen Verfahren handelt es sich um ein komplexes Zusammenspiel zwischen Laserscanmikroskop, Umlaufkühlplatte, Lufttemperatur, rel. Luftfeuchte sowie dem Probekörper.

Zusätzlich lässt sich dies visualisieren bis hin zu einer dreidimensionalen Darstellung. Eine elektronische Datenverarbeitung ist möglich.

Ebenso denkbar ist eine Gerätevariante, die direkt durch einen Sensor am Objekt selbst installiert werden könnte, um Messergebnisse selbstständig zu sammeln. Jedoch scheint dies aufgrund des heutigen Entwicklungsstandes der Technik und der Störanfälligkeit kaum möglich.

3.6. Benetzungswinkelmessung

Die Probekörper werden nun im nächsten Schritt einer Benetzungswinkelmessung unterzogen. Mit der Messung des Benetzungswinkels können grundlegende Aussagen getroffen werden, ob eine Oberfläche eines Baustoffs hydrophob (wasserabweisend) oder hydrophil (wasseraufnehmend) ist [22]. Die Benetzung bedeutet die Ausbreitung einer flüssigen Phase auf einer Oberfläche (vgl. Abb. 83). Ursache dafür ist die Adhäsion (vgl. Abb. 83) [104]. Baustoffe, die sich mit Wasser leicht benetzen lassen, werden als hydrophil bezeichnet [96]. Der Benetzungswinkel wird zwischen der flüssigen und festen Phase gemessen (vgl. Abb. 83) [105]. Die Bestimmung eines Benetzungswinkels ist in DIN EN ISO 828 zu finden. Allerdings lässt diese Norm nur die vier Messflüssigkeiten Glycerin, Formamid, Diiodmethan und Dimethylsulfoxid zu. Beim hier durchgeführten Versuch wurde jedoch abweichend davon destilliertes Wasser mit 20°C verwendet. Dies ist in der Handhabung gegenüber den o. g. chemischen Flüssigkeiten wesentlich ungefährlicher für Versuchszwecke. Die Form des Tropfens lässt auf die Oberflächenenergie schließen [105]. YOUNG formulierte die Beziehung über die Grenzspannung an einem Punkt der 3-Phasen-Kontaktlinie (vgl. Abb. 83). Die auftretenden Wechselwirkungen können beschrieben werden durch die Oberflächenenergien und Oberflächenspannungen. Die entsprechenden Kräfte veranschaulicht das in Abb. 83 dargestellte Modell eines liegenden Tropfens nach YOUNG [105].

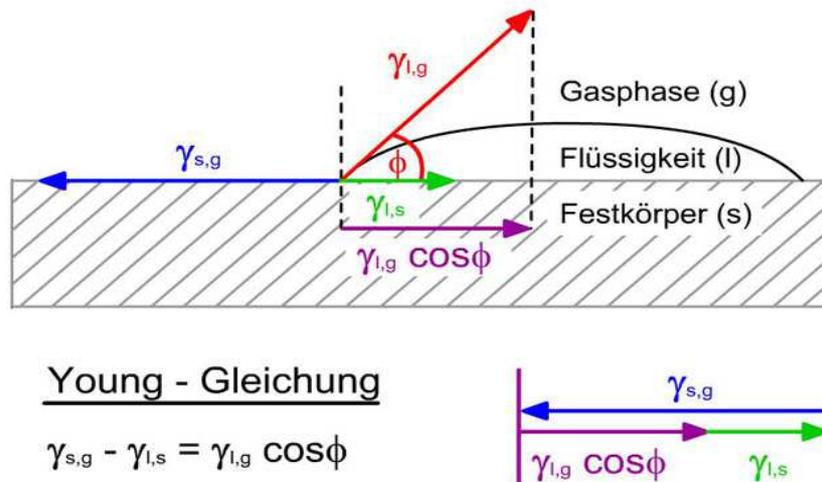


Abb. 83: Vektorielle Darstellung am liegenden Tropfen [105].

Vektorielle Darstellung des Kräftegleichgewichts am liegenden Tropfen nach YOUNG mit:

$\gamma_{l,g}$ = Oberflächenspannung der Flüssigkeit zur Gasphase

$\gamma_{s,g}$ = Oberflächenenergie des Festkörpers zur Gasphase

$\gamma_{l,s}$ = Grenzflächenspannung zwischen Flüssigkeit und Festkörperoberfläche

Θ = Rand-, Kontakt- oder Benetzungswinkel ($0^\circ < \Theta < 180^\circ$)

$\Theta < 90^\circ$ Flüssigkeit wirkt benetzend.

$\Theta > 90^\circ$ Flüssigkeit wirkt nicht benetzend. [105]

Bei einem Benetzungswinkel unter 90° liegt der Benetzungsfall vor [105]. Beim Benetzungswinkel $= 0^\circ$ tritt eine vollkommene Benetzung ein [105]. Benetzungswinkel über 90° weisen auf eine Nichtbenetzung hin [105]. Die Aufnahmen wurden mit einem USB Mikroskop aufgenommen, Typ DNT DigiMicro Profi vgl. Abb. 84. Bei den Aufnahmen wurde mit der Bearbeitungssoftware des Mikroskops die Winkelmessung durchgeführt.

Mit einem abgesetzten Wassertropfen kann eine genaue Messung des Kontaktwinkels erfolgen vgl. Abb. 85.

Es kann eine klare Abgrenzung zwischen den mineralischen Proben M1 bis M6 und den organischen gebundenen Putzen O1 bis O6 festgestellt werden. Die mineralisch gebundenen Putze haben einen Kontaktwinkel $< 90^\circ$, die organisch gebundenen weisen einen Kontaktwinkel $> 90^\circ$ auf. Die Oberflächenspannung unterscheidet sich deutlich.



Abb. 84: Mikroskop zur Benetzungswinkelmessung.

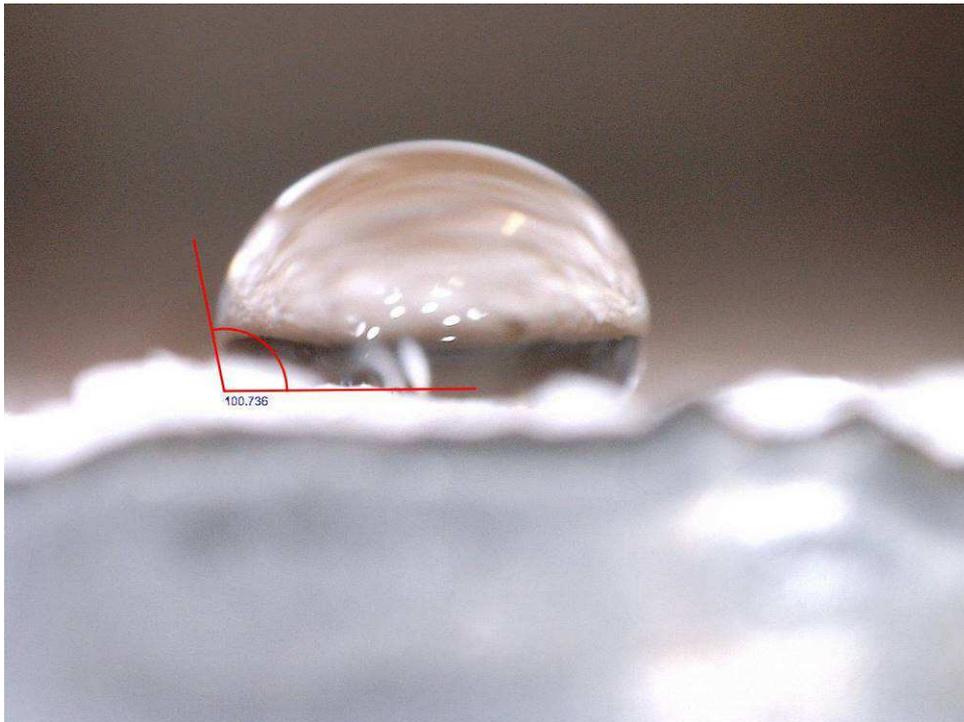


Abb. 85: Benetzungswinkelmessung der Probe O2, hier 100,736°.

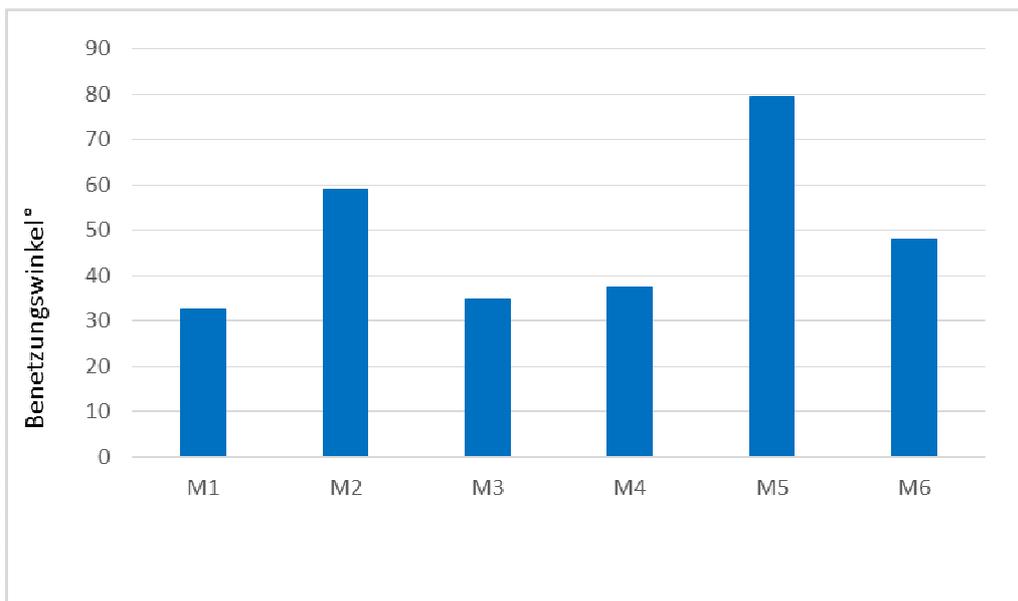


Abb. 86: Darstellung der Benetzungswinkel der Proben M1 bis M6.

Diagramm mit Darstellung des Benetzungswinkels der mineralisch gebundenen Oberputze. Alle Oberputze liegen unter 90°. Die Proben M1, M3 und M4 liegen unter 40°.

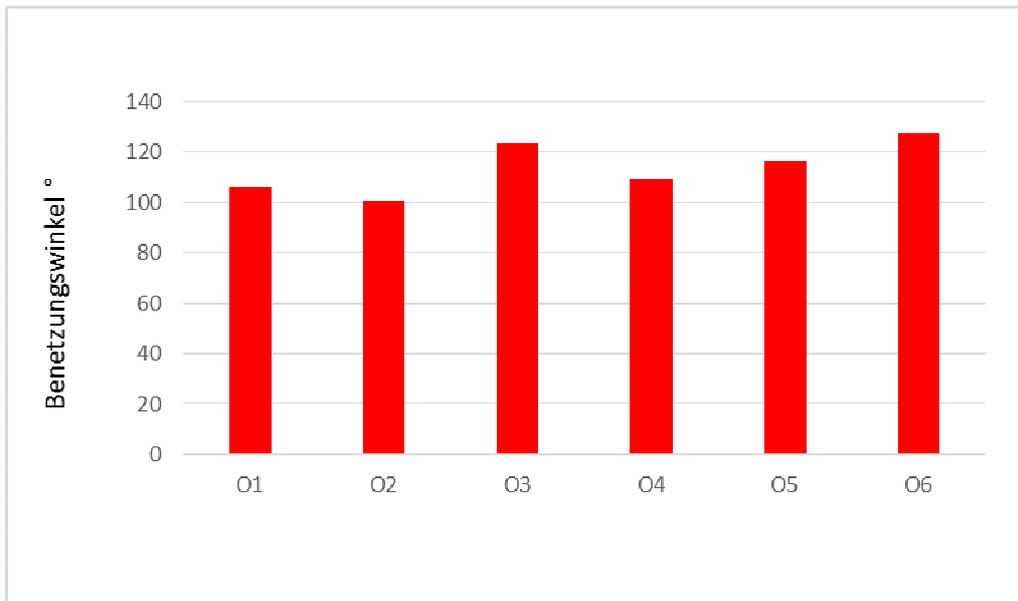


Abb. 87: Darstellung der Benetzungswinkel der Proben O1 bis O6.

Diagramm mit Darstellung des Benetzungswinkels der organisch gebundenen Oberputze. Alle Oberputze liegen über 90° . Die Proben O3 und O6 liegen über 120° .

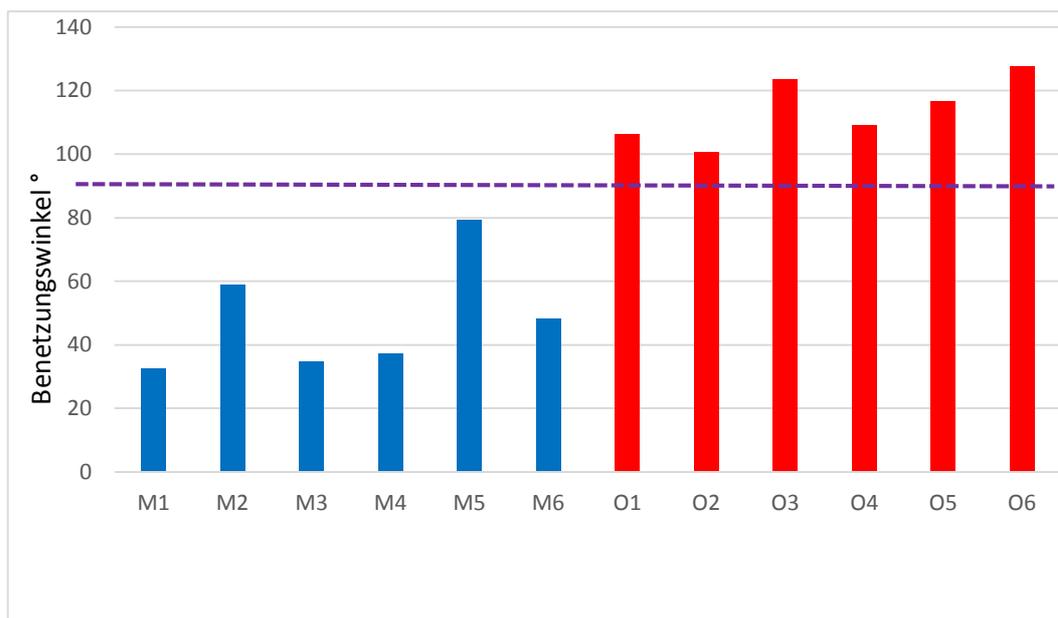


Abb. 88: Ergebnisdiagramm der gemessenen Benetzungswinkel der Proben M1 bis O6.

Die lila Linie bildet die Grenze zwischen $< 90^\circ$ (Flüssigkeit wirkt benetzend) und $> 90^\circ$ (Flüssigkeit wirkt nicht benetzend).

Bei der Gegenüberstellung der mineralischen (M1 bis M6) sowie der organischen (O1 bis O6) Proben kann eine klare Unterscheidung aufgrund des Benetzungswinkels festgestellt werden.

Zwischenergebnis der Benetzungswinkelmessung:

Bei einem Benetzungswinkel über 90° kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass eine Feuchtigkeitsaufnahme durch Schlagregenbeanspruchung kaum möglich ist [106]. Die Saugfähigkeit wird aufgehoben, man bezeichnet dies als Kapillardepression [106].

Bei allen organischen Putzproben konnte ein Winkel über 90° gemessen werden. Diese Proben weisen somit alle hydrophobe Eigenschaften auf. Insgesamt wurde festgestellt, dass die Messung eines Benetzungswinkels eine gute Aussage über die hydrophoben bzw. hydrophilen Eigenschaften der Proben getroffen werden kann. Der Benetzungswinkel lässt sich grundsätzlich mit der Tropfenform beschreiben. Große runde Aufsatztropfen deuten auf einen großen Benetzungswinkel hin, die Wasseraufnahme ist hydrophob. Kleine flache Aufsatztropfen deuten auf einen kleinen Benetzungswinkel hin, die Wasseraufnahme ist hydrophil.

3.7. Materialanalyse

Bei den Proben wurden die Produkt- und Sicherheitsdatenblätter gesichtet. Diese beinhalten die Mindestangaben gemäß Norm. Bei den organisch gebundenen Putzen sind selbstverständlich die organischen Bindemittel, die Zuschlagstoffe im Produktdatenblatt erfasst und aufgelistet. Zusätzlich findet man dort die Angaben der Biozide bei den meisten Putzen. Bei den mineralisch gebundenen Putzen findet man die Auflistung der Zuschlagstoffe sowie der mineralischen Bindemittel. Auflistungen über die Mindestanforderungen nach Norm hinaus finden sich nicht, meist wird nur eine Angabe gemacht „Zusatzmittel zur besseren Verarbeitung“. Was genau sich dahinter versteckt kann nur gemutmaßt werden. In wie fern „billige“ Substitutionsprodukte aus Kunststoffen mehr und mehr die teuren mineralischen Komponenten ersetzen besteht bis dato nur ein Verdacht. Um einige Inhaltsstoffe per Materialanalyse heraus zu finden wurde die Wahl auf die Verfahren Röntgenfluoreszenzanalyse und Infrarotspektroskopie gesetzt.

3.7.1 Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA)

Die Röntgenfluoreszenzanalyse in englisch X ray fluorescence spectroscopy ist eine Methode aus der Materialanalytik. Diese dient zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Elementen in Keramik, Glas, Metall und Baustoffen. Die Probe wird dabei durch Röntgenstrahlung angeregt [107]. Dabei werden kernnahe Elektronen von der inneren Schale des Atoms herausgetrennt. Die freiwerdende Energie wird in Form von Fluoreszenzstrahlung abgegeben und mittels Strahlendetektor ausgewertet [107]. Die Messungen wurden am Hungarian Academy of Sciences Centre for Energy Research, Nuclear Analysis and Radiography Department durchgeführt. Gemessen wurde mit einer OLYMPUS XRF, im Mining Plus Modus, mit 40KV und 10KV Stahlung. Mit diesem Messmodus können folgende Elemente in Masseprozent ermittelt werden: Vanadium (V), Chrom (Cr), Eisen (Fe), Cobalt (Co), Nickel (Ni), Kupfer (Cu), Zink (Zn), Wolfram (W), Arsen (As), Blei (Pb), Bismut (Bi), Zirkonium (Zr), Molybdän (Mo), Silber (Ag), Cadmium (Cd), Zinn (Sn), Antimon (Sb), Magnesium (Mg), Aluminium (Al), Silicium (Si), Kohlenstoffgruppe, Phosphor (P), Schwefel (S), Chlorid (Cl), Kalium (K), Calcium (Ca), Thallium (Tl) und Mangan (Mn)

Die Proben wurden jeweils drei mal an verschiedenen Stellen gemessen und aus den Ergebnissen wurde das arithmetische Mittel gebildet.



Abb. 89: Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mit dem Olympus XRF [108].



Abb. 90: Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mit dem Olympus XRF, hier beim Messvorgang [108].

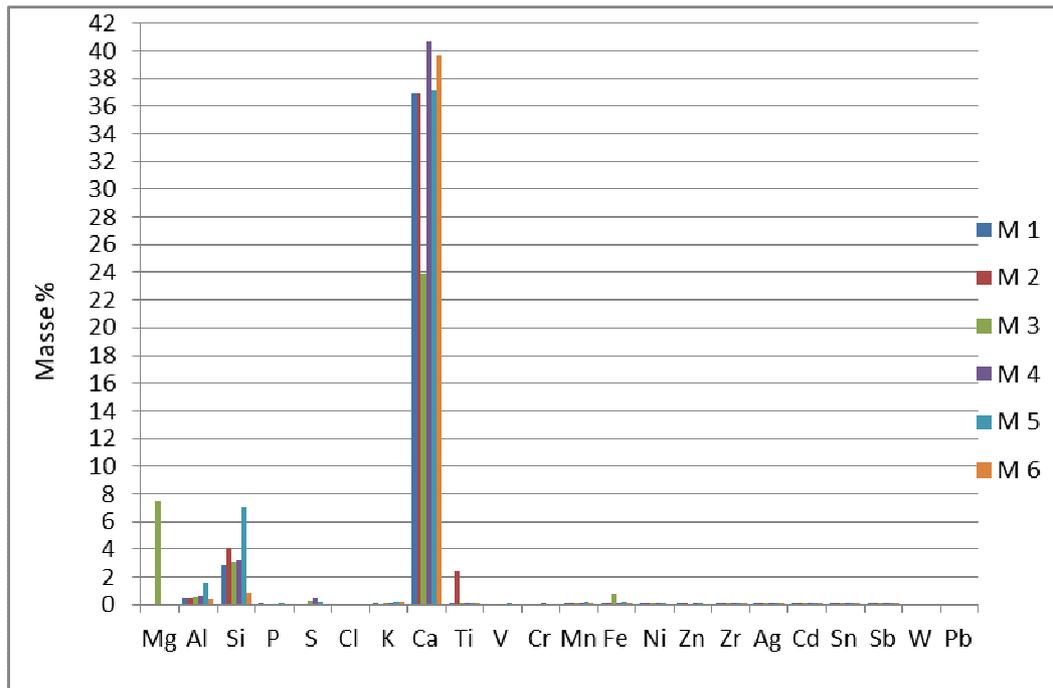


Abb. 91: Materialanalyse per (RFA), Zusammenstellung der Inhaltsstoffe der Proben M1 bis M6.

Einige Inhaltstoffe waren unterhalb der Nachweisgrenze und konnten nicht ermittelt werden. Deutlich zu erkennen sind jedoch das Silizium sowie das Calcium.

Erstaunlich ist der nachweisbare Gehalt von Thallium bei einer Putzprobe, welches ein sehr weiches Metall ist. Thallium kann jedoch auch als Gift oder Desinfektionsmittel eingesetzt werden [109], [110]. Wahrscheinlich kann eine Herkunft aus dem Zement nicht ausgeschlossen werden [110].

Das Calcium bei der Probe M3 ist geringer als das der anderen Proben. Zurück zu führen ist dies auf die Eigenmischung nach konventioneller Rezeptur. Ansonsten unterscheiden sich die Calcium Werte nicht sehr viel. Die Putzproben können als mineralische Putze identifiziert werden, da der Calcium Anteil zwischen ca. 36 und 40 Masseprozent liegt. Bei der Silicium Analyse handelt es sich offensichtlich in den Proben M1 bis M4 und M6 um natürlich vorkommendes Silicium aus den Zuschlagstoffen. Auffällig ist jedoch die Probe M5, die ein vielfaches an Silicium aufweist. Es liegen hiernach Anhaltspunkte vor, dass es dabei nicht nur um natürliches Silicium handeln könnte, sondern um vernetzte Siliziumrückstände von Hydrophobierungsmitteln, wie z.B. Silkon oder Siloxan [111]. Dies korreliert bei der Probe M5 mit einem niedrigen w-Wert und einem hohen Benetzungswinkel.

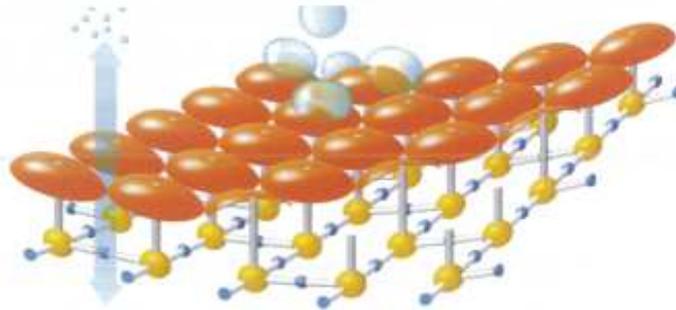


Abb 92: Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines erhärteten Silikonharzfilmes [112].

Das Hydrophorbierungsmittel bildet keine sichtbare Oberfläche auf mineralischen Oberflächen und verändert diese optisch nicht, oder nur unwesentlich vgl. Abb. 92 [112]. Die Poren sind nicht gefüllt, sondern nur ausgekleidet, d. h. die Diffusionsfähigkeit des Baustoffs erhöht sich, was zu einer reduzierten Trocknung führt [113]. Das Wasseraufnahmevermögen von einem hydrophilen Baustoff zu einem hydrophoben Baustoff, die kapillare Wasseraufnahme wird deutlich reduziert [114]. Gleichzeitig verstärkt sich das Risiko eines mikrobiellen Bewuchses [113].

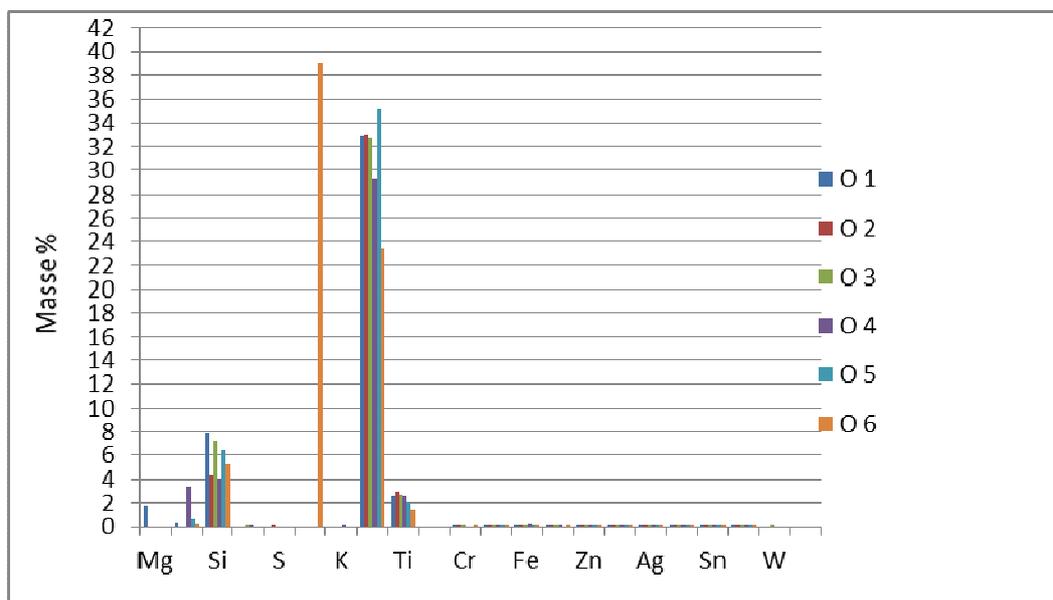


Abb. 93: Materialanalyse per (RFA), Zusammenstellung der Inhaltsstoffe der Proben O1 bis O6.

Einige Inhaltstoffe waren unterhalb der Nachweisgrenze und konnten nicht ermittelt werden. Deutlich zu erkennen ist jedoch der gegenüber der mineralisch gebundenen Putzen höhere Anteil an Silizium und Thallium. Erstaunlich ist der nachweisbare Gehalt von Thallium, das ein sehr weiches Metall ist. Thallium kann jedoch auch als Gift oder Desinfektionsmittel eingesetzt werden [109], [110].

Der Calciumgehalt ist niedriger als bei den Proben der mineralisch gebundenen Oberputze. Der Calciumgehalt liegt zwischen 23 und 35 Masseprozent. Der geringere Anteil an Calcium ist ebenfalls ein Unterscheidungsmerkmal zwischen den mineralischen und organischen Proben. Der Siliziumanteil ist als Bindemittelgehalt deutlich höher als bei den mineralisch gebundenen Oberputzen. Der Thalliumgehalt ist ebenfalls deutlich höher als bei den mineralisch gebundenen Oberputzen.

Bei den Proben O1 bis O6 liegen hiernach Anhaltspunkte vor, dass es sich dabei nicht nur um natürliches Silicium handeln könnte, sondern um vernetzte Siliziumrückstände von Hydrophobierungsmitteln wie z.B. Silkon oder Siloxan [112].

3.7.2 Materialanalyse per Infrarotspektroskopie

Die Infrarotspektroskopie auch IR-Spektroskopie genannt ist ein physikalisches Analyseverfahren das die Wechselwirkung elektromagnetischer Strahlung aus dem Spektralbereich mit einer Probe untersucht [115]. Die IR-Spektroskopie wird zur quantitativen Bestimmung von Substanzen, durch Referenzspektren der Wellenschwingungen (auch als Peaks bezeichnet), der Strahlung zugeordnet [115].

Es wurden nicht alle Proben für die quantitative Bestimmung der Inhaltsstoffe untersucht. Vielmehr soll die Analyse dazu dienen Unterschiede bei den Inhaltsstoffen zu detektieren. Die untersuchten Proben beziehen sich auf die Proben M1, M3, M5 sowie O1, O6. Die IR Spektren wurden vom Labor Helmut W. E. Lüdemann in Ratzeburg durchgeführt. Die IR-Spektren wurden mit einem Thermo-Fisher-FTIR-Spektrometer, Typ Nicolet iS10 erstellt und die Wellenzahlen der Wellenschwingungen entsprechend der Datenbank durch das Labor Helmut W. E. Lüdemann den Inhaltsstoffen zugeordnet.



Abb. 94: Materialanalyse per IR-Spektroskopie, Thermo-Fisher-FTIR-Spektrometer, Typ Nicolet iS10 [116].

Beurteilung:

Mineralische Proben

Bei der Probe M1 werden deutliche Wellenschwingungen von Calciumcarbonat als Hauptbestandteil sowie Silikate aufgefunden. Bei der Toluol Extraktion konnten in der mineralischen Probe M1 Bestandteile von Methlenketten (CH_2) z.b. Parafinwachs oder Fettsäuren bei der Wellenzahl 720cm^{-1} festgestellt werden [117], [118].

Bei der Probe M3 besteht die Probe aus Gemischen von anorganischen Silikaten (Hauptbestandteil) und deutliche Mengen Calciumcarbonat (Kalk) bei den Wellenzahlen 1795cm^{-1} , 1428cm^{-1} , 875cm^{-1} , 857cm^{-1} und 713cm^{-1} , organische Verbindungen sind nicht nachweisbar [117], [118].

Die Probe M5 konnten deutliche Wellenschwingungen von Calciumcarbonat als Hauptbestandteil sowie Silikate aufgefunden. Die Pyrolyse Produkte enthalten aromatische Strukturen, diese sind bei M5 deutlich höher als bei M1 und M3. Bei der Toluol Extraktion konnten in der mineralischen Probe M5 Bestandteile von Methlenketten (CH_2) z.b. Parafinwachs oder Fettsäuren bei der Wellenzahl 720cm^{-1} sowie Silikone (Silikonöle) auf Basis Polydimethylsiloxan bei den Wellenzahlen 1260cm^{-1} und 802cm^{-1} festgestellt werden [117], [118]. Somit handelt es sich mit sehr großer Wahrscheinlichkeit um einen modifizierten mineralischen Oberputz mit organischen Bestandteilen. Modifizierte Mörtel und Putze bezeichnet man, wenn auf

„... 1 Gew. – Teil Zement 0,1 Gew. Teile fester Kunststoff kommt“ [119].

Organische Proben

Bei der Probe O1 besteht aus einem Gemisch aus Calciumcarbonat als Hauptbestandteil sowie einem Silikat bei der Wellenzahl ca. 1080cm^{-1} und geringen Mengen an Karbonsäureester (Acrylat) bei der Wellenzahl 1735cm^{-1} aufgefunden [117], [118].

Die Probe O6 konnten deutliche Wellenschwingungen von anorganischen Silikaten als Hauptbestandteil bei der Wellenzahl ca. 1080cm^{-1} sowie Calciumcarbonat aufgefunden werden [117], [118].

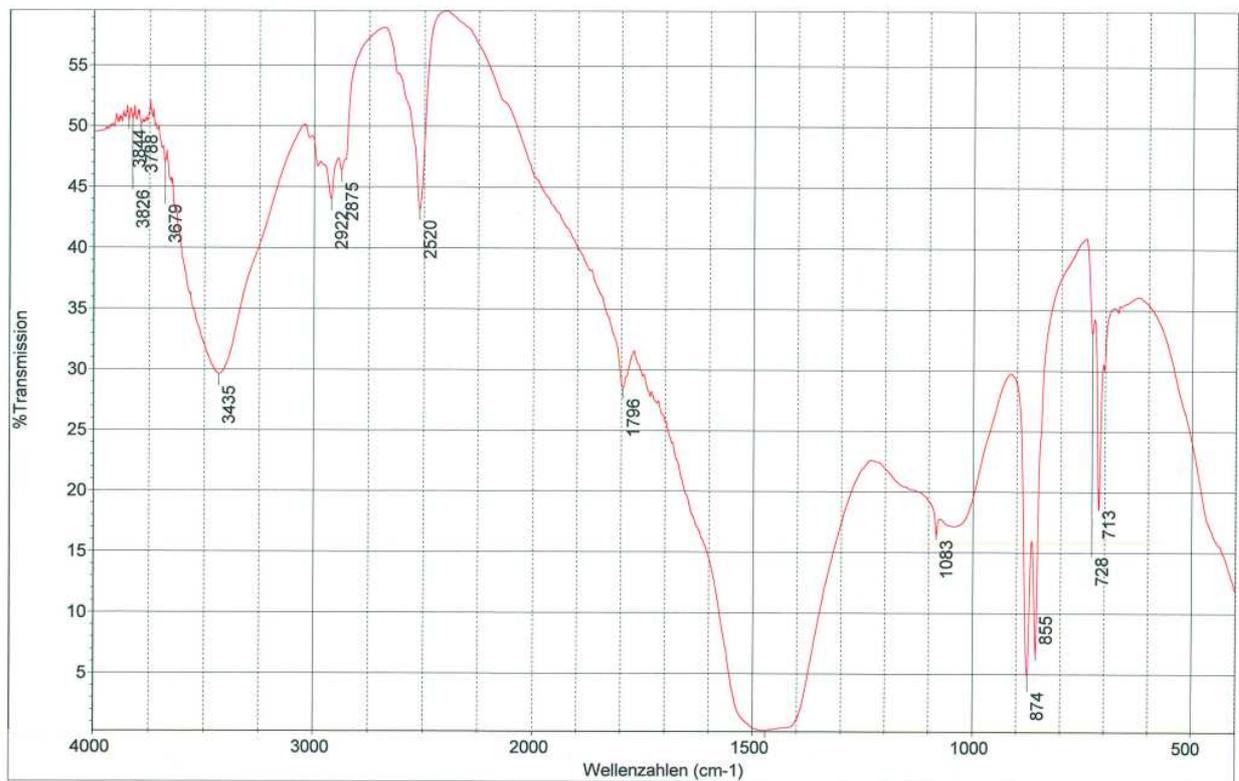
Als Beispiel hier die IR-Spektren der Proben.



0948_1 Muster O1, ATR

Mo Sep 03 09:47:49 2018 (GMT+02:00)

Abb. 95: Beispiel Wellenschwingung mit Wellenzahlen der IR-Spektroskopie der Probe O1 [117].



0811_1 M1 Original in KBr

Do Mai 17 13:32:58 2018 (GMT+02:00)



Abb. 96: Beispiel Wellenschwingung mit Wellenzahlen der IR-Spektroskopie der Probe M1 [118].

Bei den Abb. 95 und 96 deutlich zu erkennen die unterschiedlichen IR Spektren der Wellenschwingungen.

Somit kann mit Hilfe der IR-Spektroskopie der Unterschied zwischen organischen und mineralischen Proben unterschieden werden. Zusätzlich können hierbei auch organische Bestandteile in mineralischen Proben nachgewiesen werden.

Die IR-Spektroskopie aller durchgeführten Versuche befindet sich im Anhang im Kapitel 6.

3.8. Thesen und Übersicht der Versuchsergebnisse

Die folgende Ausführung soll eine Übersicht der durchgeführten Untersuchungen widerspiegeln.

Grundsätzlich können bei den betrachteten Oberputzen mit den dargestellten Untersuchungsmethoden Aussagen zum Tauwasserverhalten getroffen werden. Wird bei eingefärbten Oberputzen oder weißen Oberputzen ein Farbanstrich versehen, sollen folgende Grundsätze eingehalten werden:

- Die Wasseraufnahme des ggf. aufzubringenden Anstrichs muß kleiner- gleich des darunter liegenden Oberputzes sein [120].
- Die Wasserdampfdurchlässigkeit des ggf. aufzubringenden Anstrichs muss größer sein als der des darunter liegenden Oberputzes [120].

Die Gefahr einer Algenbesiedlung aufgrund eines schlechten Tauwasserverhaltens steigt aufgrund folgender Randbedingungen vgl. Abb. 97.

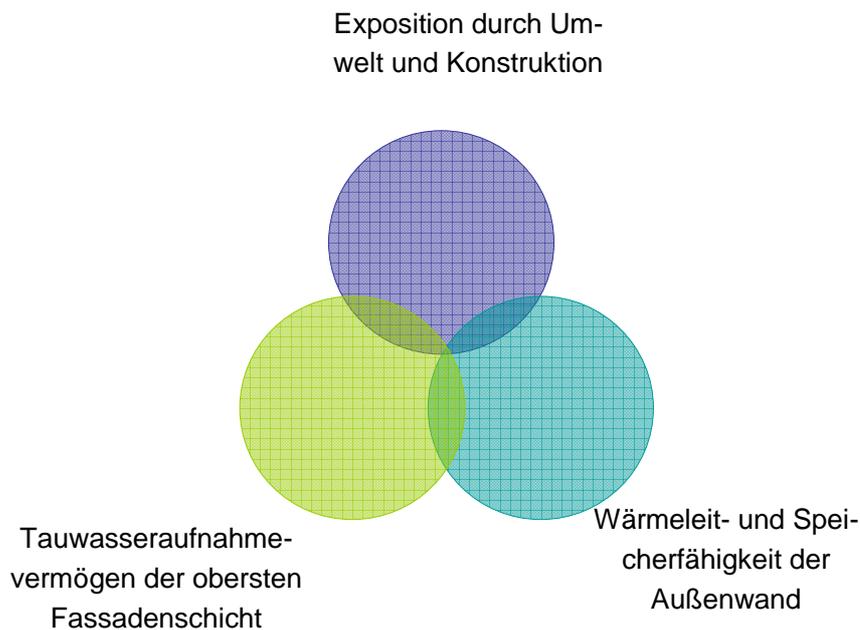


Abb. 97: Beziehungen der Gefahr einer Algenbesiedlung an einer Fassade.

Grundsätzlich können folgende Aussagen und Zusammenhänge festgestellt werden.

Die Analysen des Benetzungswinkels, der Tauwassermenge, des Wasseraufnahmekoeffizient sowie der Materialzusammensetzung können für grundsätzliche Empfehlungen zum Tauwasserverhalten bei Oberputzen sowie bei Beschichtungen herangezogen werden.

Um eine normierte Tauwasserresistenz in einem Regelwerk zu implementieren, kann folgende grundlegende Aussage getätigt werden:

Organisch gebundene oder mineralisch gebundene Oberputze mit Kunststoffzugabe bieten ein schlechteres Tauwasserverhalten.

Die Tauwassermessung mit Nebelkammer und Waage sowie mit dem Laserscanmikroskop zeigen gute Ergebnisse um die Proben zu vergleichen. Die Materialanalytik durch XRF und IR-Spektroskopie kann z.B. beim Bestand eingesetzt werden, um die Materialien des Putzes zu analysieren. Grundlegende Aussagen, ob es sich um einen mineralischen-, einen modifizierten- oder um einen organisch gebundenen Putz handelt, können beantwortet werden. Die Materialanalytik auf Basis von XRF und IR-Spektroskopie kann ebenfalls gewollte oder ungewollte Beimischungen von giftigen Stoffen nachweisen. Somit sollte es auch möglich sein giftige Stoffe, die nicht unter die Biozidverordnung fallen, nachzuweisen.

Als Ergebniszusammenstellung können folgende Diagramme zur Modellbildung herangezogen werden:

Wasseraufnahmekoeffizient

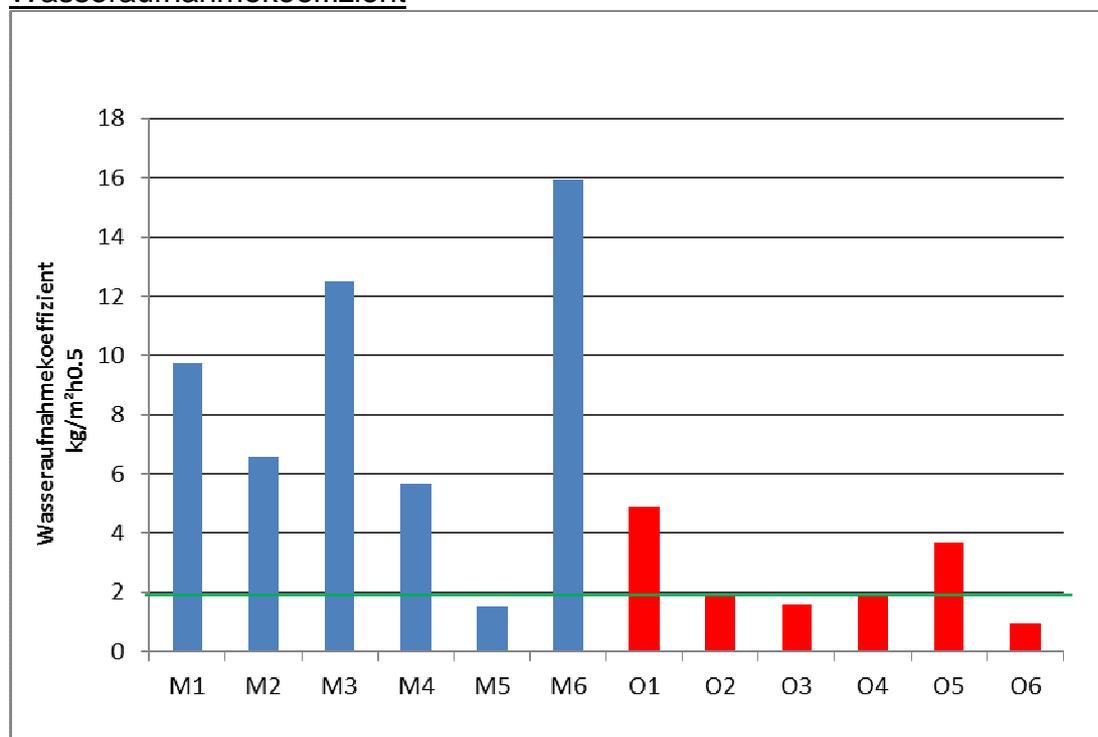


Abb. 98: Gegenüberstellung der Wasseraufnahmekoeffizient der Proben M1 bis O6

Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass mineralisch gebundene Oberputze ein größeres Saugvermögen gegenüber Tauwasser besitzen als die organisch gebundenen Oberputze. Mineralisch gebundene Oberputze weisen ein besseres

Tauwasserverhalten auf. Um so höher der Kunststoffanteil in Putzen ist, um so schlechter wird das Tauwasserverhalten vgl. Abb. 98, 101 und 102.

Benetzungswinkel

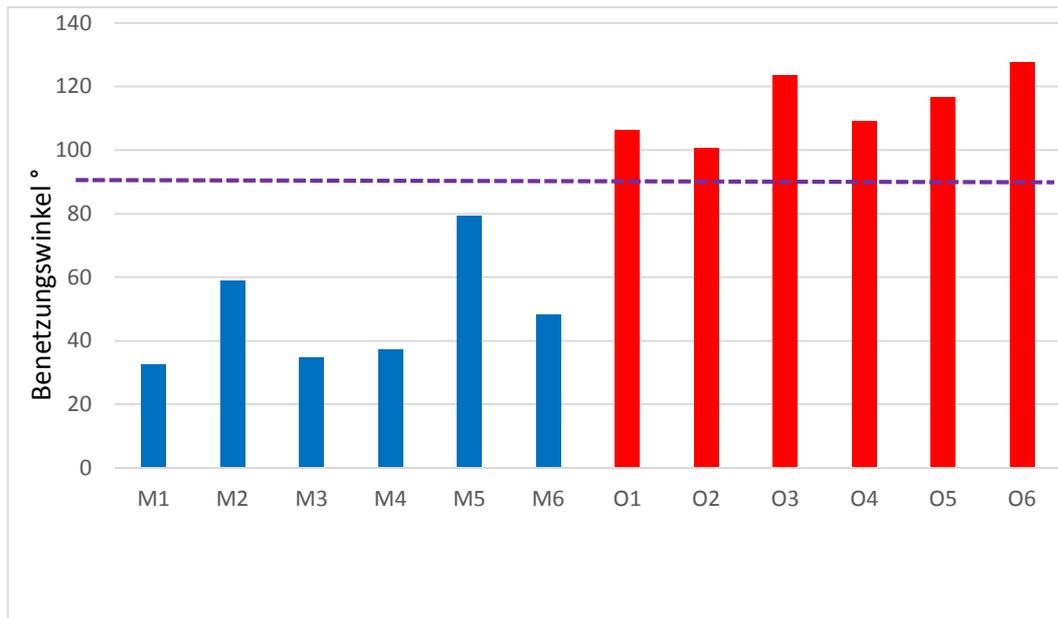


Abb. 99: Ergebnistabelle der Benetzungswinkel der Proben M1 bis O6.

Im Diagramm dargestellt die Proben M1 bis M6 sowie, die Proben O1 bis O6.

Die lila Linie bildet die Grenze zwischen $< 90^\circ$ (Flüssigkeit wirkt benetzend) und $> 90^\circ$ (Flüssigkeit wirkt nicht benetzend).

Bei der Gegenüberstellung der mineralischen sowie der organischen Proben kann eine klare Unterscheidung aufgrund des Benetzungswinkels festgestellt werden.

Bei einem Benetzungswinkel über 90° kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass eine Feuchtigkeitsaufnahme durch Schlagregenbeanspruchung kaum möglich ist [106]. Die Saugfähigkeit wird aufgehoben, man bezeichnet dies als Kapillardepression [106].

Insgesamt wurde festgestellt, dass die Messung eines Benetzungswinkels eine gute Aussage über die hydrophoben bzw. hydrophilen Eigenschaften der Proben treffen kann. Der Benetzungswinkel lässt sich grundsätzlich mit der Tropfenform beschreiben. Große runde Aufsatztropfen deuten auf einen großen Benetzungswinkel hin, die Wasseraufnahme ist hydrophob vgl. Abb. 85. Im Umkehrschluss weisen kleine flach Aufsatztropfen deuten auf einen kleinen Benetzungswinkel hin, die Wasseraufnahme ist hydrophil.

Bei allen organischen Putzproben konnte ein Winkel über 90° gemessen werden vgl. Abb. 99. Diese Proben weisen somit alle hydrophobe Eigenschaften auf. Um so höher der Benetzungswinkel, um so schlechter ist das Tauwasserverhalten.

Tauwassermessung mit Nebelkammer

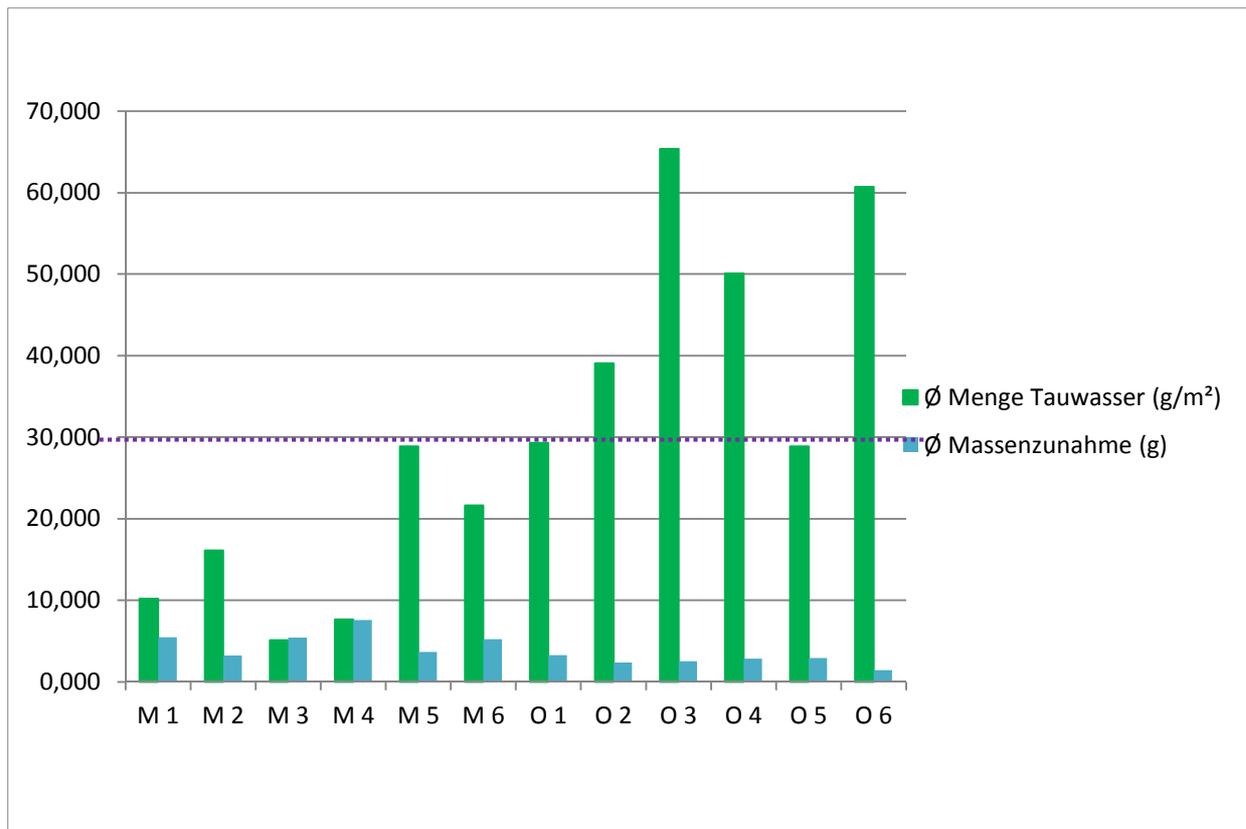


Abb. 100: Darstellung der Tauwassermenge sowie der Massenzunahme der Proben M1 bis O6.

In der Abb. 100 lässt sich der Unterschied von den mineralisch gebundenen Baustoffen zu den organisch gebundenen Proben klar feststellen. Die Tauwassermenge ist größer bei den organisch gebundenen Putzen als bei den mineralisch gebundenen Putzen. Bei den Proben M5, O1 und O5 ist die Tauwassermenge nahezu identisch. Lila dargestellte Linie ist das arithmetische Mittel von ca. 30g/m² aller Proben.

Der Gewichtsunterschied zu Beginn der Probe bis zum Ende des Betauungszyklus liegt wesentlich niedriger bei den organisch gebundenen als bei den mineralisch gebundenen Putzproben vgl. Abb. 100. Das bedeutet, dass die mineralisch gebundenen Putze mehr Tauwasser in das Baustoffinnere ableiten können. Unterschiede bei den mineralischen Putzen können aufgrund verschiedener Materialien des Bindemittels oder Zusatzstoffe erfolgen. Deutlich zu erkennen in Abb. 100 der Zusammenhang zwischen der Wasseraufnahme, Transport der Wassermoleküle in das Baustoffinnere der Oberputze (mineralische Oberputze) bzw. der Verbleib des Tauwassers auf der Oberfläche (organische Oberputze).

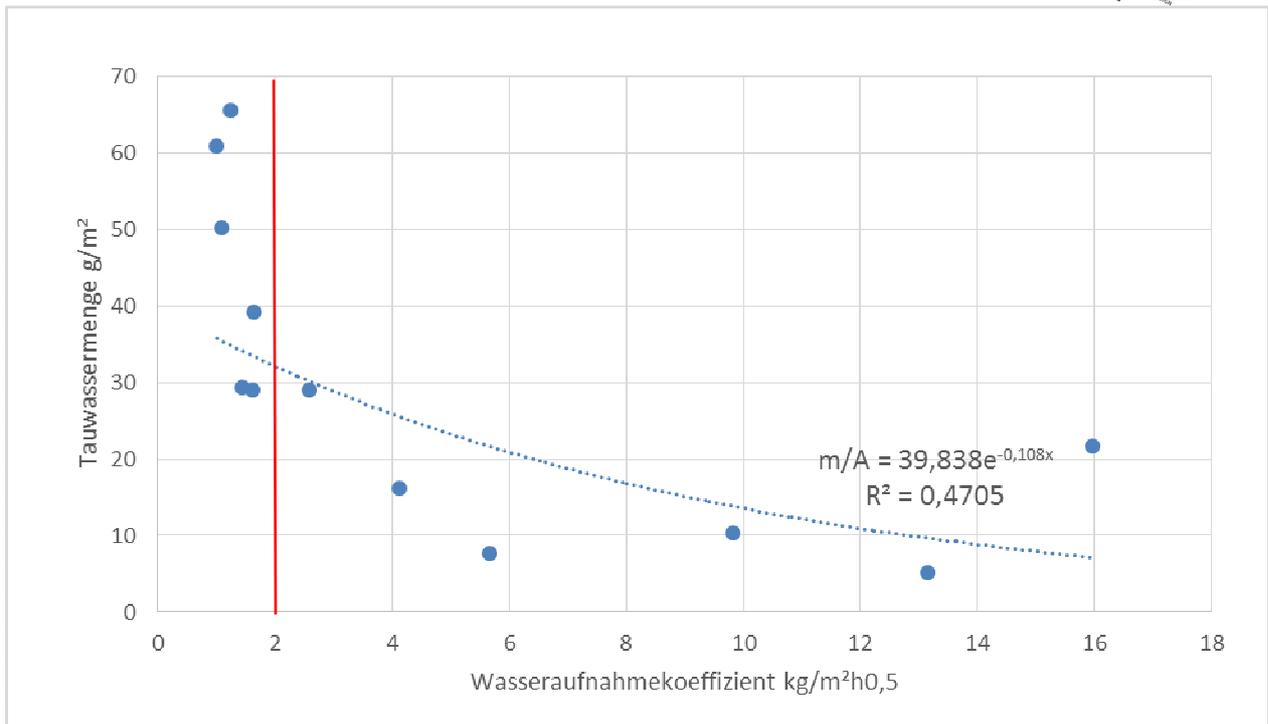


Abb. 101: Darstellung der Tauwassermenge im Zusammenhang mit dem Wasseraufnahmekoeffizienten der Proben M1 bis O6.

Deutlich zu erkennen, je niedriger der Wasseraufnahmekoeffizient ist, desto größer ist die Tauwassermenge. Bei einem Wasseraufnahmekoeffizienten unter $2\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ (rote Markierung) findet defacto kaum noch eine Wasseraufnahme statt. Man befindet sich im wasserhemmenden Bereich von $w = 0,5 \leq 2\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ [93].

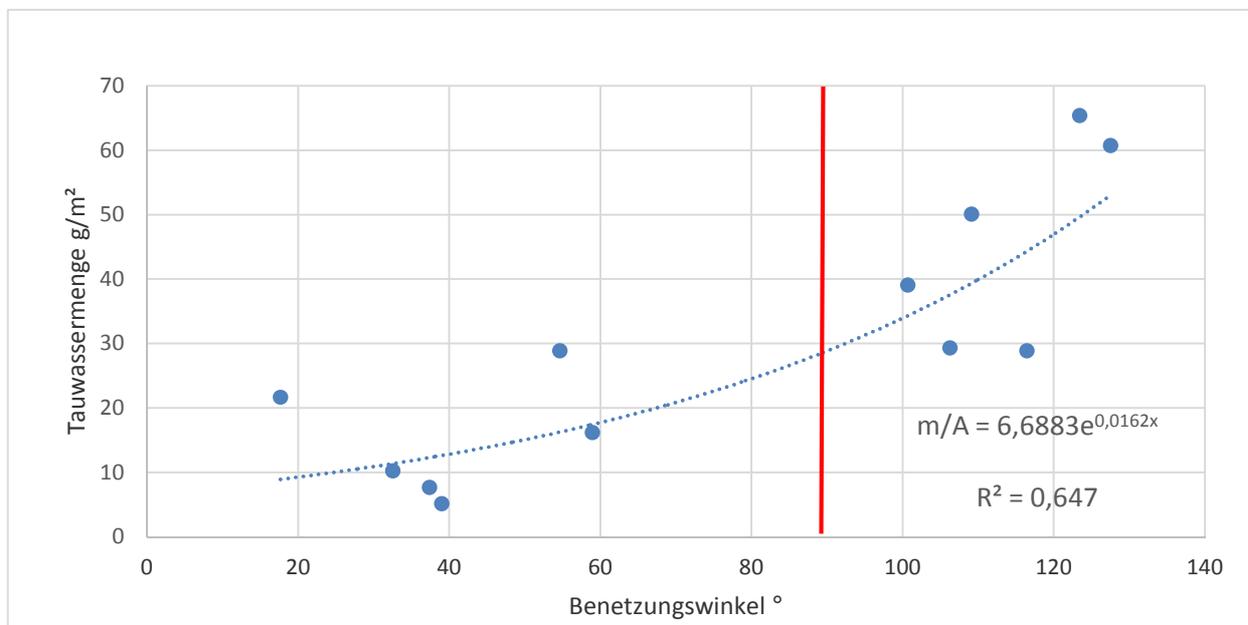


Abb. 102: Darstellung der Tauwassermenge im Zusammenhang mit dem Benetzungswinkel der Proben M1 bis O6.

Deutlich zu erkennen, je niedriger der Benetzungswinkel ist, desto geringer ist die Tauwassermenge. Bei einem Benetzungswinkel $<90^\circ$ (rote Markierung) kann man grundsätzlich von hydrophilen Eigenschaften des Oberputzes ausgehen [121]. Bei

einem Benetzungswinkel $>90^\circ$ kann man grundsätzlich von hydrophoben Eigenschaften ausgehen [121].

Grundsätzlich gilt es vom fachkundigen Planer, immer eine Abwägung zwischen einem guten Schlagregen- und Tauwasserschutz zu treffen.

Diese sind unter anderem: Der S_d Wert, Rohdichte (leichte oder schwere Konstruktion) dem Wasseraufnahmekoeffizient für den Schlagregen- und Tauwasserschutz, die stoffliche Zusammensetzung der äußeren Fassadenschicht, die Exposition durch die Umwelt, Gewässer in der Nähe, Himmelsrichtung, freie Bewitterung, Dachüberstände und Regenwasserführung sicher zu stellen. Dies kann maßgeblich die Lebenszykluskosten der Fassade reduzieren. Eine Veranschaulichung soll die folgende Abb. 103 aufzeigen.

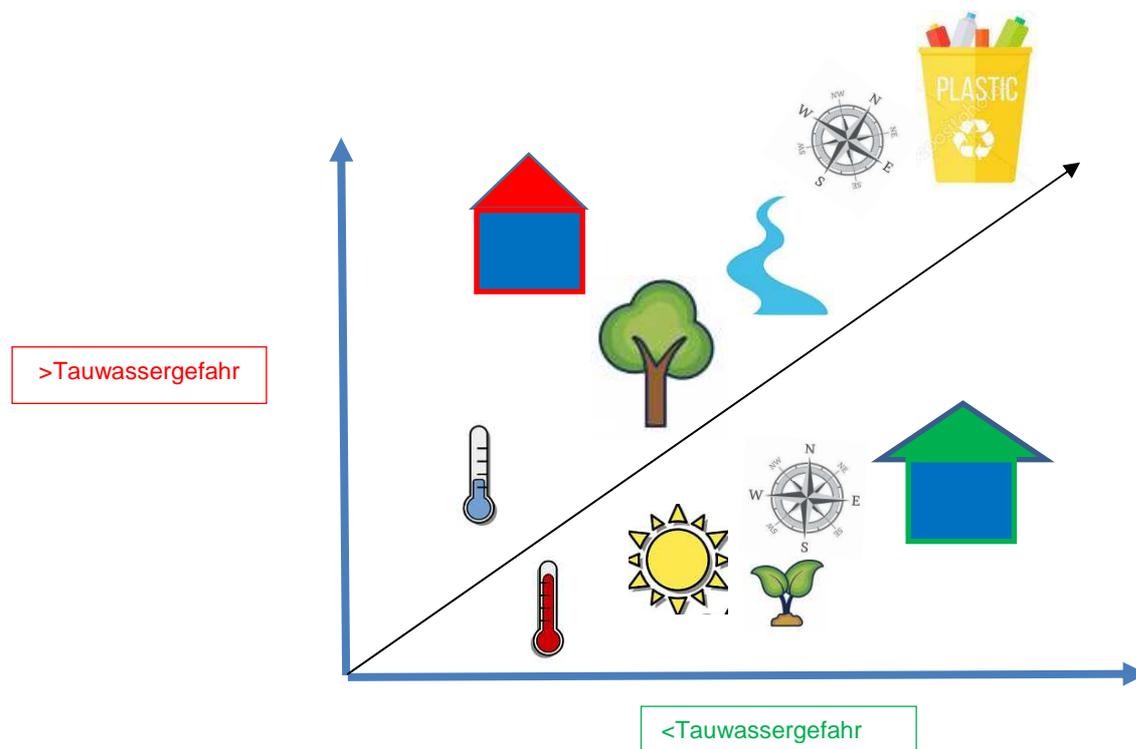


Abb. 103: Veranschaulichungsmodell einer Tauwassergefahr für die äußere Fassadenschicht.

Unterhaltungsaufwand für Fassaden:

Wartung und Unterhaltungen von Fassaden werden oftmals „stiefmütterlich“ betrachtet.

Art der Außen-schicht	Zeitdauer bis zur Renovierung in Jahren	
	Grenzwerte	Mittelwerte
Mineralischer Außenputz	15 bis 50	35
Fassadenanstriche	5 bis 20	10
Kunstharzputz auf Mauerwerk oder Dämmschicht	10 bis 25	18
Faserzement Bekleidung	10 bis 30	20

Tab. 07: Übersicht zum Renovierungsintervall unterschiedlicher Fassaden [122].

In der Tab. 07 dargestellt die Dauer der Renovierung einer Fassade. Nicht unerheblich können sich die Unterhaltungs- und Renovierungskosten durch verkürzte Fassadenanstrichintervalle aufgrund eines nicht optimalen Tauwasserverhaltens auswirken.

Preisanteile nach Kostenart



Abb. 104: Preisanteile bei Verputzarbeiten nach Kostengruppe 335 gemäß DIN 276 [123].

In der Abb. 104 zu Erkennen, dass der Anteil an Material bei Putzarbeiten nur ca. 1/3 der Gesamtkosten verursacht [123]. Aus der Sichtweise des Verfassers kann durch die Verwendung von Oberputzen und Fassadenfarben mit einem verbessertem physikalischem Tauwasserschutz ohne Biozide könnte der Intervallzeitraum des Anstrichs sowie die Finanzielle- und Umweltbelastung maßgeblich verringert werden kann.

Antworten zu den Fragestellungen im Kapitel 1.3 der Arbeit:

These I

Bislang gab es noch keine Möglichkeit den Tauwasserfilm dynamisch in periodischen Abständen zu messen. Lediglich statische Verfahren wurden genutzt.

Durchg das Verfahren - modifiziertes Laserscanmikroskop mit einer Kühlplatte - wurde es möglich, den Tauwasserfilm dynamisch zu messen [124].

Der organische Oberputz neigt schneller zur Tauwasserfilmbildung als mineralischer Oberputz an Fassaden[124].

These II

Mit Hilfe von dynamischen Messungen konnte aufgezeigt werden, dass das Tauwasserverhalten sich grundsätzlich zwischen mineralischem und organischem Oberputzen unterscheidet [125]. Dies kann letztendlich bei den unterschiedlichen Materialien zu einer Beeinflussung der Algenbesiedlung an der Fassade führen.

These III

Es wurden Messungen mit den Verfahren;

- Benetzungswinkel,
- Wasseraufnahmekoeffizient,
- Laserscanmikroskop mit Kühlplatte,
- Nebelkammer,

durchgeführt und konnte folgende Rückschlüsse liefern.

Die kunststoffmodifizierten mineralischen und organischen Oberputze absorbieren weniger Tauwasser als mineralische Oberputze [126].

Bei den Untersuchungen in dieser Arbeit wurde herausgefunden, dass die Menge des Tauwassers auf der Oberfläche der organischen Oberputze und der kunststoffmodifizierten Oberputze 3 bis 10 mal höher ist als bei den mineralischen Oberputzen [126].

These IV

Nach der Suche, um Materialunterschiede der Oberputze herauszufinden, mussten Materialspezifische Analyseverfahren eingesetzt werden. Mit der Materialanalyse mittels Röntgenfluoreszenzanalyse und der IR-Spektroskopie können grundlegende Aussagen zu den Inhaltsstoffen getroffen werden [126]. Mit diesen Methoden konnten grundlegende Aussagen getroffen werden, ob es sich um einen organischen-, kunststoffmodifizierten- oder einen mineralischen Oberputz handelt [126]. Der Hauptbestandteil dafür ist, das Bindemittel und die Zusatzmittel [126].

These V

Durch die gewählten Untersuchungsmethoden können grundlegenden bauphysikalischen Empfehlungen für ein verbessertes Tauwasserverhalten auf Putzoberflächen gegeben werden.

Durch die Grundlagenuntersuchungen kann die Aussage getroffen werden, dass organische und kunststoffmodifizierte Putze zu einer Verschlechterung des Tauwasserverhaltens führen [127]. Kunststoffe sollten möglichst nicht an der oberen Putzschicht verwendet werden, um einen verbesserten Tauwasserschutz zu gewährleisten.

Die vollständige Auswertung aller Versuche befinden sich in Kap. 6. im Anhang.

4. Schlussfolgerung

Oberflächen an Fassaden neigen immer stärker zur Algenbesiedlung. Effekte des zunehmenden besseren Wärmeschutzes der Gebäudehüllen, baukonstruktive Maßnahmen sowie der Klimawandel verstärken dies [125].

Die anfallende Tauwassermenge spielt dabei eine entscheidende Rolle, die in der Vergangenheit oftmals vernachlässigt wurde. Hauptsächlich stand ein guter Schlagregenschutz im Vordergrund. Bislang wurde die Tauwassermenge mit konventionellen Verfahren wie abtupfen und Wägung ermittelt. Mit einem alternativen Messverfahren auf Basis der Laserscanmikroskopie lassen sich Schichtdicken des Tauwasserfilms messtechnisch erfassen. Es ist somit möglich den Betauungszyklus bildhaft in einem Tauwasser-Profilogramm darzustellen [126]. Die Unterschiede lassen sich bei diversen Systemen und Werkstoffen hervorheben durch die Analysemethoden;

- Benetzungswinkelmessung
- Tauwassermenge,
- Wasseraufnahmekoeffizient und
- Materialanalytik.

Die Entwicklung einer modellhaften Darstellung zur zukünftigen Planung von Fassaden wäre somit für den Neubau und den Bestand möglich. Dieses Modell kann zur Herleitung einer neuen Kenngrößen zum Tauwasserverhalten im Fassadenschutz herangezogen werden vgl. Abb. 101, 102 und 103. Durch das zerstörungsfreie und dynamische Messverfahren kann es auch gelingen eine Kombination zwischen einem guten Schlagregenschutz sowie einem guten Tauwasserschutz gezielt zu erforschen.

Grundsätzlich sollte jede Putzlage auf das Mauerwerk abgestimmt werden. So ist zum Beispiel die Vorbereitung des Putzgrundes und Reinigung ausschlaggebend für eine perfekte Putzfassade. Bei der Putzschicht des Grundputzes gilt es den Putz auf die Rohdichte des Mauerwerks abzustimmen. Bei Ziegel z.B. mit einer Trockenrohddichte $\leq 1100 \text{ kg/m}^3$ gilt es Leichtputz Typ II zu verwenden [128]. Bei einem Mauerwerk mit einer höheren Rohdichteklasse $> 1300 \text{ kg/m}^3$ gilt es Normalputz zu verwenden [128]. Bei modernen Faserverstärkten Leichtputzen des Typ II gilt es diese zweilagig frisch in frisch aufzutragen. Bei stark beanspruchten Putzen durch



starke Exposition durch Schlagregen, Wind und wenig Dachüberstände empfiehlt das Regelwerk eine Zusätzliche Armierungslage mit Klebe- und Armierungsmörtel zwischen Grund- und Oberputz. Der Grundputz für sich betrachtet kann durch seine Optimierung keine Spannungen mehr aufnehmen oder in Gewebe ableiten [129].

Analysen im Vorfeld einer Maßnahme können auch als Entscheidungsgrundlage für den Endverbraucher herangezogen werden, der eine neue oder zu sanierende Fassade beauftragt.

Bauphysikalische Schutzmaßnahmen sind zu bevorzugen, da hierbei keine Belastungen der Umwelt durch Biozide und andere Gifte auftreten.



5. Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Es wurden keine anderen als die angegebenen Quellen und Hinweise verwandt. Die vorliegende Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Dreis, _____

Unterschrift



6. Anhang

6.1. Veröffentlichungen im Rahmen der Thesis

- I. Titel: Tauwasserprofilografie mit Hilfe der Laserscanmikroskopie
Autor: Torsten Steffgen
Coautor: Helmut Venzmer
Buch: Energielieferant Altbau, Seite 55 bis 62
Verlag: Beuth Verlag, Deutschland, Österreich, Schweiz, Berlin, Wien, Zürich
Erscheinungsjahr: 2017

- II: Titel: Kunststoffmodifizierte Putze sind Tauwasseranfällig
Autor: Torsten Steffgen
Coautor: Helmut Venzmer
E- Book: Bautenschutz Nachweismethoden und Anwendungen,
Kap. 4 Seite 1 bis 20
Verlag: Edition Bautenschutz, Deutschland, Poel
Erscheinungsjahr: 2018

- III: Titel: Experimental studies - Building physics investigations in condensation water on plaster surfaces
Autor: Torsten Steffgen
Buch: Pollack Periodica, Vol. 14xx
Verlag: Pollack Periodica, Ungarn, Pecs
Erscheinungsjahr: 2019



6.2. Persönlicher Werdegang

Persönliche Daten:

Name: Steffgen

Vorname: Torsten

Geburtsdatum: 01.11.1977

Geburtsort: Wittlich

Nationalität: Deutsch

Kontakt: tsteffgen@gmx.de

Berufsausbildung:

1998: Abschluss: Facharbeiterausbildung zum Straßenwärter

Weiterführende Schulen / Studium:

2001: Abschluss: Staatl. geprüfter Bautechniker am BNT Trier

2003: Abschluss: Technischer Betriebswirt am BNT Trier

2011: Abschluss: Bachelor of Arts (Betriebswirtschaft) an der Euro FH in Hamburg

2014: Abschluss: Master of Science (Bautenschutz) an der HS Wismar

2014-: PHD Studiengang und Doktorantenkolleg HS Wismar sowie University of Pecs

6.3. Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Beispielhafte Darstellung für eine Mauerabdeckung [23].	11
Abb. 02: Attika Ausbildung an einem Flachdach.	11
Abb. 03: Indirekte Eintragspfade von Bioziden in Gewässer [36].	13
Abb. 04: Fassade von einem Mehrfamilienhaus in Wismar (Deutschland).	15
Abb. 05: Büro und Verwaltungsgebäude in der Eifel (Deutschland).	15
Abb. 06: Landwirtschaftliche Scheune in der Eifel (Deutschland).	16
Abb. 07: Mehrfamilienhaus in Pécs (Ungarn).	16
Abb. 08: Übersicht der Einflussgrößen für eine Reduzierung des Algenwachstums an Putzoberflächen an Fassaden.	17
Abb. 09: Schematische Darstellung der fortschreitenden Wassereinlagerung in einer Baustoffpore bei steigendem Wassergehalt nach Rose [42].	18
Abb. 10: Wasseraufnahmemechanismen und Porengröße. [43]	18
Abb. 11: Wirkungsweise hydrophil und hydrophob[45]	19
Abb. 12: Unterschiedliche Mechanismen der Wasseraufnahme [46]	20
Abb. 14: Vergleich Tauwasserbildung-Schlagregenbelastung [54].	22
Abb. 15: Tempelanlage von Knossos (Kreta).	24
Abb. 16: Historische Fassade einer Apotheke (Mitte), Bürgerhaus (Links und Rechts) in Wismar (Deutschland).	25
Abb. 17: Historische Fassade des Theaters in Pécs (Ungarn).	25
Abb. 18: Nachbildung einer historischen Fassade eines Kaufhauses in München (Deutschland).	26
Abb. 19: Strategiemodell der Charta von Venedig [59].	27
Abb. 20: Zeitliche Entwicklung der Mörtel und Putze [60].	27
Abb. 21: Öffentliches Gebäude in der Eifel (Scheibenputz).	32
Abb. 22: Wohnhaus in der Eifel (Spritzputz).	33
Abb. 23: Mehrfamilienwohnhaus in der Eifel (Kratzputz).	33
Abb. 24: Wohnhaus in der Eifel (Strukturputz).	34
Abb. 25: Wohnhaus in der Eifel (Rillenputz).	34
Abb. 26: Schritte der Bauwerksdiagnostik. [77]	36
Abb. 27: Probekörper für den Versuchsablauf.	37
Abb. 28: Prüfanordnung der Proben nach EN ISO 15148: 2002. [91]	42
Abb. 29: Wasseraufnahmekoeffizient (w-Wert) nach EN ISO 15148 [92]	42
Abb. 30: Versuchsaufbau zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten, hier Probe M4.	43
Abb. 31: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M1.1.	44
Abb. 32: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M2.1.	44
Abb. 33: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe M6.1.	45
Abb. 34: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O1.1.	45
Abb. 35: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O2.1.	46
Abb. 36: Beispiel Massenzunahme- Zeit-Diagramm Probe O3.1.	46
Abb. 37: Beispiel Massenzunahme-Zeit-Diagramm Probe O5.1.	47
Abb. 38: Arithmetisches Mittel der Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Proben M1 bis M6.	47
Abb. 39: Arithmetisches Mittel der Wasseraufnahmekoeffizienten in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Proben O1 bis O6.	48
Abb. 40: Gegenüberstellung des Wasseraufnahmekoeffizient in $\text{kg/m}^2\text{h}^{0,5}$ der Proben M1 bis O6.	49

Abb. 41: Darstellung der Tauwasserentstehung durch die Abkühlung der Lufttemperatur [98].	51
Abb. 42: Tauwasserausfall auf einer Glasscheibe im Sommer 2018.	51
Abb. 43: Schematische Darstellung einer gedämmten Außenwand (Tags links), (Nachts rechts) [99].	52
Abb. 44: Versuchsaufbau zur Tauwassermessung mit einem Dampferzeuger und anschließende Wägung.	53
Abb. 45: Arithmetisches Mittel der Tauwassermenge der mineralischen Scheiben- Oberputze M1 bis M6.	53
Abb. 46: Arithmetisches Mittel der Tauwassermenge der organischen Scheiben- Oberputze O1 bis O6.	54
Abb. 47: Gegenüberstellung der Tauwassermenge der Proben (M1 bis M6) und (O1 bis O6).	54
Abb. 48: Tauwassermenge (blau) sowie der Massenzunahme (hellblau) der Proben M1 bis M6.	55
Abb. 49: Tauwassermenge (rot) sowie der Massenzunahme (hell blau) der Proben O1 bis O6.	55
Abb. 51: Versuchsaufbau mit Laserscanmikroskop Keyence VK 9700 und Kühlplatte.	58
Abb. 52: Messung in 3D vor der Betauung (t = 0min.), Probe M5.	59
Abb. 53: Rautiefenmessung vor der Betauung (t = 0min.), Probe M5.	59
Abb. 54: Messung in 3D während der Betauung (t = 10min.), Probe M5.	60
Abb. 55: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 10min.), Probe M5.	60
Abb. 56: Messung in 3D während der Betauung (t = 20min.), Probe M5.	61
Abb. 57: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 20min.), Probe M5	61
Abb. 58: Messung in 3D während der Betauung (t = 30min.), Probe M5.	62
Abb. 59: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 30min.), Probe M5.	62
Abb. 60: Messung in 3D während der Betauung (t = 40min.), Probe M5.	63
Abb. 61: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 40min.), Probe M5.	63
Abb. 62: Messung in 3D während der Betauung (t = 50min.); Probe M5.	64
Abb. 63: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 50min.), Probe M5.	64
Abb. 64: Messung in 3D während der Betauung (t = 60min.), Probe M5.	65
Abb. 65: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 60min.), Probe M5.	65
Abb. 66: Darstellung des Tauwasserzuwachs der Probe M5.	66
Abb. 67: Messung in 3D vor der Betauung (t = 0min.), Probe O2.	67
Abb. 68: Rautiefenmessung vor der Betauung (t = 0min.), Probe O2.	67
Abb. 69: Messung in 3D während der Betauung (t = 10min.), Probe O2.	68
Abb. 70: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 10min.), Probe O2.	68
Abb. 71: Messung in 3D während der Betauung (t = 20min.), Probe O2.	69
Abb. 72: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 20min.), Probe O2.	69
Abb. 73: Messung in 3D während der Betauung (t = 30min.), Probe O2.	70
Abb. 74: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 30min.), Probe O2.	70
Abb. 75: Messung in 3D während der Betauung (t = 40min.), Probe O2.	71
Abb. 76: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 40min.), Probe O2.	71
Abb. 77: Messung in 3D während der Betauung (t = 50min.), Probe O2.	72
Abb. 78: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 50min.), Probe O2.	72
Abb. 79: Messung in 3D während der Betauung (t = 60min.), Probe O2.	73
Abb. 80: Rautiefenmessung während der Betauung (t = 60min.), Probe O2.	73
Abb. 81: Darstellung des Tauwasserzuwachs der Probe O2.	74
Abb. 82: Gegenüberstellung der gemessenen Tauwasserfilmstärke Probe M1 bis O6 in μm.	74
Abb. 83: Vektorielle Darstellung am liegenden Tropfen [105].	76

Abb. 84: Mikroskop zur Benetzungswinkelmessung.	77
Abb. 85: Benetzungswinkelmessung der Probe O2, hier 100,736°.	78
Abb. 86: Darstellung der Benetzungswinkel der Proben M1 bis M6.	78
Abb. 87: Darstellung der Benetzungswinkel der Proben O1 bis O6.	79
Abb. 88: Ergebnisdiagramm der gemessenen Benetzungswinkel der Proben M1 bis O6.	79
Abb. 89: Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mit dem Olympus XRF [108].	81
Abb. 90: Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mit dem Olympus XRF, hier beim Messvorgang [108].	81
Abb. 91: Materialanalyse per (RFA), Zusammenstellung der Inhaltsstoffe der Proben M1 bis M6.	82
Abb. 92: Schematische Darstellung der Wirkungsweise eines erhärteten Silikonharzfilmes [112].	83
Abb. 93: Materialanalyse per (RFA), Zusammenstellung der Inhaltsstoffe der Proben O1 bis O6.	83
Abb. 94: Materialanalyse per IR-Spektroskopie, Thermo-Fisher-FTIR-Spektrometer, Typ Nicolet iS10 [116].	84
Abb. 95: Beispiel Wellenschwingung mit Wellenzahlen der IR-Spektroskopie der Probe O1 [117].	86
Abb. 96: Beispiel Wellenschwingung mit Wellenzahlen der IR-Spektroskopie der Probe M1 [118].	87
Abb. 97: Beziehungen der Gefahr einer Algenbesiedlung an einer Fassade.	88
Abb. 98: Gegenüberstellung der Wasseraufnahmekoeffizient der Proben M1 bis O6	89
Abb. 99: Ergebnistabelle der Benetzungswinkel der Proben M1 bis O6.	90
Abb. 103: Veranschaulichungsmodell einer Tauwassergefahr für die äußere Fassadenschicht.	93
Abb. 104: Preisanteile bei Verputzarbeiten nach Kostengruppe 335 gemäß DIN 276 [123].	94

6.4. Tabellenverzeichnis

Tab. 01: Mineralische Putzmörtelgruppen gemäß DIN EN 18550:2014 [68].	30
Tab. 02: Versuchsablaufplan, M = mineralischer Oberputz, O = organischer Oberputz	41
Tab. 03: w-Wert der Versuche, arithmetische Mittel aus Probe M1.1 bis O6.3.	43
Tab. 04: Darstellung des Taupunkts in Abhängigkeit der Temperatur und rel. Luftfeuchte [95].	50
Tab. 05: Tabellarische Darstellung des Wasserdampfgehalts in der Luft in Abhängigkeit der Lufttemperatur [97].	50
Tab. 06: Gegenüberstellung der konventionellen und alternativen Methode mittels Laserscanmikroskop zur Tauwasseranalytik [103].	75
Tab. 07: Übersicht zum Renovierungsintervall unterschiedlicher Fassaden [122].	94

6.5. Quellenverzeichnis

- [1] Weißert M. und 9 Mitautoren: Technisches Handbuch Putz Stuck Trockenbau Wärmedämmung 3. Auflage. Stuttgart, Eigenverlag des Fachverbandes, 2010. Seite 544
- [2] <https://de.wikipedia.org/wiki/Vitruv>, besucht am 01.10.2018
- [3] Venzmer H., Lesnych N. Koss L.: Oberflächentechnologien und Bautenschutz; Beuth Verlag Berlin-Wien-Zürich 2010. Seite 35
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/Bauwerksabdichtung>, besucht am 01.10.2018
- [5] Kloos S., Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 132
- [6] Krus M., Thiel A., Born A., Höfener S.: Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 159- 160
- [7] Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 27
- [8] Von Werder J., Kogan D. Venzmer H.: Oberflächentechnologien und Bautenschutz; Beuth Verlag Berlin-Wien-Zürich 2010. Seite 225- 227
- [9] Kloos S., Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 127- 133
- [10] Kramme A., Hoffmann M., Venzmer H.: Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 63
- [11] Szodrai F., Lakatos A. Effect of the air motion on the heat transport behavior of wall structures, Pollack Periodica, Vol. 8, No. 1, 2017, S. 67– 73.
- [12] Porhincak M., Estokava A., Vilcekova S. Comparison of environmental impact of building materials of three residential buildings, Pollack Periodica, Vol. 6, No. 3, 2011, S. 53– 62.
- [13] Donelly K., Mahle M., Chamberlain heights redevelopment: A large scale, cold climate study of affordable housing retrofits, Build America, US Department of Energy, 2012,
https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/chamberlain_hgths_redev.pdf, besucht am 01.04. 2018.
- [14] Buildings and climate change: status, challenges and opportunities, United Nation Environment Programme,
<https://www.unenvironment.org/resources/report/buildings-and-climate-change-status-challenges-and-opportunities>, besucht am 10.02.2018.



- [15] Kochin V., Wiehagen J. Construction guide, Next generation high performance walls, Build America, U.S. Department of Energy, June 2017, https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/construction-guide-to-next-generation-high-performance-walls-in-climate-zones-3-5-part-2-2x4-walls_5.pdf, besucht am 04.03.2018.
- [16] Wright G. S., Klingenberg K. Climate- specific passive building standards, Build America, U.S. Department of Energy, July 2015, https://www1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/building_america/climate-specific-passive-building.pdf, besucht am 03.03.2018.
- [17] Venzmer H., von Werder J., Kogan D.: Oberflächentechnologien und Bautenschutz; Beuth Verlag Berlin-Wien-Zürich, 2010. Seite 225
- [18] Venzmer H., von Werder J., Kogan D.: Oberflächentechnologien und Bautenschutz; Beuth Verlag Berlin-Wien-Zürich, 2010. Seite 233
- [19] Künzel H.M. H., Fitz C., Krus M.: Fassadensanierung; Beuth Verlag, Berlin-Wien-Zürich, 2010. Seite 34
- [20] Merkblatt Egalisationsanstriche auf Edelputzen von Industrieverband Werk Mörtel e.V. (Ausgabe 2009)
- [21] https://www.hzdr.de/FWR/DOCS/Sorption_Skript_2011.pdf, besucht am 08.09.2018
- [22] Resch M. :Praxishandbuch Bautenschutz; Rudolf Müller Verlag, Köln, 2012. Seite 158-165
- [23]https://www.rheinzink.de/fileadmin/inhalt/bilder/ebooks/8686749485b8692428c6b3/index_de.html#page/14https, besucht am 02.10.2018
- [24] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009,Seite 3
- [25] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009,Seite 6
- [26] Burkhardt M., Vonbank R., Schwitzer Federal Environmental Agency (BAFU),Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 41



- [27] Burkhardt M., Vonbank R., Schwitzer Federal Environmental Agency (BAFU), Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 44
- [28] Burkhardt M., Vonbank R., Schwitzer Federal Environmental Agency (BAFU), Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 45
- [29] Burkhardt M., Vonbank R., Schwitzer Federal Environmental Agency (BAFU), Biozide in Gebäudefassaden – ökotoxikologische Effekte, Auswaschung und Belastungsabschätzung für Gewässer, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 36- 37
- [30] Burkhardt M., Vonbank R., Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU), Auswaschung von verkapselter Bioziden aus Fassaden, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 1
- [31] Burkhardt M., Vonbank R., Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU), Auswaschung von verkapselter Bioziden aus Fassaden, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 3
- [32] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragungspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009, Seite 38ff
- [33] Burkhardt M., Vonbank R., Schweizer Bundesamt für Umwelt (BAFU), Auswaschung von verkapselter Bioziden aus Fassaden, Bern, (Schweiz), 2011, Seite 11ff.
- [34] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragungspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009, Seite 26
- [35] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragungspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009, Seite 4
- [36] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragungspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009, Seite 19
- [37] https://www.jurion.de/gesetze/abwv/anhang_1/, besucht am 15.08.2018
- [38] https://www.gesetze-im-internet.de/abfkl_rv_2017/, besucht am 15.08.2018
- [39] http://www.gesetze-im-internet.de/d_mv_2012/anlage_2.html, besucht am 18.05.2018

- [40] Kahle M., Nöh I., Umweltbundesamt: Biozide in Gewässern: Eintragspfade und Informationen zur Belastungssituation und deren Auswirkungen, Dessau- Roslau (Germany) 2009, Seite 14
- [41] Umweltbundesamt, Merkblatt 2, für Planer, Entscheidungshilfen zur Verringerung des Biozideinsatzes an Fassaden, Dessau- Roslau (Germany), Seite 4
- [42] Fischer H. M., Jenisch R., Stohrer M., Homann M., Freymuth H., Richter E., Häupl P.: Lehrbuch der Bauphysik, 6. Auflage, Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, 2008, Seite 357
- [43] <http://www.kbb-weber.de/files/Wasseraufnahme.pdf> , Seite 59, besucht am 14.08.2018
- [44] Venzmer, H.: Praxishandbuch Mauerwerkssanierung A- Z: -Berlin: Verlag Bauwesen, 2001. Seite 365
- [45] Spirgatis, R.; Engel, J.: Deutscher Holz- und Bautenschutzverband e.V.: Schützen und Erhalten, - Köln: DHBV Verlag, Ausgabe September 2010. Seite 12
- [46] Weber H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. –Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 70
- [47] Weber, H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. –Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 73.
- [48] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite 52
- [49] Schneider, K.-J.: Bautabellen für Ingenieure. 13. Auflage. –Düsseldorf: Werner Verlag, 1998. Seite 10.37
- [50] Venzmer H., von Werder J., Kogan D. : Oberflächentechnologien und Bautenschutz. – Berlin: Beuth Verlag, 2010. Seite 236
- [51] Heinze, P; Plagge, R.: Engel, J.: Bauen im Bestand (B+B), - Köln:Verlagsgesellschaft Rudolf Müller , Ausgabe 1.2012. Seite 24- 29
- [52] Wirtz, P.; Karon, Y: Bauen im Bestand (B+B), -Köln:Verlagsgesellschaft Rudolf Müller , Ausgabe 4.2011. Seite 54- 57
- [53] Wirtz, P.; Karon, Y: Bauen im Bestand (B+B), -Köln:Verlagsgesellschaft Rudolf Müller , Ausgabe 4.2011. Seite 57
- [54] Künzel H., Fitz C., Krus M., Fassadensanierung Praxisbeispiele, Produkteigenschaften, Schutzfunktionen, Beuth Verlag Berlin, München, Zürich. 1. Auflage 2011, Seite 35

- [55] Künzel H., Fitz C., Krus M., Fassadensanierung Praxisbeispiele, Produkteigenschaften, Schutzfunktionen, Beuth Verlag Berlin, München, Zürich. 1. Auflage 2011, Seite 25- 27
- [56] <http://www.projekt-baudenkmal.de/stichwoerter/o/opus-signinum/>, besucht am 20.09.2018
- [57] <https://www.igrodry.com/de/cocciopesto-antica-innovazione/>, besucht am 20.09.2018
- [58] http://charta-von-venedig.de/denkmalpflege-kongress_restaurierung_art.9-13_deutsch.html, besucht am 23.07.2018
- [59] <http://charta-von-venedig.de/konservieren-restaurieren-renovieren-anfuegen-neumachen.html>, besucht am 23.07.2018
- [60] Weber H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. –Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 26
- [61] Röhlen U., Ziegert Ch., Lehmbau- Praxis. Berlin, Bauwerk Verlag, 2010. Seite 175- 263
- [62] Peschel P., Dickel R., Kickler J., Mentlein H., Trutzenberg T.: Tabellenbuch Bautechnik. Haan- Gruiten, Europa Lernmittel, 2012, 11. Auflage, Seite 226-229
- [63] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite 73
- [64] [https://de.wikipedia.org/wiki/Putz_\(Baustoff\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Putz_(Baustoff)), besucht am 25.08.2018
- [65] <http://svlfc.ch/wp-content/uploads/2016/05/kunstharpzputze.pdf>, besucht am 24.04.2018
- [66] Dettmering T., Kollmann H., Putze in Bausanierung und Denkmalpflege. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2012, Seite 173
- [67] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite V
- [68] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite 15
- [69] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite 13
- [70] <https://www.beton.org/fileadmin/beton-org/media/Dokumente/PDF/Service/Zementmerkbl%C3%A4tter/B3.pdf>, besucht am 10.06.2018

- [71] https://www.heidelbergcement.de/.../architekten-ordner_kapitel_01_beton_2016.pdf?, besucht am 29.09.2018
- [72] Dettmering T., Kollmann H., Putze in Bausanierung und Denkmalpflege. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2012, Seite 8-9
- [73] Steinlechner U.: Normen Handbuch; Planung, Zubereitung und Ausführung von Innen- und Außenputzen. Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2016, Seite 39
- [74] Gasch H. A., Glaser G., Historische Putze. Dresden, Sandstein Verlag, 2011, Seite 12-108
- [75] Backe, H.: Hiese, W.: Baustoffkunde, 8. Auflage.- Düsseldorf: Werner Verlag, 1997. Seite 274
- [76] Piltz, H.: Härig, S.: Schulz, W.: Technologie der Baustoffe, 5. Auflage.- Heidelberg: Dr. Lüdecke- Verlagsgesellschaft, 1977. Seite 504
- [77] In Anlehnung an Venzmer, H.: Praxishandbuch Mauerwerkssanierung A-Z: - Berlin: Verlag Bauwesen, 2001. Seite 69
- [78] [REDACTED]
- [79] [REDACTED]
- [80] Probe M 3; Peschel P., Dickel R., Kickler J., Mentlein H., Trutzenberg T.: Tabellenbuch Bautechnik. Haan- Gruiten, Europa Lernmittel, 2012, 11. Auflage, Seite 227
- [81] [REDACTED]
- [82] [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [83] [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [84] [REDACTED]
- [85] [REDACTED]
- [86] [REDACTED]
- [87] [REDACTED]
- [REDACTED]
- [88] [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

[89]

[90] EN ISO 15148:2002, Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten, Beuth Verlag, Berlin, (Germany) 2002. Seite 4

[91] EN ISO 15148:2002, Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten bei teilweisem Eintauchen. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten, Beuth Verlag, Berlin, (Germany) 2002. Seite 8

[92] <http://www.kbb-weber.de/files/Wasseraufnahme.pdf> , Seite 59, besucht am 01.10.2018

[93] Fischer H. M., Jenisch R., Stohrer M., Homann M., Freymuth H., Richter E., Häupl P.: Lehrbuch der Bauphysik, 6. Auflage, Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag, 2008, Seite 382

[94] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kondenswasser>, besucht am 10.06.2018

[95] <https://www.bauchemie24.de/taupunkttafel>, besucht am 10.06.2018

[96] <https://www.schweizer-fn.de/lueftung/feuchte/feuchte.php>, besucht am 23.07.2018

[97] http://www.aso-hamburg.de/de/pdf/aso_absolute_feuchte.pdf, besucht am 23.07.2018

[98] <https://www.schoeck.de/de/luftfeuchtigkeit>, besucht am 24.07.2018

[99] Krus M., Holm A., Sedlbauer K., Künzel H.-M. : Europäischer Sanierungskalender 2006 für Holz- und Bautenschutz in Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege, Berlin, Huss Medien Verlag, 2006, Seite 227

[100] <https://www.bauwion.de>, besucht am 27.09.2018].

[101] Hertel G. und 15 Mitautoren, Immobilien und Bauschadensbewertung, Renningen, Expert Verlag, 2008, Seite 187

[102] Keyence Corporation, Osaka, Japan, 3D- Farblasermikroskopie, VK-9700K Spezielle Bildzusammensetzungssoftware VK-H1J1E, Seite 1-1 bis 6-6

[103] Steffgen T., Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 61

[104] Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 29



- [105] http://www.aktuelle-wochenschau.de/druck/2011/wochenschau12_2011.pdf, zuletzt besucht am 24.06.2018
- [106] Weber, H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. – Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 407-409
- [107] <https://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%B6ntgenfluoreszenzanalyse>, besucht am 10.08.2018
- [108] Len A., Hungarian Academy of Sciences Centre for Energy Research, Nuclear Analysis and Radiography Department
- [109] <http://www.chemie.de/lexikon/Thallium.html>, besucht am 30.09.2018
- [110] <http://www.gesundheits-lexikon.com/Labormedizin-Labordiagnostik/Schwermetalle/Thallium.html>, besucht am 29.09.2018
- [111] WTA Merkblatt 4-11-02/D: Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen. -Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010. Seite 4-5
- [112] WTA Merkblatt 4-11-02/D: Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen. -Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010. Seite 4
- [113] WTA Merkblatt 4-11-02/D: Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen. -Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010. Seite 8
- [114] WTA Merkblatt 4-11-02/D: Hydrophobierende Imprägnierung von mineralischen Baustoffen. -Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2010. Seite 9
- [115] <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/infrarotspektroskopie/4458>, besucht am 13.09.2018
- [116] Lüdemann W. E., Labor für Instrumentalanalytik, Ratzeburg
- [117] Lüdemann W. E., Labor für Instrumentalanalytik, Bericht 0948, Ratzeburg 2018
- [118] Lüdemann W. E., Labor für Instrumentalanalytik, Bericht 0811, Ratzeburg 2018
- [119] Weber, H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. – Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 55
- [120] Weber, H; und 16 Mitautoren: Fassadenschutz und Bausanierung. – Renningen: Expert Verlag, 1994. Seite 369
- [121] http://www.chemie.de/lexikon/Hydrophobie_%28Chemie%29.html, besucht am 30.10.2018

- [122] Künzel H., Fitz C., Krus M., Fassadensanierung Praxisbeispiele, Produkteigenschaften, Schutzfunktionen, Beuth Verlag Berlin, München, Zürich. 1. Auflage 2011, Seite 49
- [123]<https://www.baupreislexikon.de/Member/Prices/contPropertyValue.aspx?groupId=256&catalogId=STLB-Bau&groupType=T>, besucht am 04.10.2018
- [124] Steffgen T., Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 55
- [125] Steffgen T., Venzmer H., Energielieferant Altbau, Berlin, Wien, Zürich, Beuth Verlag, 2017, Seite 58 - 60
- [126] Steffgen T. Kunststoffmodifizierte Putze sind Tauwasseranfällig, Wismar, Edition Bautenschutz 2018, Kapitel 4
- [127] Steffgen T., Experimental studies - Building physics investigations in condensation water on plaster surfaces. Pollack Periodica Vol. 14xx, 2019
- [128] Industrieverband WerkMörtel e.V: Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Düsseldorf, 2014. Seite 16 -18
- [129] Industrieverband WerkMörtel e.V: Leitlinien für das Verputzen von Mauerwerk und Beton. Düsseldorf, 2014. Seite 18- 20

6.6 Untersuchungsergebnisse und Analysen

6.6.1. Materialkennwerte

Mineralischer Oberputz M 1

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Scheibeputz Marmor ist ein Oberputz für außen und innen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, mineralischer Trockenmörtel nach DIN EN 998-1
Zusammensetzung:	Weißzement, Weißkalkhydrat, klassierte mineralische Zuschläge, Hydrophobierungsmittel, Zusätze für eine bessere verarbeitbarkeit und Haftung am Putzgrund.
Produkteigenschaften:	Schafft ein gesundes Wohnklima durch optimale Wasserdampfdurchlässigkeit bietet den hohen Schlagregenschutz der beanspruchungsklasse III



nach DIN 4108, ist maschinell un von Hand zu ver-
arbeiten.

Technische Werte:

Druckfestigkeit:	$\geq 1,5\text{N/mm}^2$
Wasseraufnahmekoeffizient w DIN 18550:	$< 0,5[\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)]$
Koeffizient der Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN998-1	>20
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht sd (DIN EN ISO 7738-2)	$<0,1\text{m}$
Kategorie der kapillaren Wasseraufnahme (DIN EN 998-1)	W1
Maximale Wasseraufnahme	150g/m^2
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchtigkeit in 18h	100g/m^2
Kategorie der Druckfestigkeit (DIN EN 998-1)	CSII
Mörtelgruppe (DIN 18550)	P II
Brandverhalten (EN 13501-1)	A1
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. $3,0\text{Kg/m}^2$
Wasserbedarf:	ca. $8\text{l}/30\text{Kg}$
Gebinde:	Papiersack 30 Kg

Mineralischer Oberputz M 2

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibeputz für außen und innen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, mineralischer Trockenmörtel nach DIN EN 998-1
Zusammensetzung:	Weißzement, Weißkalkhydrat, Hydrophobierungsmittel, Zusätze für eine bessere Verarbeitbarkeit und Haftung am Putzgrund. Kalk-, Zement und lichtechte Pigmente, klassierte mineralische Zuschläge.
Produkteigenschaften:	Schafft ein gesundes Wohnklima durch optimale Wasserdampfdurchlässigkeit bietet den hohen Schlagregenschutz der Beanspruchungsklasse III nach DIN 4108, ist maschinell un von Hand zu ver- arbeiten.



Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	$\geq 1,5\text{N/mm}^2$
Wasseraufnahmekoeffizient w DIN 18550:	$<0,5\text{kg/m}^2 \times \text{Vh}$
Koeffizient der Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN998-1	≤ 20
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht sd (DIN EN ISO 7738-2)	$<0,1\text{m}$
Kategorie der kapillaren Wasseraufnahme (DIN EN 998-1)	W1
Maximale Wasseraufnahme	150g/m^2
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchtigkeit in 18h	100g/m^2
Kategorie der Druckfestigkeit (DIN EN 998-1)	CSII
Mörtelgruppe (DIN 18550)	P II
Brandverhalten (EN 13501-1)	A1
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. $3,0\text{Kg/m}^2$
Wasserbedarf:	ca. $8\text{L}/30\text{Kg}$
Gebinde:	Papiersack 30 Kg

Mineralischer Oberputz M 3

Anwendungsgebiet: Baustellenmischung Oberputz, 2mm Korn, Eigenmischung

Mineralischer Oberputz M 4

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2018):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet: Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.

Produktbeschreibung: Werkseitig hergestellter, mineralischer Trockenmörtel nach DIN EN 998-1

Zusammensetzung: Weißzement, Weißkalkhydrat,
klassierte mineralische Zuschläge,
Zusätze für eine bessere Verarbeitbarkeit und Haftung am Putzgrund. Kalk-, Zement und lichtechte Pigmente, Hydrophormierungsmittel.



Produkteigenschaften: Schafft ein gesundes Wohnklima durch optimale Wasserdampfdurchlässigkeit bietet den hohen Schlagregenschutz der Beanspruchungsklasse III nach DIN 4108, ist maschinell un von Hand zu verarbeiten.

Technische Werte:

Druckfestigkeit:	$\geq 1,5\text{N/mm}^2$
Wasseraufnahmekoeffizient w DIN 18550:	$<0,5[\text{kg}/(\text{m}^2\text{h}0,5)]$
Koeffizient der Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN998-1	≤ 20
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht sd (DIN EN ISO 7738-2)	$<0,1\text{m}$
Kategorie der kapillaren Wasseraufnahme (DIN EN 998-1)	W2
Maximale Wasseraufnahme	150g/m ²
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchtigkeit in 18h	100g/m ²
Kategorie der Druckfestigkeit (DIN EN 998-1)	CSII
Mörtelgruppe (DIN 18550)	P II
Brandverhalten (EN 13501-1)	A1
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,0Kg/m ²
Wasserbedarf:	ca. 8L/30Kg
Gebinde:	Papiersack 30 Kg

Mineralischer Oberputz M 5

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand September 2013):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, mineralischer Trockenmörtel nach DIN EN 998-1
Zusammensetzung:	Kalkhydrat, Weißzement, klassierte Marmorkörnung, Wasserrückhaltende und Wasserabweisende Zusätze.
Produkteigenschaften:	Zur Herstellung von dezenter Scheibenputzstruktur (kratzputzstruktur) durch Abreiben mit einer PVC Traufel.



Beanspruchungsklasse, ist maschinell un von Hand zu verarbeiten.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	k.A.
Wasseraufnahmekoeffizient w DIN 18550:	k.A.
Koeffizient der Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN998-1	≤ 20
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht sd (DIN EN ISO 7738-2)	k.A.
Kategorie der kapillaren Wasseraufnahme (DIN EN 998-1)	W2
Maximale Wasseraufnahme	k.A.
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchtigkeit in 18h	k.A.
Kategorie der Druckfestigkeit (DIN EN 998-1)	CSII
Mörtelgruppe (DIN 18550)	P II
Brandverhalten (EN 13501-1)	A1
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,0Kg/m ²
Wasserbedarf:	k.A.
Gebinde:	Papiersack 30 Kg

Mineralischer Oberputz M 6

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand September 2013):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen und innen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, mineralischer Trockenmörtel nach DIN EN 998-1
Zusammensetzung:	Kalkzemente, Kalkstein- und Marmorkorn und Hydrophobierungsmittel.
Produkteigenschaften:	Zur Herstellung von einer Scheibenputzstruktur Beanspruchungsklasse, ist maschinell un von Hand zu verarbeiten.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	2,2N/mm ²
Wasseraufnahmekoeffizient w DIN 18550:	k.A.



Koeffizient der Wasserdampfdurchlässigkeit: DIN EN998-1	11
Wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschicht sd (DIN EN ISO 7738-2)	k.A.
Kategorie der kapillaren Wasseraufnahme (DIN EN 998-1)	W2
Maximale Wasseraufnahme	k.A.
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchtigkeit in 18h	k.A.
Kategorie der Druckfestigkeit (DIN EN 998-1)	CSII
Mörtelgruppe (DIN 18550)	P II
Brandverhalten (EN 13501-1)	A1
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 2,8Kg/m ²
Wasserbedarf:	7-9l
Gebinde:	Papiersack 30 Kg

Organischer Oberputz O 1

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Silikat- Scheibenputz

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet: Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Produktbeschreibung: Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).

Zusammensetzung: Organische Bindemittel, Kaliwasserglas klassierte mineralische Zuschläge, Zusätze für eine bessere verarbeitung und Haftung am Putzgrund, hochwertige Pigmente, Hydrohobierungsmittel.

Enthält 2- Octyl-2H-isothiazol-3-on, 1,2-Beisothiazol

Produkteigenschaften: Schafft ein gesundes Wohnklima durch optimale Wasserdampfdurchlässigkeit ist witterungsbeständig und wasserabweisend, lösemittelfrei. Technische Werte:

Druckfestigkeit: k.A.

Wasserdurchlässigkeitsrate (DIN EN 1062-3) <0,3kg/m²·h



Wasserdurchlässigkeit (DIN EN 15824)	W3
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 1062-1)	V1
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 7783-2)	>150g/m ² d
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (DIN ISO 7783-2)	<0,2m
Maximale Wasseraufnahme	150g/m ²
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	100g/m ²
Haftfestigkeit	≥ 0,3MPa
Brandverhalten	Euroklasse A2-s1, d0
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,5Kg/m ²
Wasserbedarf:	ca. 0 kg
Gebinde:	Eimer 25 Kg
Besonderer Hinweis:	Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

Organischer Oberputz O 2

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet: Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.

Produktbeschreibung: Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).

Zusammensetzung: Organische Bindemittel, Polysiloxane klassierte mineralische Zuschläge, Zusätze für eine bessere verarbeitung und Haftung am Putzgrund, hochwertige Pigmente, Hydrohobierungsmittel.

Enthält 2- Octyl-2H-isothiazol-3-on, 1,2-Bezisothiazol

Produkteigenschaften: Schafft ein gesundes Wohnklima durch optimale Waserdampfdurchlässigkeit ist witterungsbeständig und wasserabweisend, lösemittefrei. Teschnische Werte:

Druckfestigkeit: k.A.



Wasserdurchlässigkeitsrate (DIN EN 1062-3)	<0,3kg/m ² √h
Wasserdurchlässigkeit (DIN EN 15824)	W3
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 1062-1)	V2
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 7783-2)	15-150g/m ² d
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (DIN ISO 7783-2)	<0,2m
Maximale Wasseraufnahme	150g/m ²
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	100g/m ²
Haftfestigkeit	≥ 0,3MPa
Brandverhalten	Euroklasse A2-s1, d0
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,5Kg/m ²
Wasserbedarf:	ca. 0 kg
Gebinde:	Eimer 25 Kg
Besonderer Hinweis:	Produkt ist algizd und fungizid (biozid) eingestellt.

Organischer Oberputz O 3

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).
Zusammensetzung:	Organische Bindemittel, Silikonharz klassierte mineralische Zuschläge , Zusätze für eine bessere verarbeitung und Haftung am Putzgrund, hochwertige Pigmente, Hydrohobierungsmittel. Enthält 2- Octyl-2H-isothiazol-3-on, 1,2-Beisothiazol
Produkteigenschaften:	Witterungsbeständig, wasserdampfdurchlässig, wasserabweisend und lösemittefrei.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	k.A.
Wasserdurchlässigkeitsrate (DIN EN 1062-3)	<0,3kg/m ² √h



Wasserdurchlässigkeit (DIN EN 15824)	W3
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 1062-1)	V2
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 7783-2)	15-150g/m ² d
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (DIN ISO 7783-2)	<0,2m
Maximale Wasseraufnahme	150g/m ²
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	100g/m ²
Haftfestigkeit	≥ 0,3MPa
Brandverhalten	Euroklasse A2-s1, d0
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,5Kg/m ²
Wasserbedarf:	ca. 0 kg
Gebinde:	Eimer 25 Kg
Besonderer Hinweis:	Produkt ist algizd und fungizid (biozid) eingestellt.

Organischer Oberputz O 4

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen mit Marmorkorn.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger pastöser Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).
Zusammensetzung:	Weichermacherfreie Kunstharzdispersion, klassierte Marmorkörnung, Quarzsand, spezielles Füllgemisch, Additive, Konservierungsmittel. Enthält Terbutyn
Produkteigenschaften:	Hohe Witterungsbeständig, wasserdampfdurchlässig, wasserabweisend, Verzögernd und vorbeugend gegen Algen und Pilze.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	k.A.
Wasserdurchlässigkeitsrate (DIN EN 1062-3)	<0,5kg/m ² h ^{0,5}
Wasserdurchlässigkeit (EN 1062-3)	W2
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (EN ISO 7783-2)	V1



Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (DIN EN 7783-2)	k.A.g/m ² d
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (DIN ISO 7783-2)	<0,2m
Maximale Wasseraufnahme	k.A.g/m ²
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	k.A.g/m ²
Haftfestigkeit	≥ 0,3MPa
Brandverhalten	Euroklasse B-s1, d0
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 2,8Kg/m ²
Wasserbedarf:	ca. 0 kg
Gebinde:	Eimer 25 Kg
Besonderer Hinweis:	Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt. Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

Organischer Oberputz O 5

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger passiver Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).
Zusammensetzung:	Silikat , kaliwasserklasgebundener Oberputz mit speziellen Stabilisatoren. Enthält 2-Octyl-2H-isothiazol-3-on, Diuron
Produkteigenschaften:	Wetterbeständig, hohe Dampfdiffusion, wasserabweisend.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	k.A.
Wasserdurchlässigkeit (EN 1062-3)	k.A.
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (EN ISO 7783-2)	k.A.
Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke (DIN ISO 7783-2)	k.A.
Maximale Wasseraufnahme	k.A.



Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	k.A.
Hafffestigkeit	k.A.
Brandverhalten	Euroklasse k.A.
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,0-3,3Kg/m ²
Wasserbedarf:	max. 3%
Gebinde:	Eimer 25 Kg
Besonderer Hinweis:	Produkt ist algizd und fungizid (biozid) eingestellt. Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

Organischer Oberputz O 6

Angaben lt. techn. Merkblatt (Stand April 2016):

Technische Daten lt. Hersteller:

Anwendungsgebiet:	Oberbeschichtung für Dämmputze und WDVS Systeme. Scheibenputz für außen.
Produktbeschreibung:	Werkseitig hergestellter, verarbeitungsfertiger passender Oberputz, entspricht EN 15824 (DIN 18558 P Org. 1).
Zusammensetzung:	Silikat , kaliwasserklasgebundener Oberputz mit speziellen Stabilisatoren. Enthält 2-Octyl-2H-isothiazol-3-on, Diuron
Produkteigenschaften:	Wetterbeständig, hohe Dampfdiffusion, wasserabweisend.

Teschnische Werte:

Druckfestigkeit:	k.A.
Wasserdurchlässigkeit (EN 1062-3)	k.A.
Wasserdampf-Diffusionsstromdichte (EN ISO 7783-2)	k.A.
Maximale Wasseraufnahme	k.A.
Austrocknung bei 20°C, 65% rel. Luftfeuchte; 18h	k.A.
Hafffestigkeit	k.A.
Brandverhalten	Euroklasse k.A.
Verbrauch: 2mm Körnung	ca. 3,0-3,3Kg/m ²

Wasserbedarf:

max. 3%

Gebinde:

Eimer 25 Kg

Besonderer Hinweis:

Produkt ist algizid und fungizid (biozid) eingestellt.

Nicht in das Grundwasser, in Gewässer oder in die Kanalisation gelangen lassen.

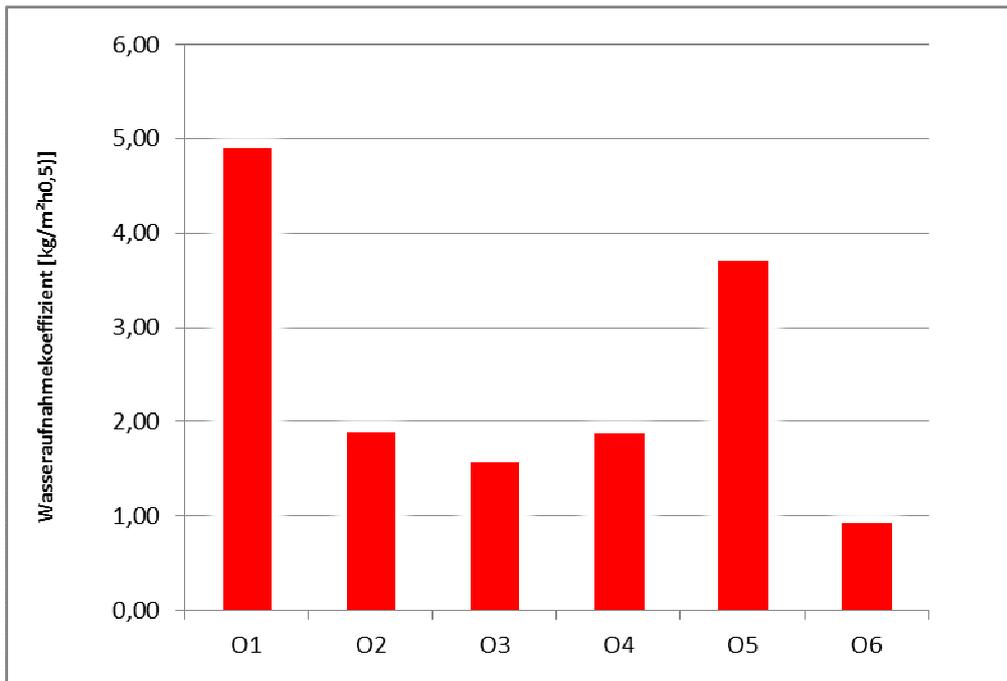
6.6.2 Wasseraufnahmekoeffizient



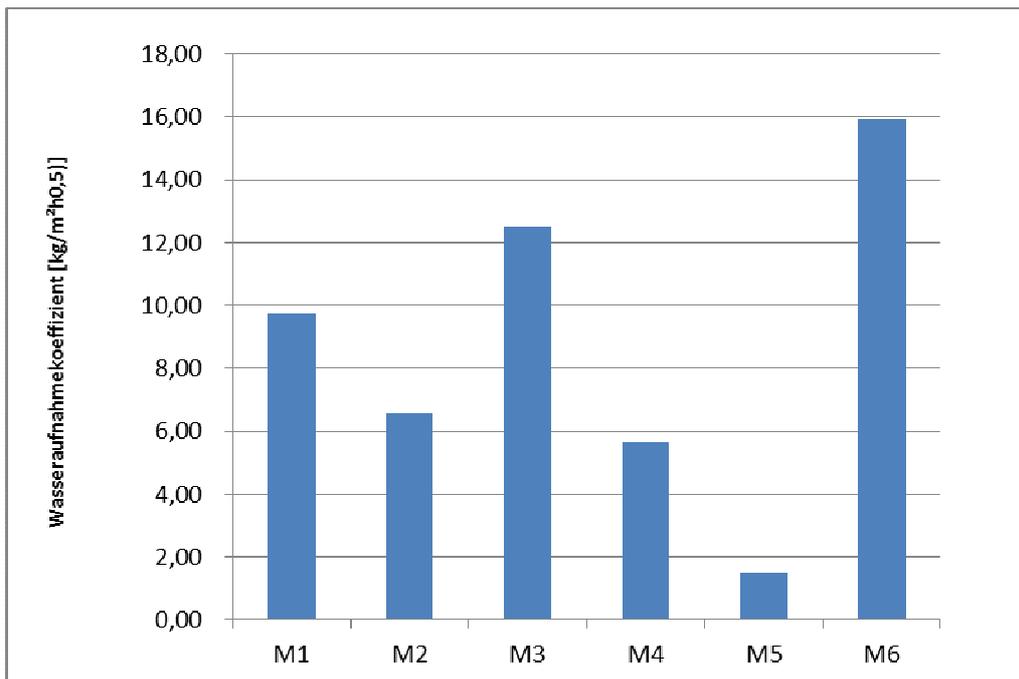
Versuchsaufbau zur Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten, hier Probe M 4.

Probe	W- Wert
Nummer	[kg/(m ² h ^{0,5})]
M1	9,73
M2	6,56
M3	12,49
M4	5,66
M5	1,52
M6	15,92
O1	4,89
O2	1,89
O3	1,57
O4	1,87
O5	3,70
O6	0,93

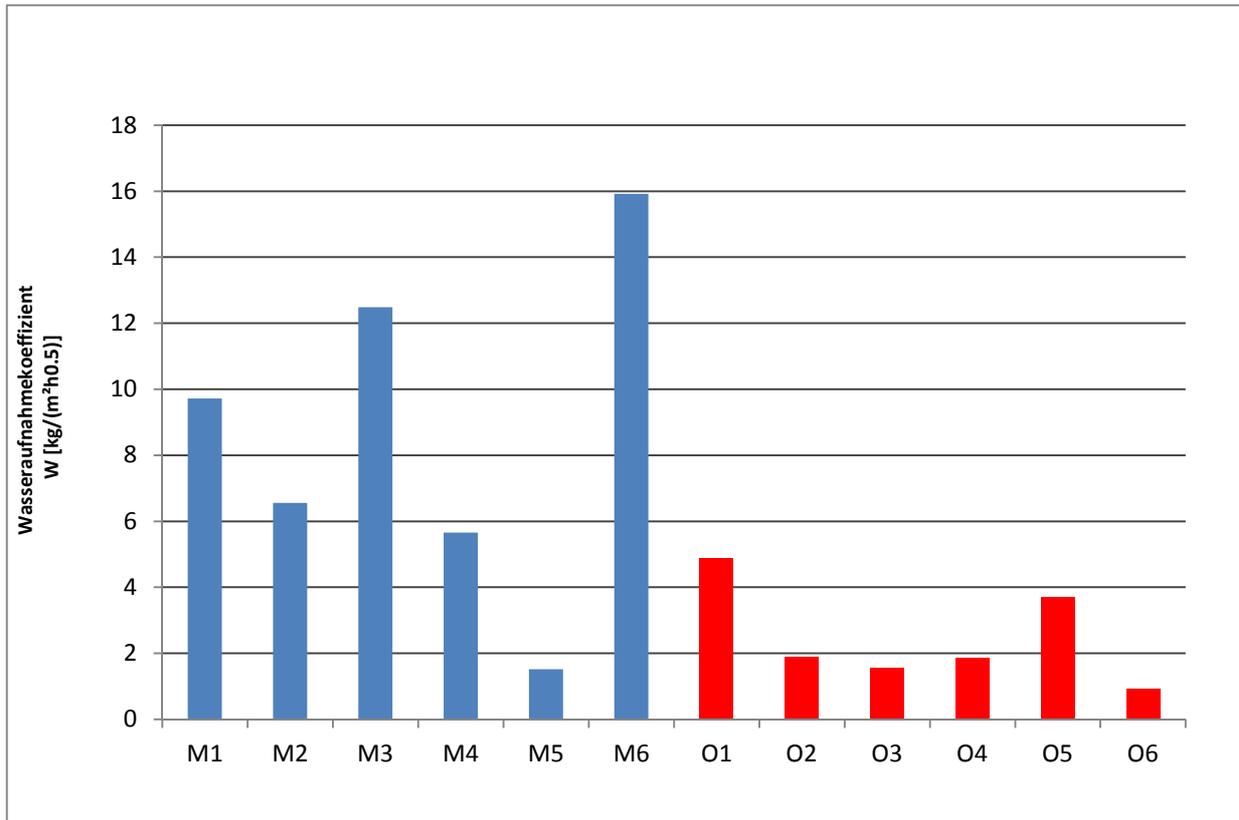
W- Wert der Versuche, Arithmetische Mittel aus Probe M 1.1 bis O 6.3.



W- Wert organische Oberputze



W- Wert mineralische Oberputze

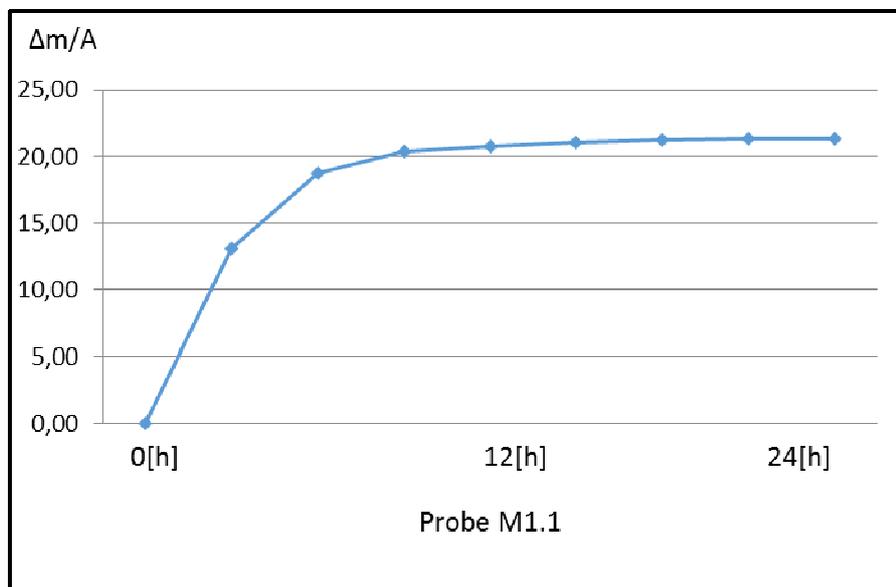


Gegenüberstellung W- Wert mineralische - organische Oberputze

Beispiele:

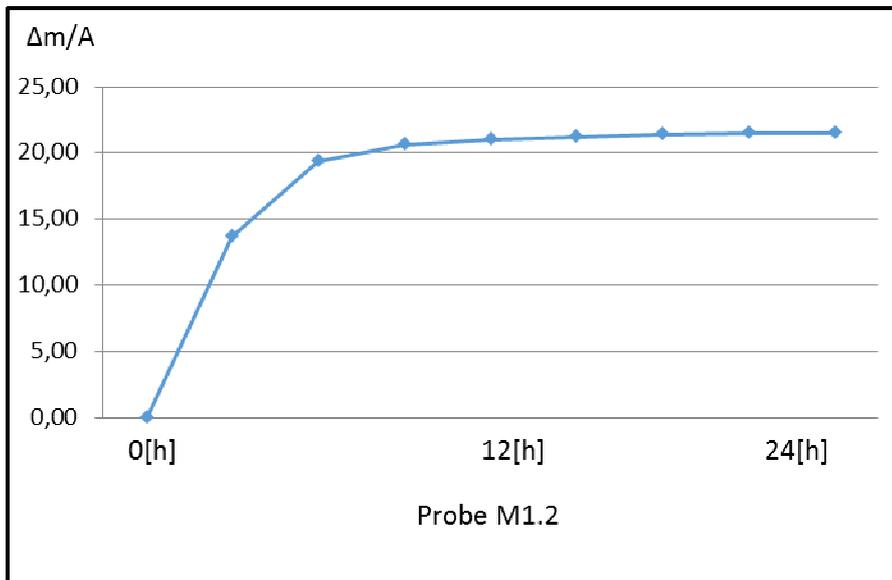
Probe: M1.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	138,530	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	151,650	13,120	6,684	47,261
1,000	1,000	157,310	18,780	9,567	9,567
2,000	1,414	158,920	20,390	10,387	7,345
4,000	2,000	159,320	20,790	10,591	5,295
8,000	2,828	159,590	21,060	10,728	3,793
14,000	3,742	159,820	21,290	10,846	2,899
19,000	4,359	159,890	21,360	10,881	2,496
24,000	4,899	159,890	21,360	10,881	2,221
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	9,832
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	9,832			



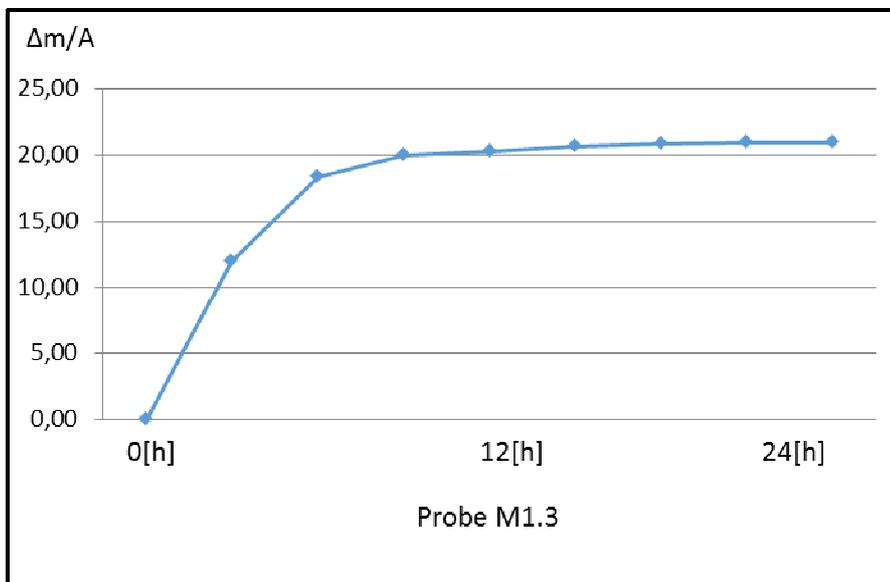
Probe: M1.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	127,300	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	140,920	13,620	6,938	49,062
1,000	1,000	146,580	19,280	9,822	9,822
2,000	1,414	147,880	20,580	10,484	7,413
4,000	2,000	148,210	20,910	10,652	5,326
8,000	2,828	148,480	21,180	10,790	3,815
14,000	3,742	148,620	21,320	10,861	2,903
19,000	4,359	148,720	21,420	10,912	2,503
24,000	4,899	148,770	21,470	10,937	2,233
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	10,105
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	10,105			



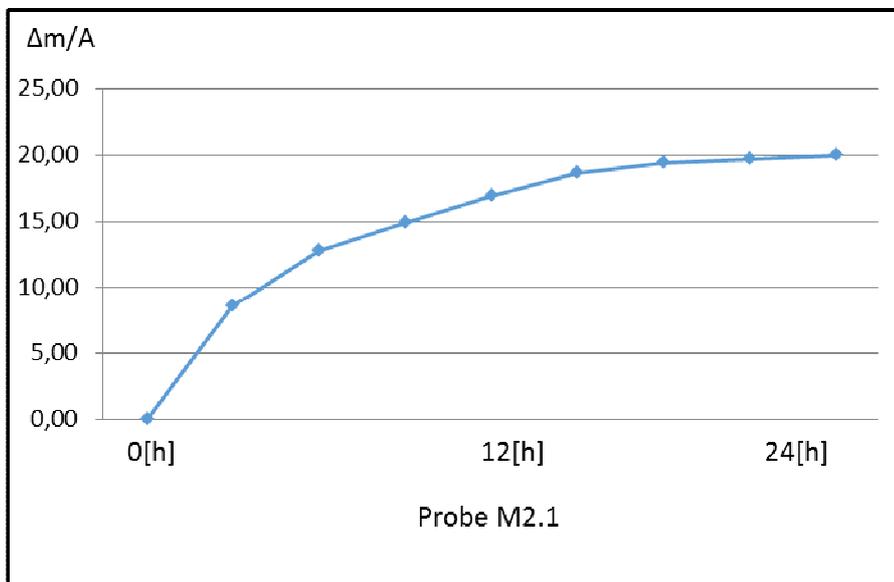
Probe: M1.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	143,430	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	155,420	11,990	6,108	43,190
1,000	1,000	161,820	18,390	9,368	9,368
2,000	1,414	163,390	19,960	10,168	7,190
4,000	2,000	163,750	20,320	10,352	5,176
8,000	2,828	164,100	20,670	10,530	3,723
14,000	3,742	164,300	20,870	10,632	2,841
19,000	4,359	164,370	20,940	10,667	2,447
24,000	4,899	164,420	20,990	10,693	2,183
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	9,242
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	9,242			



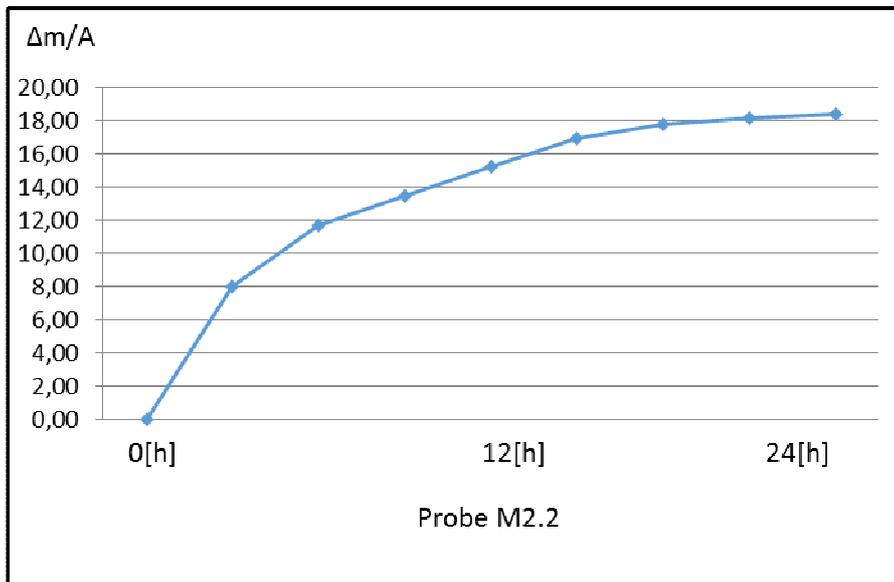
Probe: M2.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	161,770	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	170,310	8,540	4,350	30,763
1,000	1,000	174,530	12,760	6,500	6,500
2,000	1,414	176,660	14,890	7,585	5,364
4,000	2,000	178,680	16,910	8,614	4,307
8,000	2,828	180,400	18,630	9,491	3,355
14,000	3,742	181,180	19,410	9,888	2,643
19,000	4,359	181,460	19,690	10,031	2,301
24,000	4,899	181,740	19,970	10,173	2,077
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,904
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,904			



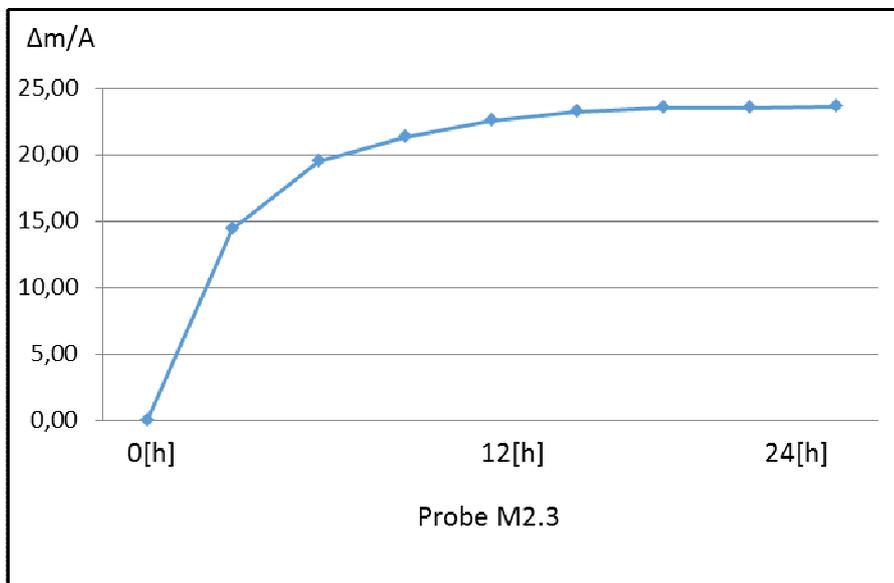
Probe: M2.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	163,240	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	171,250	8,010	4,080	28,853
1,000	1,000	174,910	11,670	5,945	5,945
2,000	1,414	176,720	13,480	6,867	4,856
4,000	2,000	178,480	15,240	7,764	3,882
8,000	2,828	180,130	16,890	8,604	3,042
14,000	3,742	181,020	17,780	9,058	2,421
19,000	4,359	181,380	18,140	9,241	2,120
24,000	4,899	181,630	18,390	9,368	1,912
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,390
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,390			



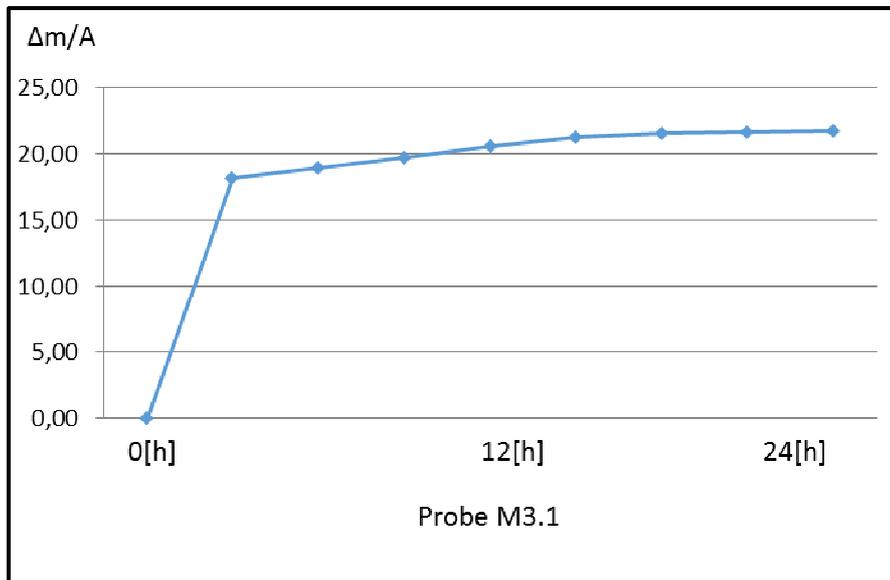
Probe: M2.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	144,560	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	158,980	14,420	7,346	51,943
1,000	1,000	164,030	19,470	9,918	9,918
2,000	1,414	165,930	21,370	10,886	7,698
4,000	2,000	167,150	22,590	11,508	5,754
8,000	2,828	167,810	23,250	11,844	4,188
14,000	3,742	168,090	23,530	11,987	3,204
19,000	4,359	168,150	23,590	12,017	2,757
24,000	4,899	168,230	23,670	12,058	2,461
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	10,683
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	10,683			



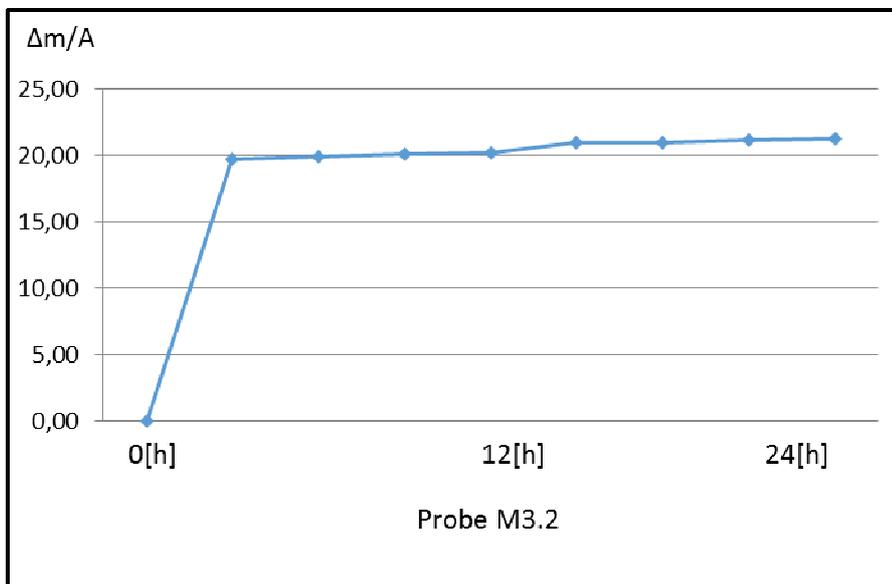
Probe: M3.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	182,280	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	200,480	18,200	9,272	65,560
1,000	1,000	201,200	18,920	9,638	9,638
2,000	1,414	201,980	19,700	10,036	7,096
4,000	2,000	202,890	20,610	10,499	5,250
8,000	2,828	203,560	21,280	10,841	3,833
14,000	3,742	203,790	21,510	10,958	2,929
19,000	4,359	203,930	21,650	11,029	2,530
24,000	4,899	204,050	21,770	11,090	2,264
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,104
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,104			



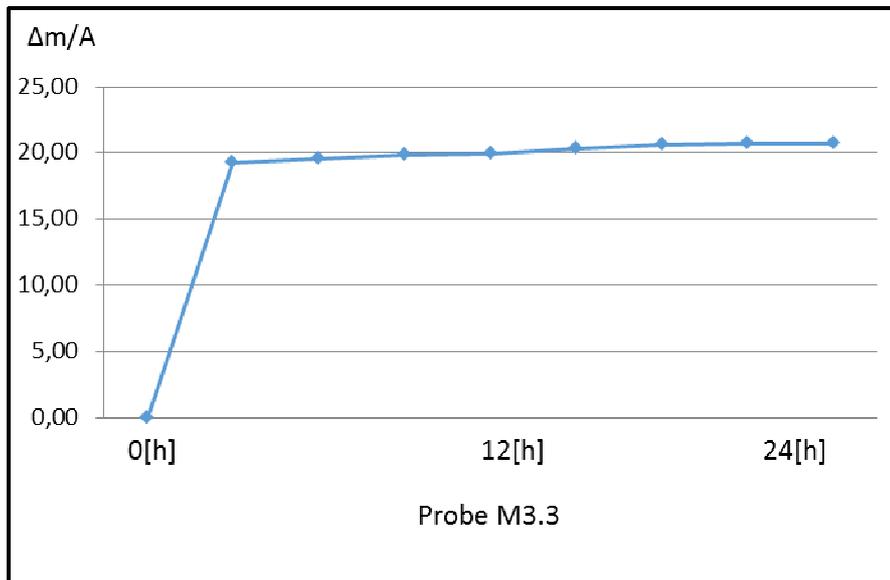
Probe: M3.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	174,870	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	194,590	19,720	10,046	71,035
1,000	1,000	194,790	19,920	10,148	10,148
2,000	1,414	195,000	20,130	10,255	7,251
4,000	2,000	195,080	20,210	10,295	5,148
8,000	2,828	195,800	20,930	10,662	3,770
14,000	3,742	195,830	20,960	10,678	2,854
19,000	4,359	195,990	21,120	10,759	2,468
24,000	4,899	196,110	21,240	10,820	2,209
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,834
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,834			



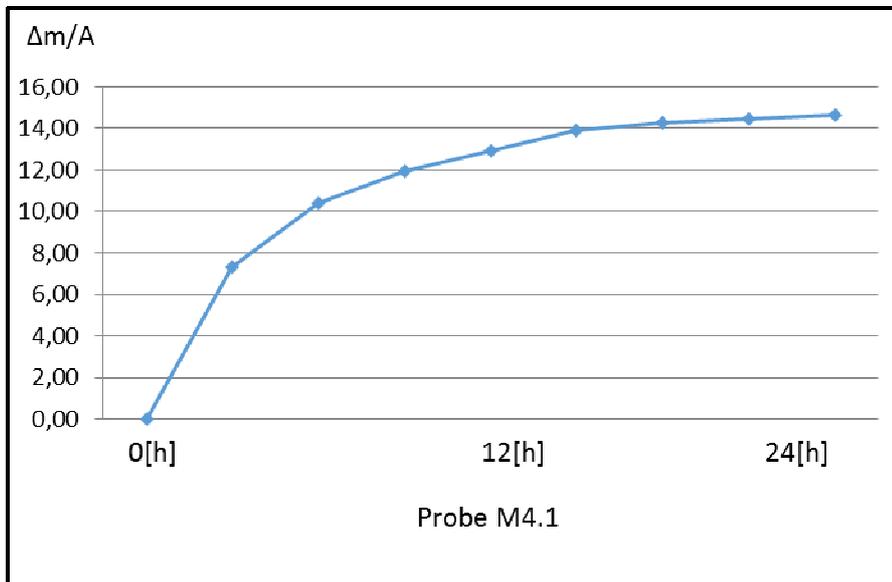
Probe: M3.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	173,470	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	192,680	19,210	9,786	69,198
1,000	1,000	193,000	19,530	9,949	9,949
2,000	1,414	193,300	19,830	10,102	7,143
4,000	2,000	193,360	19,890	10,132	5,066
8,000	2,828	193,760	20,290	10,336	3,654
14,000	3,742	194,040	20,570	10,479	2,801
19,000	4,359	194,090	20,620	10,504	2,410
24,000	4,899	194,180	20,710	10,550	2,154
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,528
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	12,528			



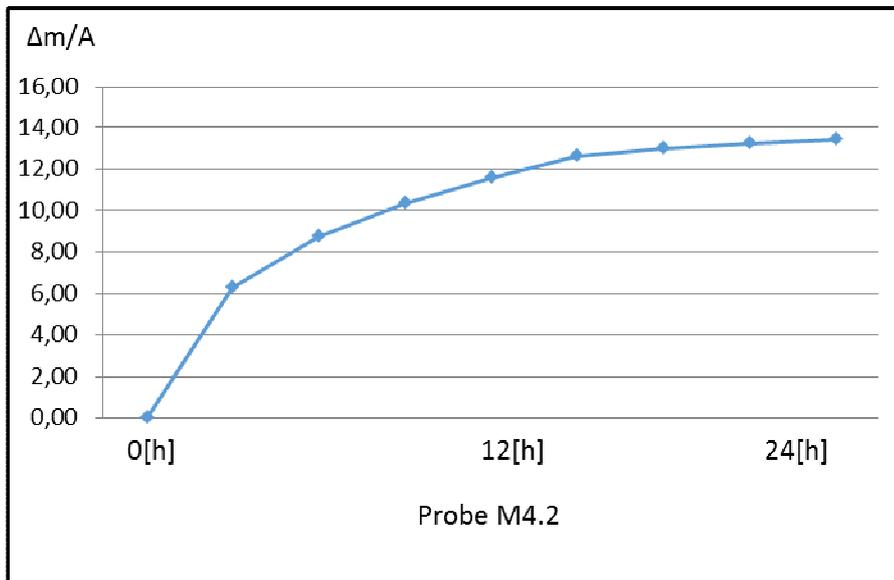
Probe: M4.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	160,790	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	168,130	7,340	3,739	26,440
1,000	1,000	171,220	10,430	5,313	5,313
2,000	1,414	172,730	11,940	6,083	4,301
4,000	2,000	173,740	12,950	6,597	3,299
8,000	2,828	174,680	13,890	7,076	2,502
14,000	3,742	175,040	14,250	7,259	1,940
19,000	4,359	175,240	14,450	7,361	1,689
24,000	4,899	175,460	14,670	7,473	1,525
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	5,685
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	5,685			



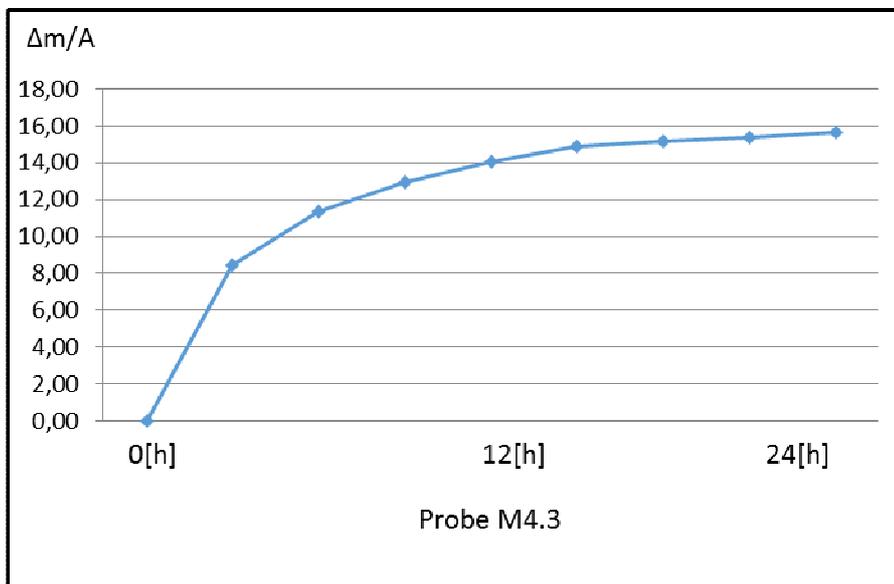
Probe: M4.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	155,140	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	161,450	6,310	3,214	22,730
1,000	1,000	163,870	8,730	4,447	4,447
2,000	1,414	165,450	10,310	5,252	3,714
4,000	2,000	166,710	11,570	5,894	2,947
8,000	2,828	167,750	12,610	6,424	2,271
14,000	3,742	168,150	13,010	6,628	1,771
19,000	4,359	168,370	13,230	6,740	1,546
24,000	4,899	168,540	13,400	6,826	1,393
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,928
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,928			



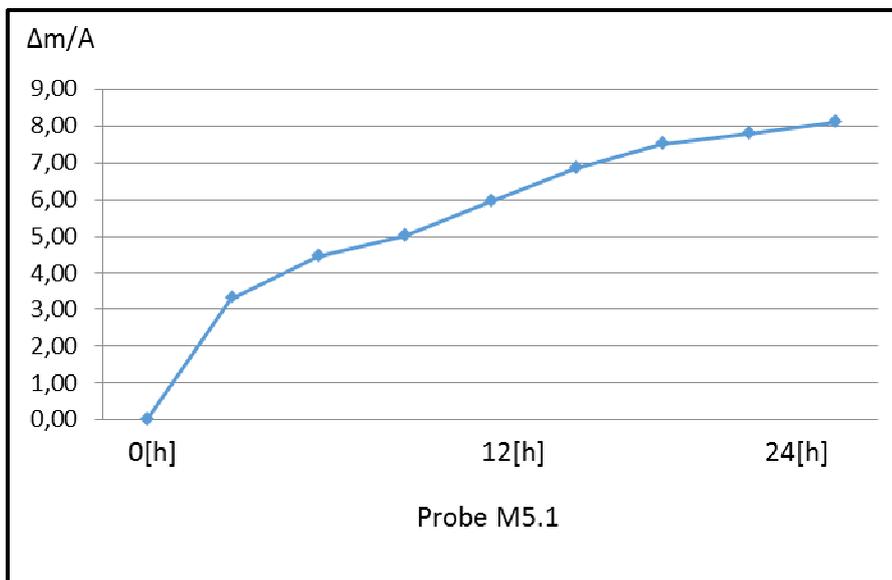
Probe: M4.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	163,850	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	172,270	8,420	4,289	30,330
1,000	1,000	175,180	11,330	5,772	5,772
2,000	1,414	176,770	12,920	6,582	4,654
4,000	2,000	177,910	14,060	7,163	3,581
8,000	2,828	178,720	14,870	7,575	2,678
14,000	3,742	179,000	15,150	7,718	2,063
19,000	4,359	179,200	15,350	7,820	1,794
24,000	4,899	179,460	15,610	7,952	1,623
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,359
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	6,359			



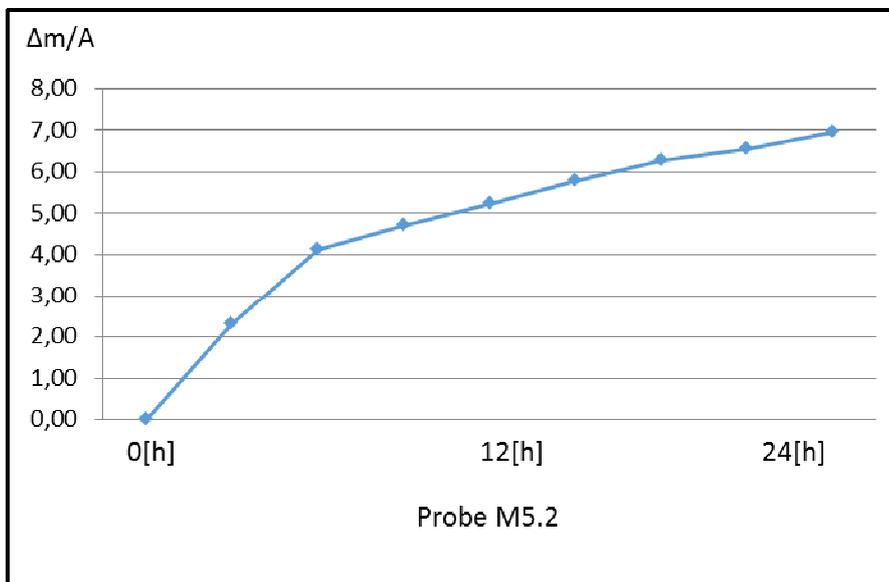
Probe: M5.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	161,850	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	165,190	3,340	1,701	12,031
1,000	1,000	166,300	4,450	2,267	2,267
2,000	1,414	166,880	5,030	2,562	1,812
4,000	2,000	167,800	5,950	3,031	1,516
8,000	2,828	168,710	6,860	3,495	1,236
14,000	3,742	169,360	7,510	3,826	1,022
19,000	4,359	169,650	7,800	3,974	0,912
24,000	4,899	169,930	8,080	4,116	0,840
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,599
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,599			



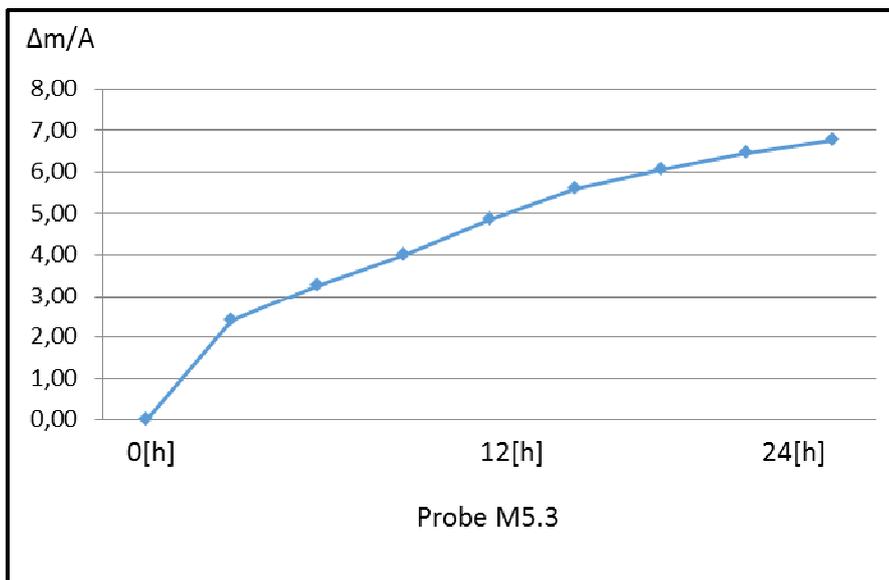
Probe: M5.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	158,090	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	160,410	2,320	1,182	8,357
1,000	1,000	162,200	4,110	2,094	2,094
2,000	1,414	162,800	4,710	2,399	1,697
4,000	2,000	163,330	5,240	2,669	1,335
8,000	2,828	163,880	5,790	2,950	1,043
14,000	3,742	164,360	6,270	3,194	0,854
19,000	4,359	164,650	6,560	3,342	0,767
24,000	4,899	165,050	6,960	3,546	0,724
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,018
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,018			



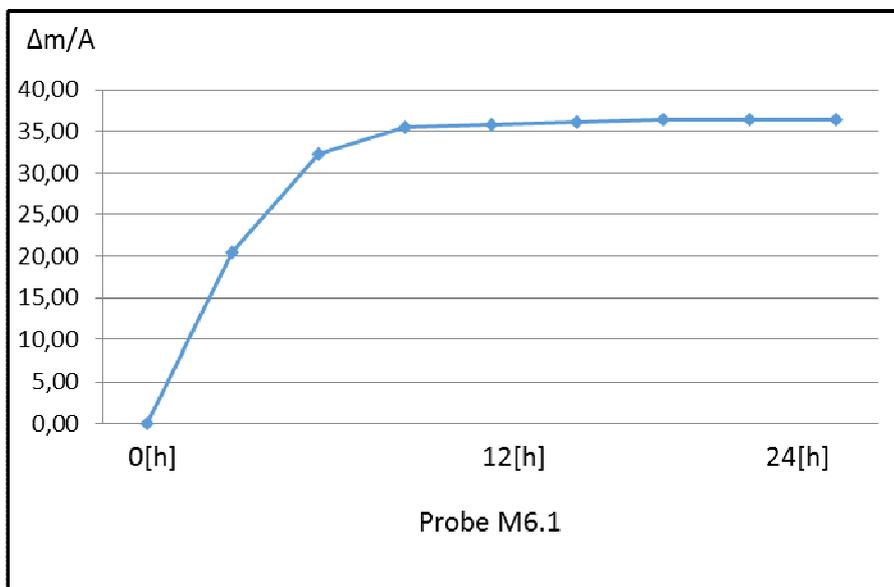
Probe: M5.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	160,360	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	162,770	2,410	1,228	8,681
1,000	1,000	163,620	3,260	1,661	1,661
2,000	1,414	164,360	4,000	2,038	1,441
4,000	2,000	165,220	4,860	2,476	1,238
8,000	2,828	165,950	5,590	2,848	1,007
14,000	3,742	166,430	6,070	3,092	0,826
19,000	4,359	166,820	6,460	3,291	0,755
24,000	4,899	167,140	6,780	3,454	0,705
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,951
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,951			



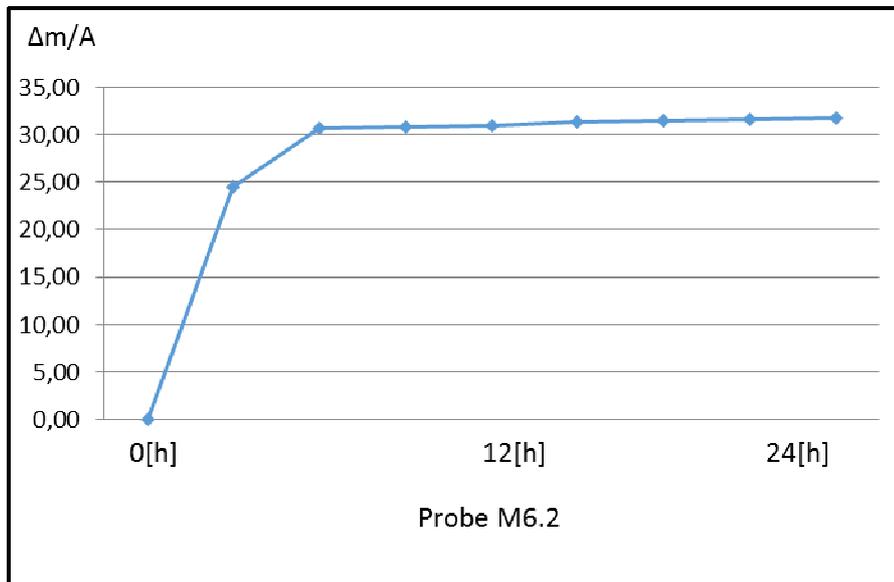
Probe: M6.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	146,840	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	167,300	20,460	10,423	73,700
1,000	1,000	179,150	32,310	16,460	16,460
2,000	1,414	182,400	35,560	18,115	12,809
4,000	2,000	182,610	35,770	18,222	9,111
8,000	2,828	182,960	36,120	18,400	6,506
14,000	3,742	183,290	36,450	18,569	4,963
19,000	4,359	183,290	36,450	18,569	4,260
24,000	4,899	183,350	36,510	18,599	3,797
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	15,976
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	15,976			



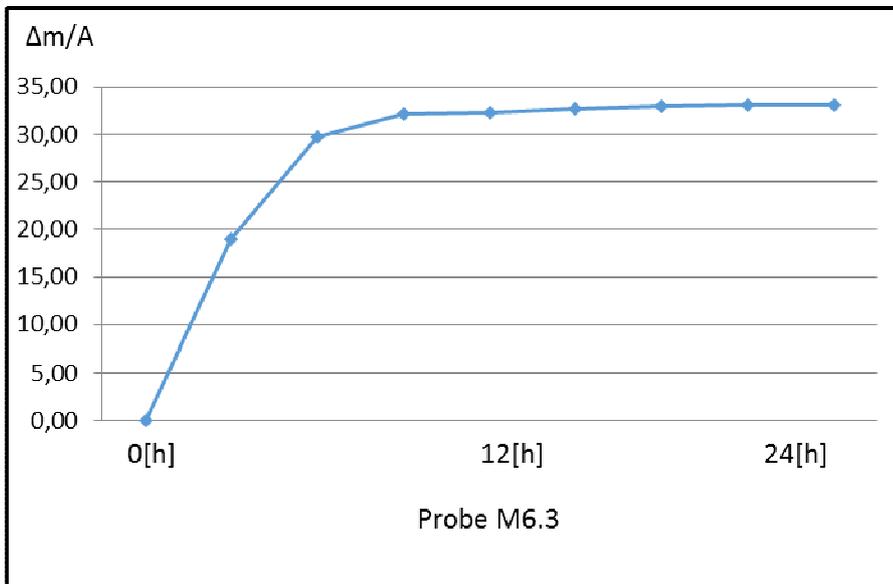
Probe: M6.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	128,370	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	152,860	24,490	12,476	88,217
1,000	1,000	159,050	30,680	15,629	15,629
2,000	1,414	159,200	30,830	15,706	11,106
4,000	2,000	159,360	30,990	15,787	7,894
8,000	2,828	159,660	31,290	15,940	5,636
14,000	3,742	159,890	31,520	16,057	4,291
19,000	4,359	159,990	31,620	16,108	3,695
24,000	4,899	160,070	31,700	16,149	3,296
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	17,058
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	17,058			



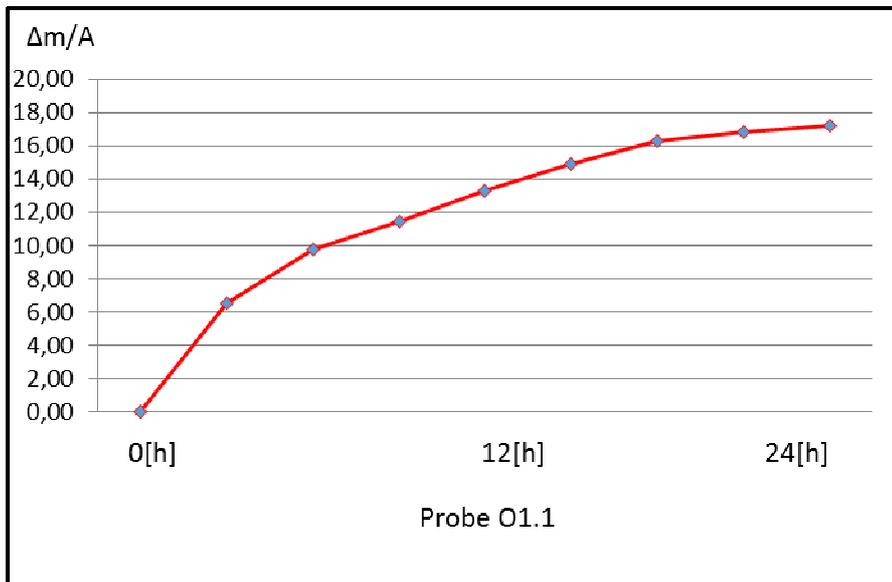
Probe: M6.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	132,950	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	152,000	19,050	9,705	68,621
1,000	1,000	162,700	29,750	15,155	15,155
2,000	1,414	165,170	32,220	16,414	11,606
4,000	2,000	165,310	32,360	16,485	8,242
8,000	2,828	165,670	32,720	16,668	5,893
14,000	3,742	165,880	32,930	16,775	4,483
19,000	4,359	165,990	33,040	16,831	3,861
24,000	4,899	166,040	33,090	16,857	3,441
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	14,733
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	14,733			



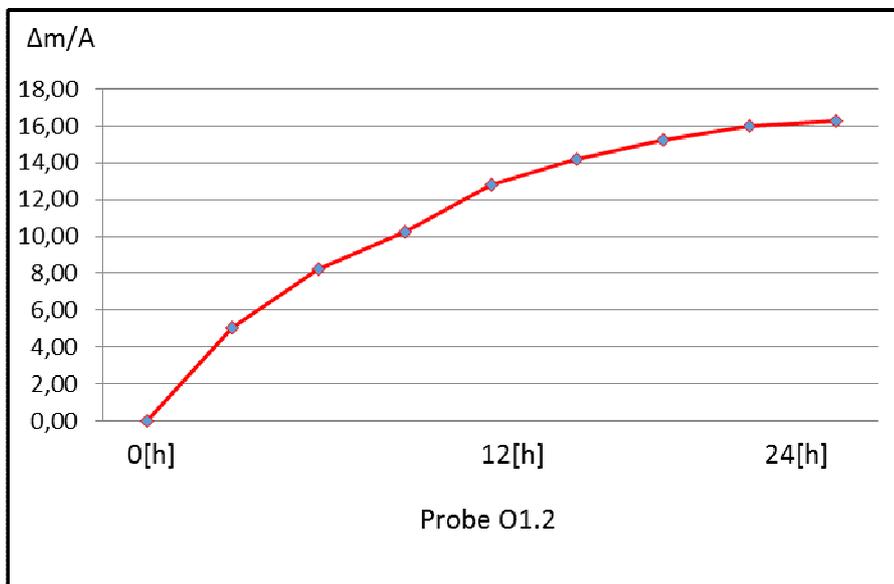
Probe: O1.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	159,160	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	165,660	6,500	3,311	23,414
1,000	1,000	168,900	9,740	4,962	4,962
2,000	1,414	170,600	11,440	5,828	4,121
4,000	2,000	172,430	13,270	6,760	3,380
8,000	2,828	174,080	14,920	7,601	2,687
14,000	3,742	175,430	16,270	8,288	2,215
19,000	4,359	176,000	16,840	8,579	1,968
24,000	4,899	176,370	17,210	8,767	1,790
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	5,343
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	5,343			



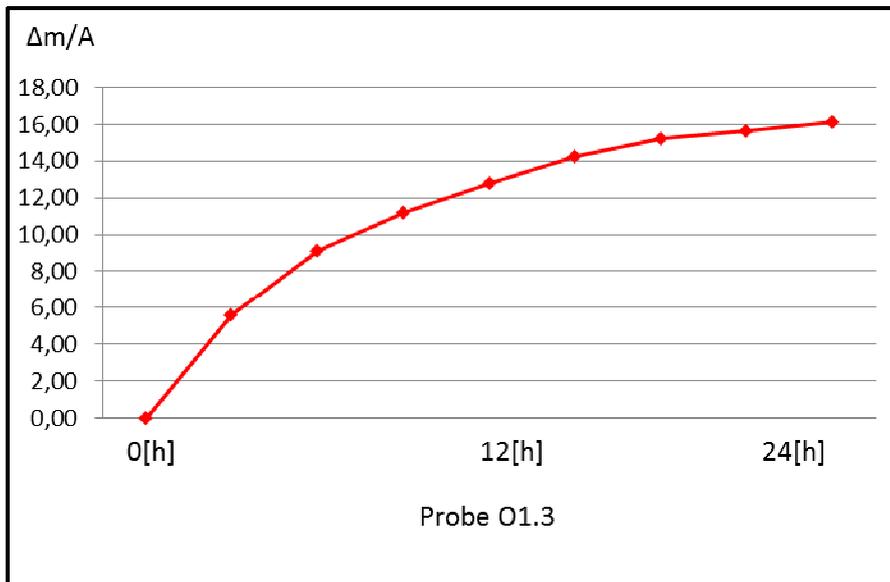
Probe: O1.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	156,420	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	161,500	5,080	2,588	18,299
1,000	1,000	164,690	8,270	4,213	4,213
2,000	1,414	166,690	10,270	5,232	3,699
4,000	2,000	169,250	12,830	6,536	3,268
8,000	2,828	170,620	14,200	7,234	2,558
14,000	3,742	171,670	15,250	7,769	2,076
19,000	4,359	172,430	16,010	8,156	1,871
24,000	4,899	172,650	16,230	8,268	1,688
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,498
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,498			



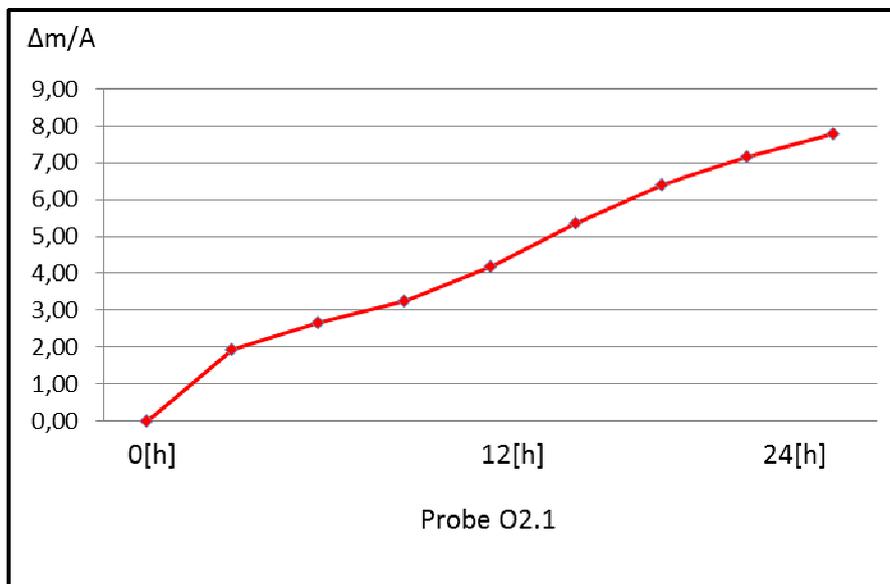
Probe: O1.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	161,200	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	166,840	5,640	2,873	20,316
1,000	1,000	170,350	9,150	4,661	4,661
2,000	1,414	172,430	11,230	5,721	4,045
4,000	2,000	173,980	12,780	6,510	3,255
8,000	2,828	175,470	14,270	7,269	2,570
14,000	3,742	176,430	15,230	7,759	2,074
19,000	4,359	176,820	15,620	7,957	1,826
24,000	4,899	177,300	16,100	8,202	1,674
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,843
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,843			



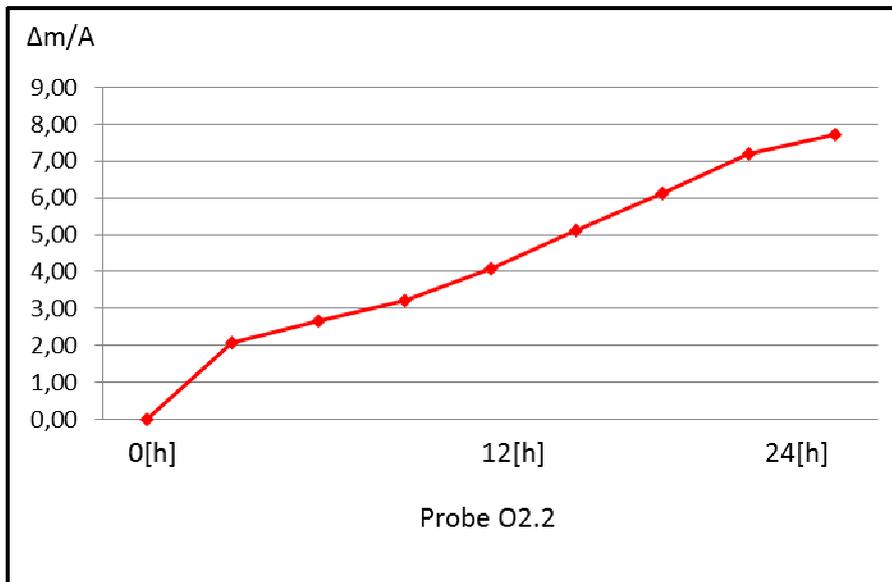
Probe: O2.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	157,400	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	159,330	1,930	0,983	6,952
1,000	1,000	160,080	2,680	1,365	1,365
2,000	1,414	160,650	3,250	1,656	1,171
4,000	2,000	161,580	4,180	2,129	1,065
8,000	2,828	162,750	5,350	2,725	0,964
14,000	3,742	163,810	6,410	3,265	0,873
19,000	4,359	164,560	7,160	3,647	0,837
24,000	4,899	165,190	7,790	3,968	0,810
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,653
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,653			



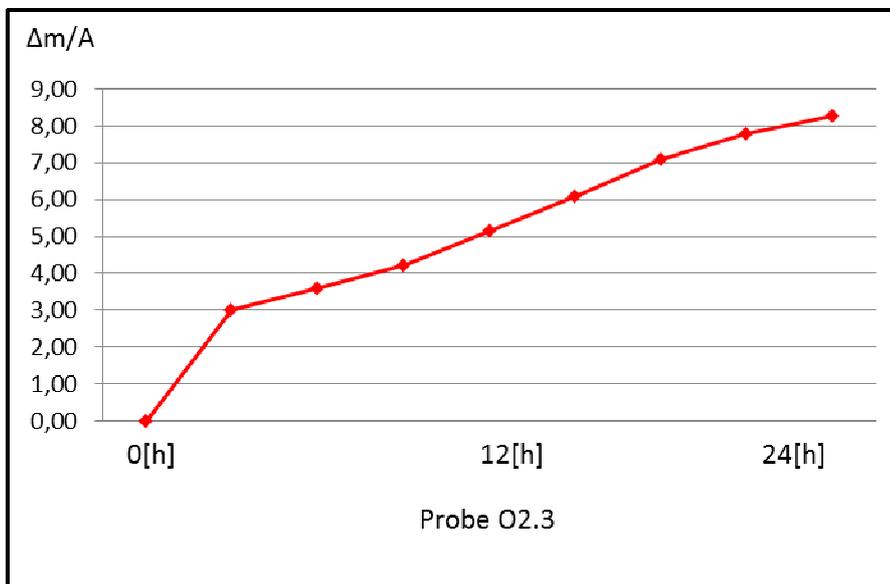
Probe: O2.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	157,610	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	159,680	2,070	1,055	7,457
1,000	1,000	160,280	2,670	1,360	1,360
2,000	1,414	160,820	3,210	1,635	1,156
4,000	2,000	161,700	4,090	2,084	1,042
8,000	2,828	162,750	5,140	2,618	0,926
14,000	3,742	163,750	6,140	3,128	0,836
19,000	4,359	164,800	7,190	3,663	0,840
24,000	4,899	165,320	7,710	3,928	0,802
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,702
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,702			



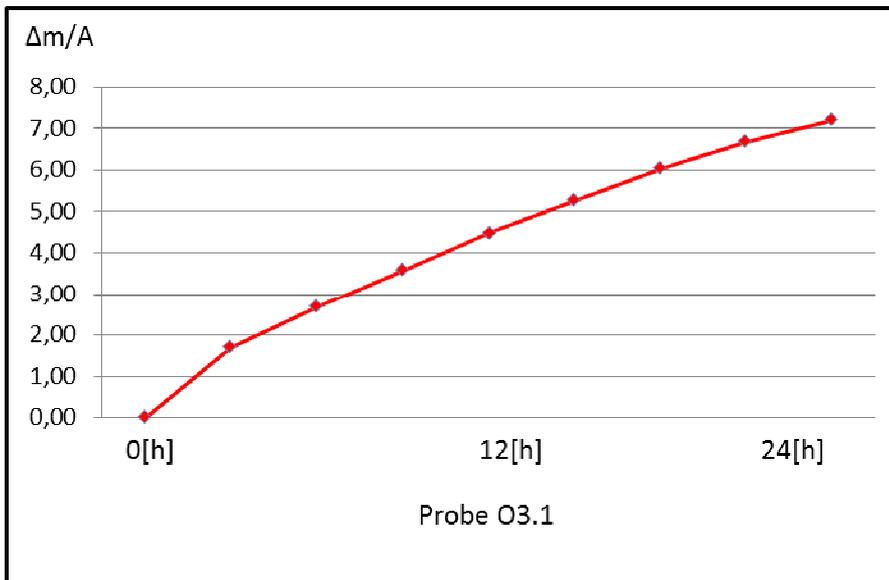
Probe: O2.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t0,5	m	Δm	$\Delta m/A$	W
	[h0,5]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h0,5)]
0,000	0,000	157,920	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	160,920	3,000	1,528	10,807
1,000	1,000	161,530	3,610	1,839	1,839
2,000	1,414	162,160	4,240	2,160	1,527
4,000	2,000	163,080	5,160	2,629	1,314
8,000	2,828	164,020	6,100	3,107	1,099
14,000	3,742	165,010	7,090	3,612	0,965
19,000	4,359	165,690	7,770	3,958	0,908
24,000	4,899	166,200	8,280	4,218	0,861
	0,000			W [kg/(m ² h0,5)]	2,307
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h0,5)]	2,307			



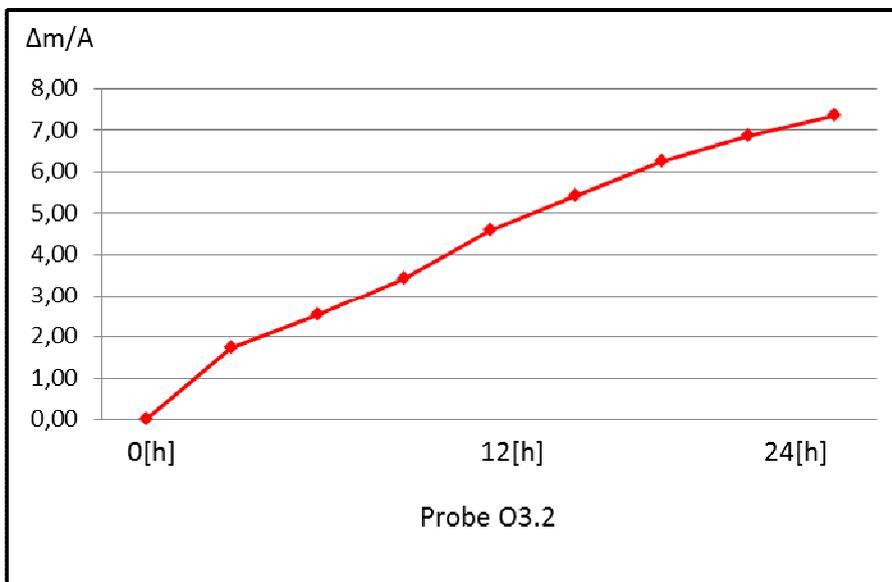
Probe: O3.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t0,5	m	Δm	$\Delta m/A$	W
	[h0,5]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h0,5)]
0,000	0,000	159,380	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	161,090	1,710	0,871	6,160
1,000	1,000	162,050	2,670	1,360	1,360
2,000	1,414	162,960	3,580	1,824	1,290
4,000	2,000	163,870	4,490	2,287	1,144
8,000	2,828	164,650	5,270	2,685	0,949
14,000	3,742	165,410	6,030	3,072	0,821
19,000	4,359	166,070	6,690	3,408	0,782
24,000	4,899	166,570	7,190	3,663	0,748
	0,000			W [kg/(m ² h0,5)]	1,563
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h0,5)]	1,563			



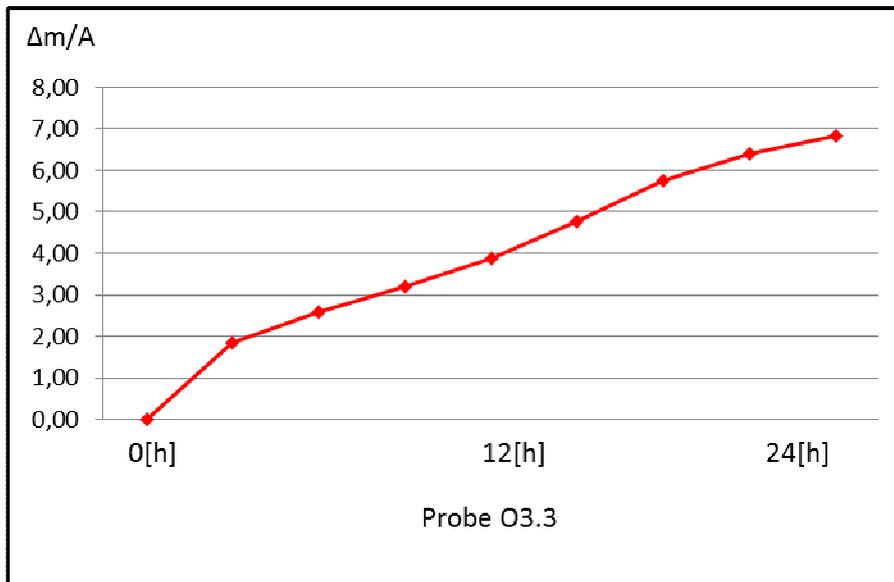
Probe: O3.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	163,990	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	165,730	1,740	0,886	6,268
1,000	1,000	166,510	2,520	1,284	1,284
2,000	1,414	167,420	3,430	1,747	1,236
4,000	2,000	168,570	4,580	2,333	1,167
8,000	2,828	169,400	5,410	2,756	0,974
14,000	3,742	170,230	6,240	3,179	0,850
19,000	4,359	170,840	6,850	3,490	0,801
24,000	4,899	171,330	7,340	3,739	0,763
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,572
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,572			



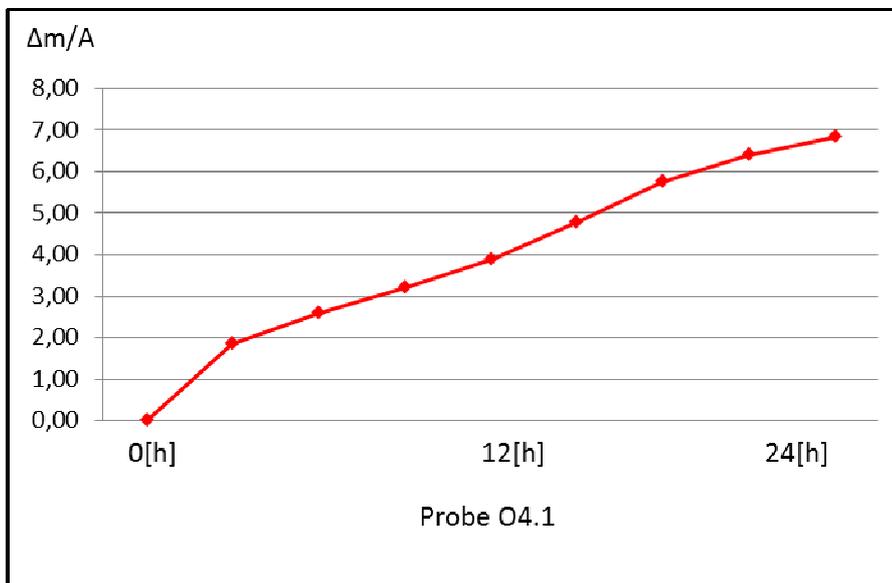
Probe: O3.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t0,5	m	Δm	$\Delta m/A$	W
	[h0,5]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h0,5)]
0,000	0,000	165,970	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	167,820	1,850	0,942	6,664
1,000	1,000	168,550	2,580	1,314	1,314
2,000	1,414	169,160	3,190	1,625	1,149
4,000	2,000	169,860	3,890	1,982	0,991
8,000	2,828	170,750	4,780	2,435	0,861
14,000	3,742	171,730	5,760	2,934	0,784
19,000	4,359	172,360	6,390	3,255	0,747
24,000	4,899	172,790	6,820	3,474	0,709
	0,000			W [kg/(m ² h0,5)]	1,564
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h0,5)]	1,564			



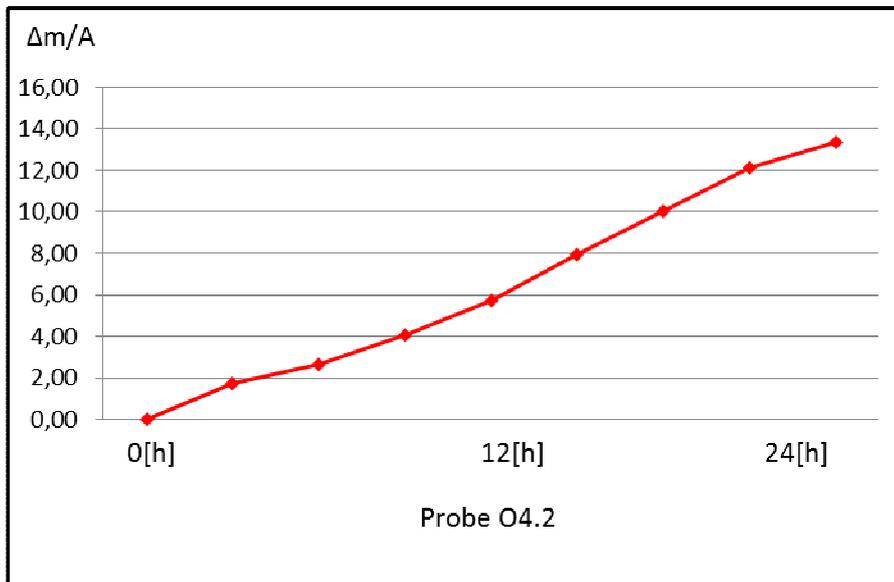
Probe: O4.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	165,970	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	167,820	1,850	0,942	6,664
1,000	1,000	168,550	2,580	1,314	1,314
2,000	1,414	169,160	3,190	1,625	1,149
4,000	2,000	169,860	3,890	1,982	0,991
8,000	2,828	170,750	4,780	2,435	0,861
14,000	3,742	171,730	5,760	2,934	0,784
19,000	4,359	172,360	6,390	3,255	0,747
24,000	4,899	172,790	6,820	3,474	0,709
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,564
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,564			



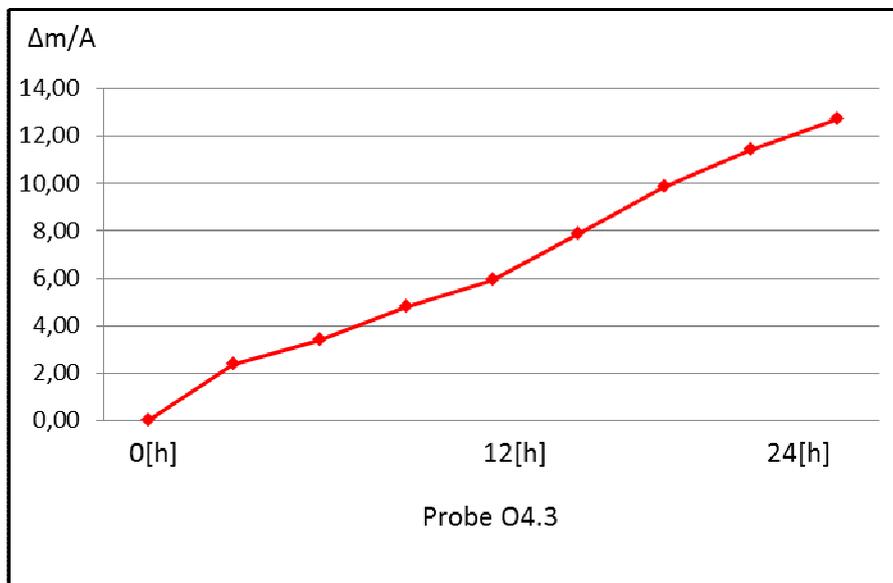
Probe: O4.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	152,800	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	154,550	1,750	0,891	6,304
1,000	1,000	155,430	2,630	1,340	1,340
2,000	1,414	156,870	4,070	2,073	1,466
4,000	2,000	158,500	5,700	2,904	1,452
8,000	2,828	160,730	7,930	4,040	1,428
14,000	3,742	162,800	10,000	5,094	1,361
19,000	4,359	164,910	12,110	6,169	1,415
24,000	4,899	166,160	13,360	6,806	1,389
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,846
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,846			



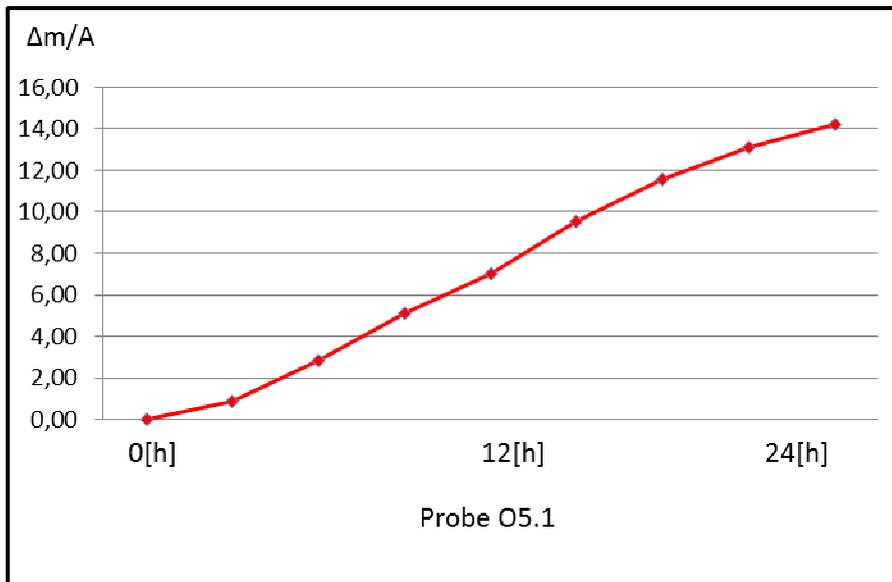
Probe: O4.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	157,090	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	159,440	2,350	1,197	8,465
1,000	1,000	160,490	3,400	1,732	1,732
2,000	1,414	161,880	4,790	2,440	1,725
4,000	2,000	163,020	5,930	3,021	1,510
8,000	2,828	164,970	7,880	4,014	1,419
14,000	3,742	166,920	9,830	5,008	1,338
19,000	4,359	168,480	11,390	5,802	1,331
24,000	4,899	169,790	12,700	6,470	1,321
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,190
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	2,190			



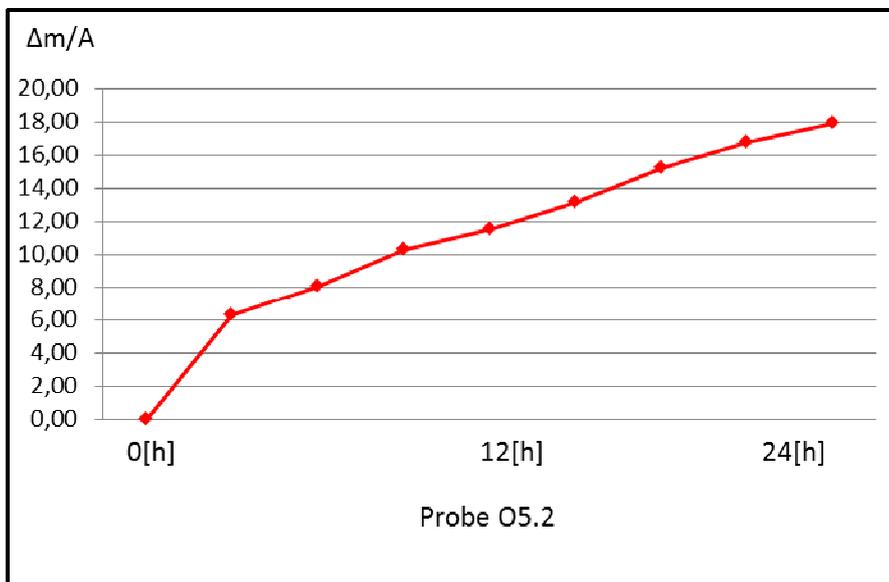
Probe: O5.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	167,290	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	168,170	0,880	0,448	3,170
1,000	1,000	170,150	2,860	1,457	1,457
2,000	1,414	172,410	5,120	2,608	1,844
4,000	2,000	174,310	7,020	3,576	1,788
8,000	2,828	176,800	9,510	4,845	1,713
14,000	3,742	178,840	11,550	5,884	1,573
19,000	4,359	180,420	13,130	6,689	1,535
24,000	4,899	181,490	14,200	7,234	1,477
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,635
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,635			



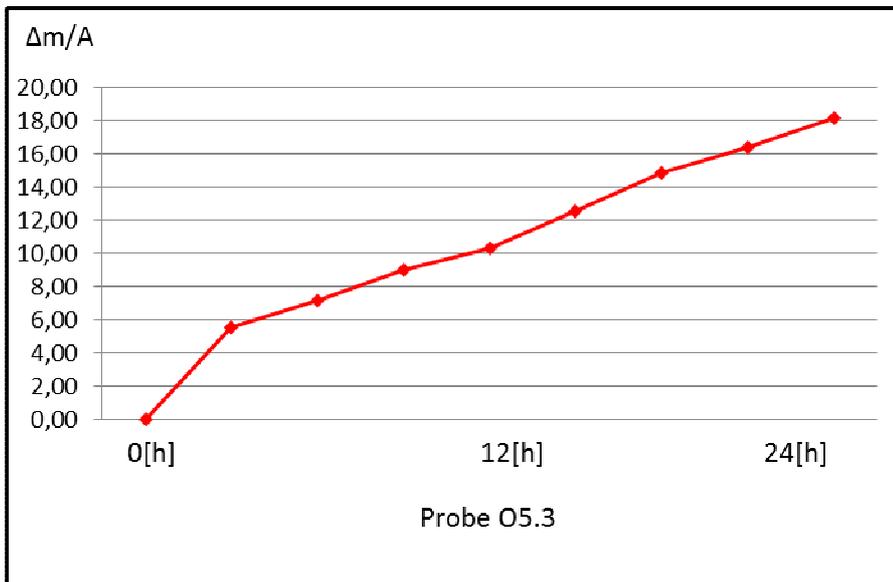
Probe: O5.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	156,840	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	163,160	6,320	3,220	22,766
1,000	1,000	164,900	8,060	4,106	4,106
2,000	1,414	167,140	10,300	5,247	3,710
4,000	2,000	168,360	11,520	5,869	2,934
8,000	2,828	170,010	13,170	6,709	2,372
14,000	3,742	172,030	15,190	7,738	2,068
19,000	4,359	173,600	16,760	8,538	1,959
24,000	4,899	174,750	17,910	9,124	1,862
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,989
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,989			



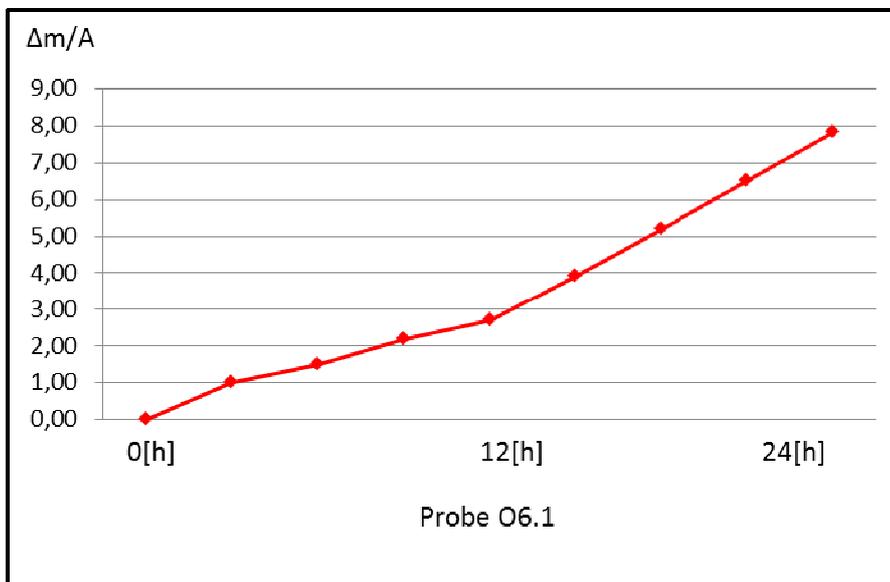
Probe: O5.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	164,010	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	169,580	5,570	2,837	20,064
1,000	1,000	171,160	7,150	3,642	3,642
2,000	1,414	173,020	9,010	4,590	3,246
4,000	2,000	174,300	10,290	5,242	2,621
8,000	2,828	176,540	12,530	6,383	2,257
14,000	3,742	178,820	14,810	7,545	2,016
19,000	4,359	180,410	16,400	8,355	1,917
24,000	4,899	182,140	18,130	9,236	1,885
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,470
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	4,470			



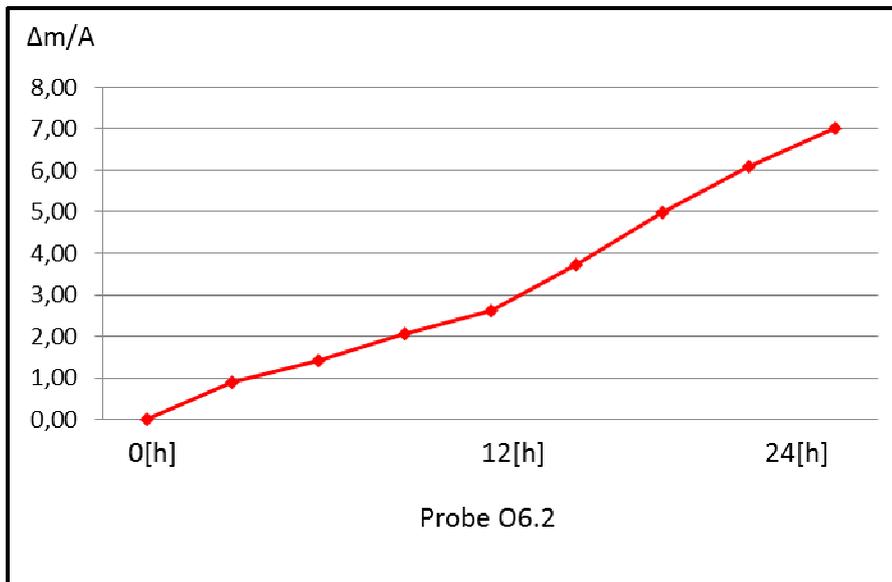
Probe: O6.1 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	146,970	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	147,970	1,000	0,509	3,602
1,000	1,000	148,460	1,490	0,759	0,759
2,000	1,414	149,150	2,180	1,111	0,785
4,000	2,000	149,690	2,720	1,386	0,693
8,000	2,828	150,880	3,910	1,992	0,704
14,000	3,742	152,170	5,200	2,649	0,708
19,000	4,359	153,490	6,520	3,321	0,762
24,000	4,899	154,790	7,820	3,984	0,813
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,002
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	1,002			



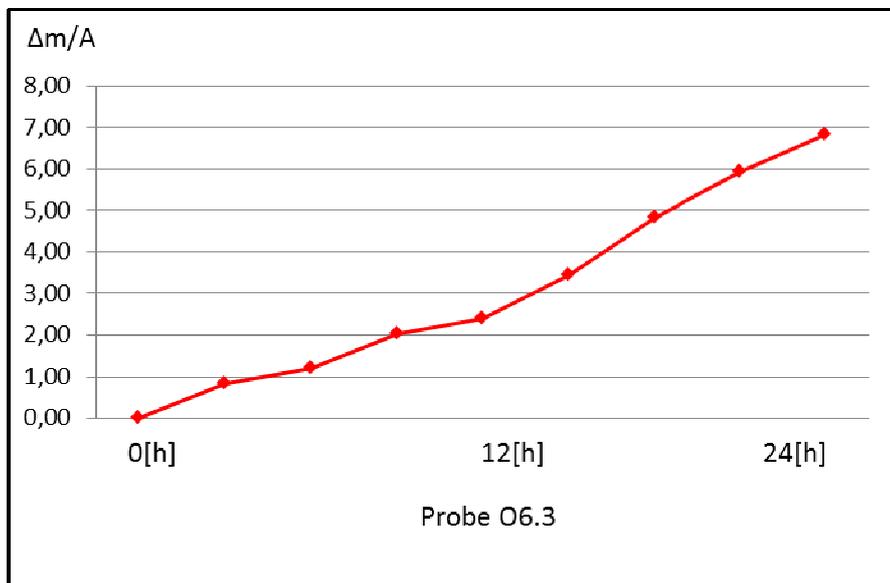
Probe: O6.2 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5}	m	Δm	Δm/A	W
	[h _{0,5}]	[g]	[g]	[kg/m ²]	[kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	154,390	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	155,290	0,900	0,458	3,242
1,000	1,000	155,800	1,410	0,718	0,718
2,000	1,414	156,460	2,070	1,055	0,746
4,000	2,000	157,010	2,620	1,335	0,667
8,000	2,828	158,110	3,720	1,895	0,670
14,000	3,742	159,360	4,970	2,532	0,677
19,000	4,359	160,470	6,080	3,097	0,711
24,000	4,899	161,410	7,020	3,576	0,730
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	0,929
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	0,929			



Probe: O6.3 Start Uhrzeit: 16:50 Datum: 16.06.2017
 Wetter: bewölkt 12°C Ende Uhrzeit: 16:50 Datum: 17.06.2017

[h]	t _{0,5} [h _{0,5}]	m [g]	Δm [g]	Δm/A [kg/m ²]	W [kg/(m ² h _{0,5})]
0,000	0,000	156,440	0,000	0,000	0,000
0,020	0,141	157,270	0,830	0,423	2,990
1,000	1,000	157,630	1,190	0,606	0,606
2,000	1,414	158,470	2,030	1,034	0,731
4,000	2,000	158,840	2,400	1,223	0,611
8,000	2,828	159,880	3,440	1,752	0,620
14,000	3,742	161,280	4,840	2,466	0,659
19,000	4,359	162,370	5,930	3,021	0,693
24,000	4,899	163,280	6,840	3,484	0,711
	0,000			W [kg/(m ² h _{0,5})]	0,864
	A [m ²]	0,0019630			
	W [kg/(m ² h _{0,5})]	0,864			

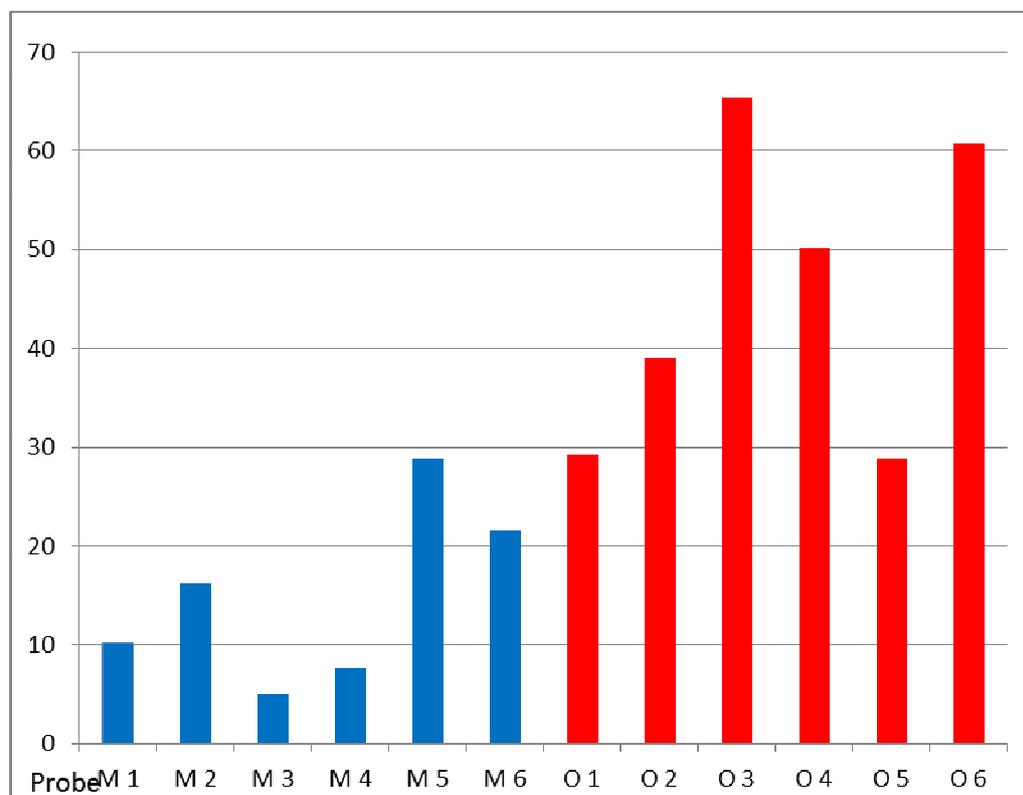


6.6.3 Tauwassermessung

Nebenkammer und Laborwaage

Durchschnitt aller
Proben

Probe	Durchschnitt Menge (g/m ²)
M 1	10,191
M 2	16,136
M 3	5,096
M 4	7,643
M 5	28,875
M 6	21,656
O 1	29,299
O 2	39,066
O 3	65,393
O 4	50,106
O 5	28,875
O 6	60,722



Tauwassermessung Proben M 1 bis O 6

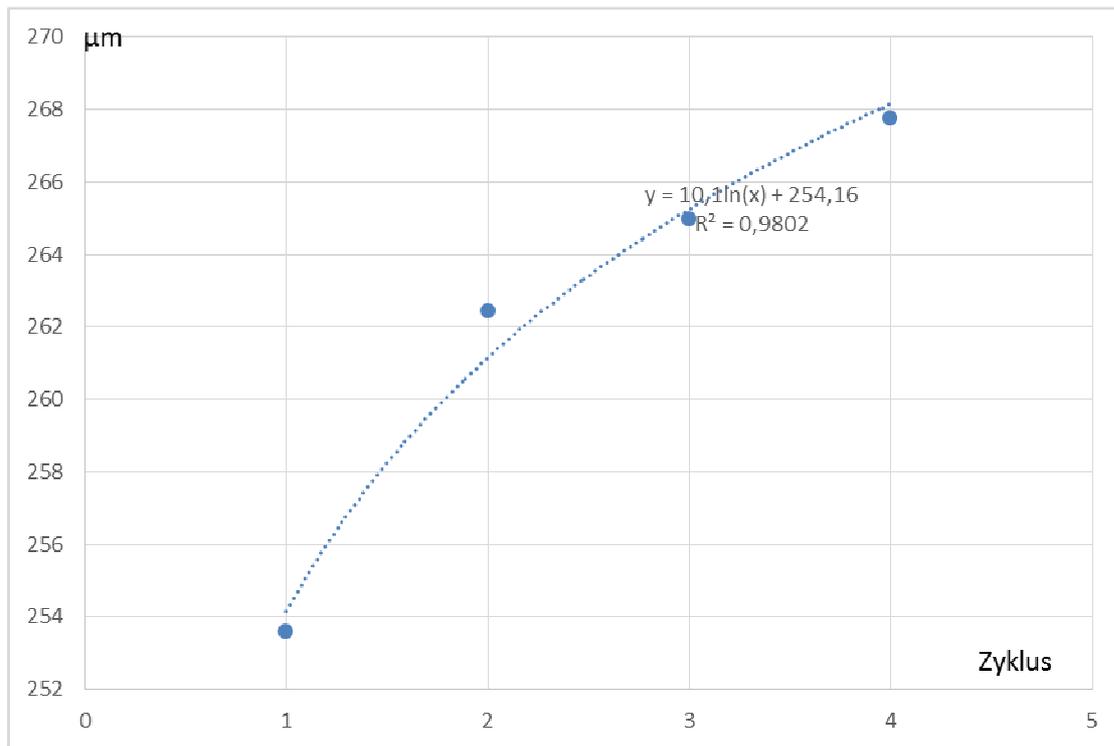
Tauwassermessung mit dem Laserscanmikroskop



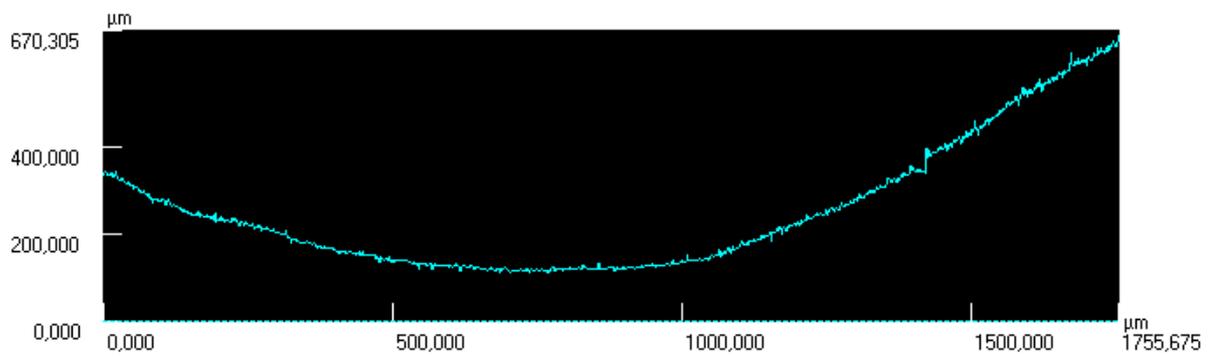
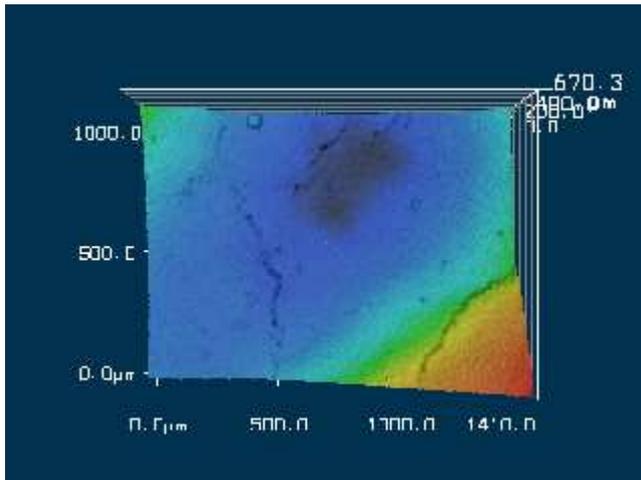
Gemessene Tauwasserhöhen im Zyklus

Probe M 1

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		253,578	262,444	264,971	267,746				
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)								14,168	

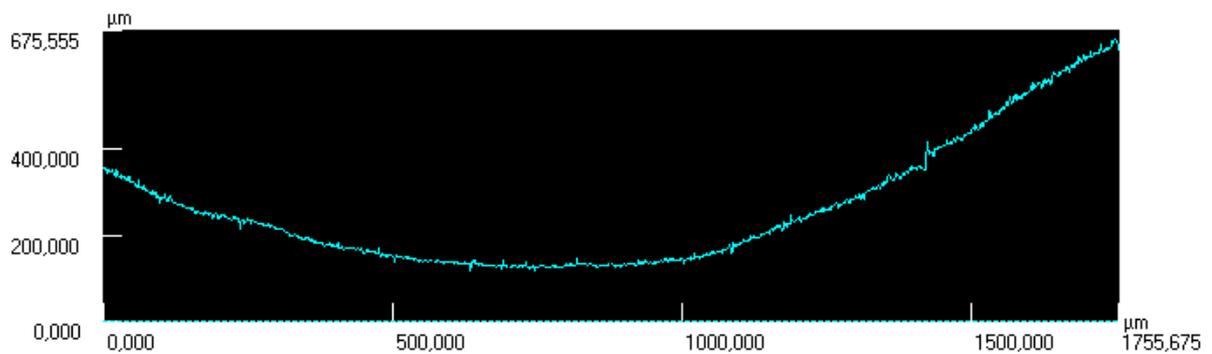
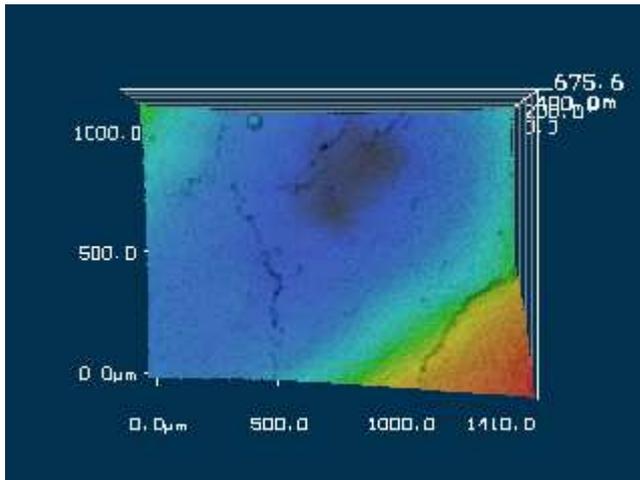


t = 0 Minuten



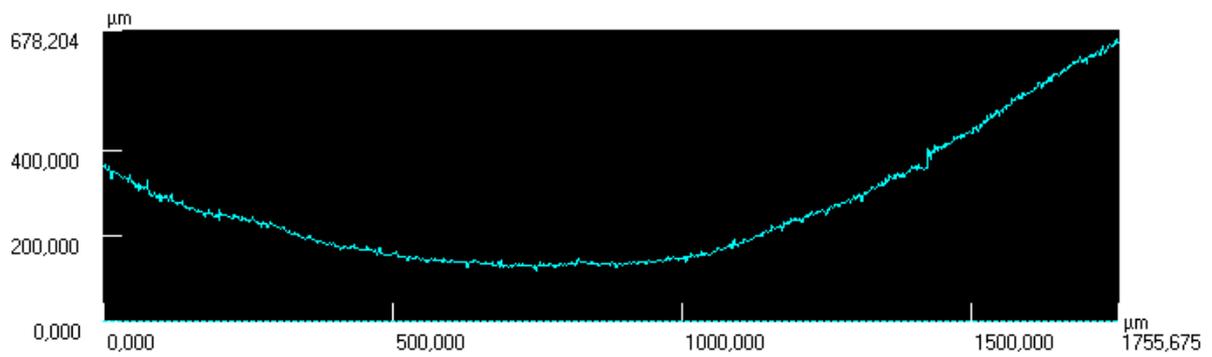
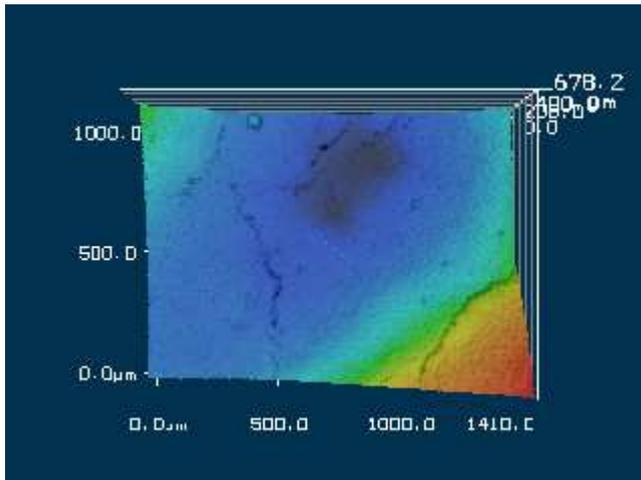
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	322,119μm	253,578μm	10,397°	5039,121μm	445549,786...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



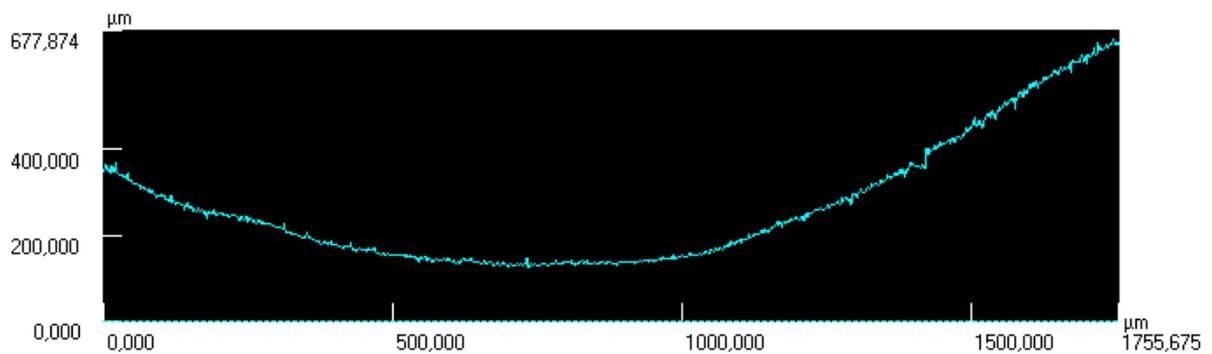
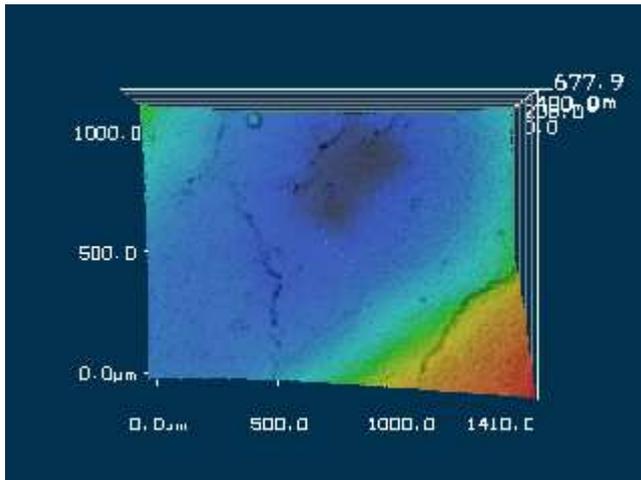
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	274,644μm	262,444μm	8,891°	4922,671μm	461127,227...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	288,136μm	264,971μm	9,320°	4753,331μm	465567,434...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

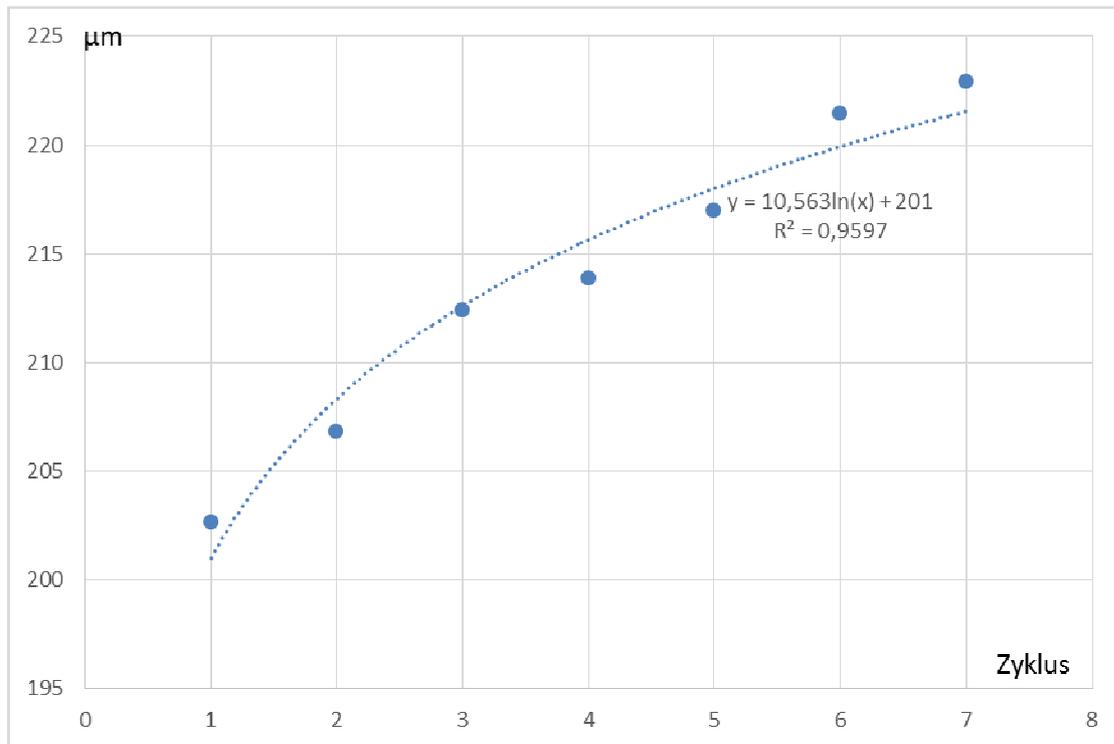
t = 30 Minuten



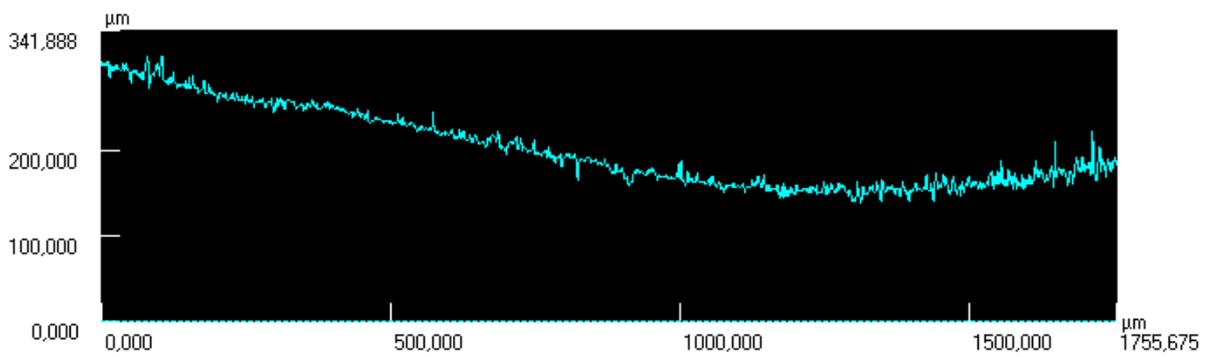
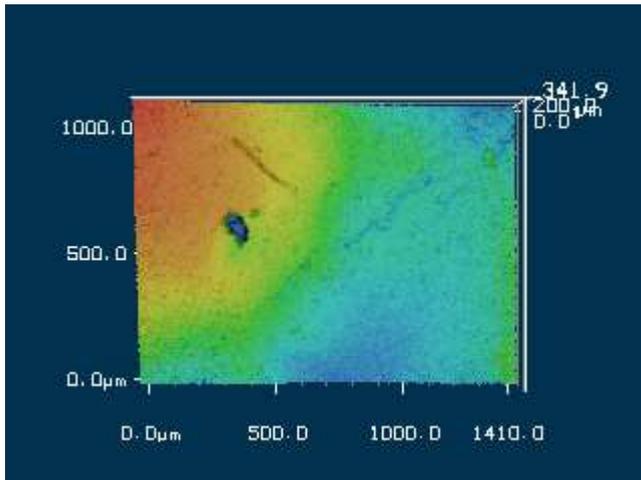
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	294,447μm	267,746μm	9,521°	4924,316μm	470442,804...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe M 2

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		202,619	206,824	212,41	213,871	216,993	221,44	222,912	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							20,293		

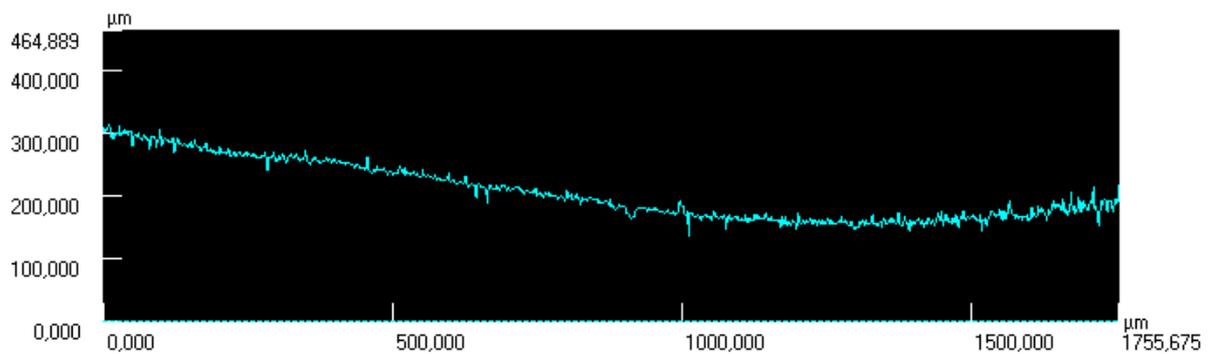
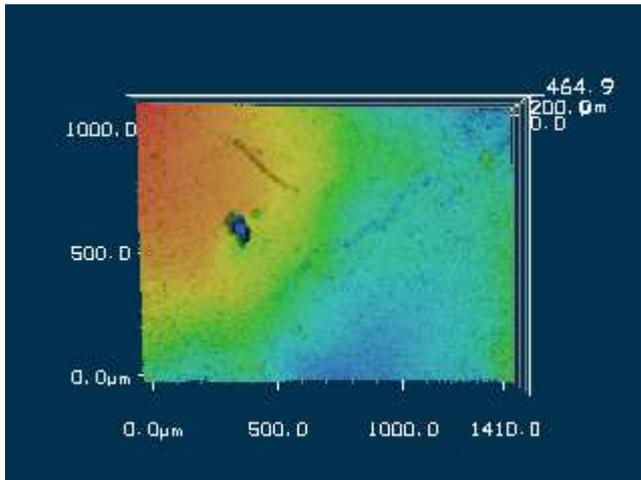


t = 0 Minuten



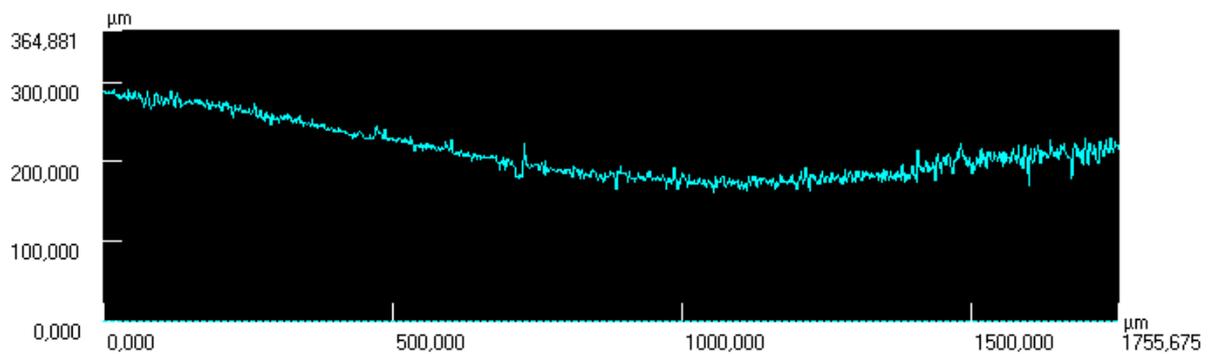
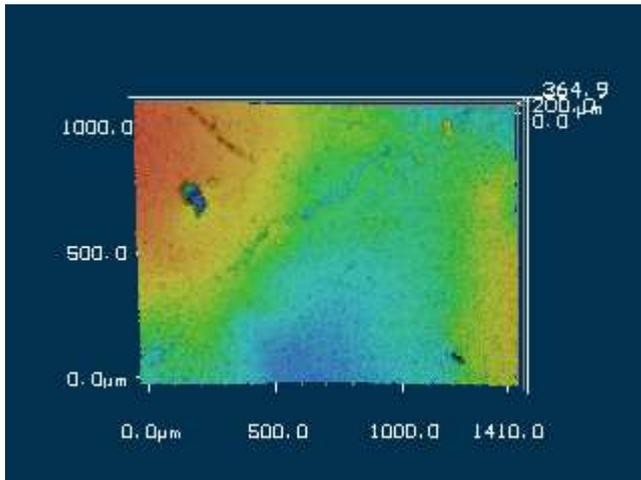
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	117,472µm	202,619µm	3,828°	5464,945µm	356012,619...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



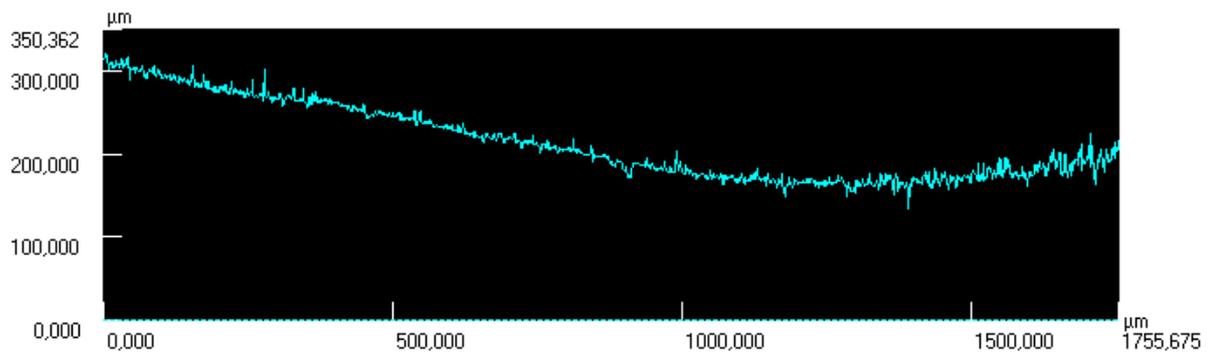
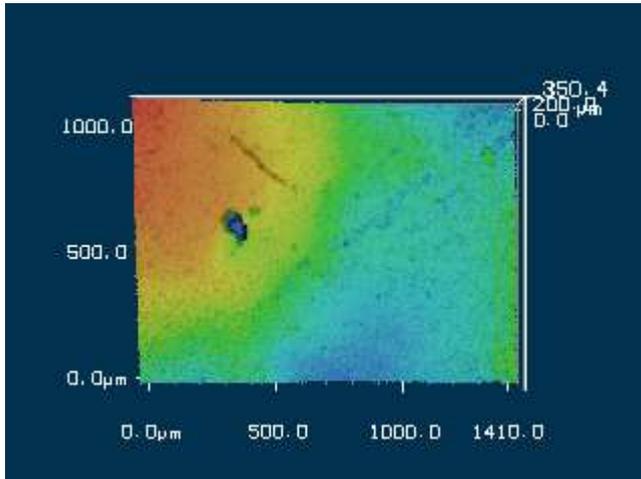
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	86,203μm	206,824μm	2,811°	5145,167μm	363401,017...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



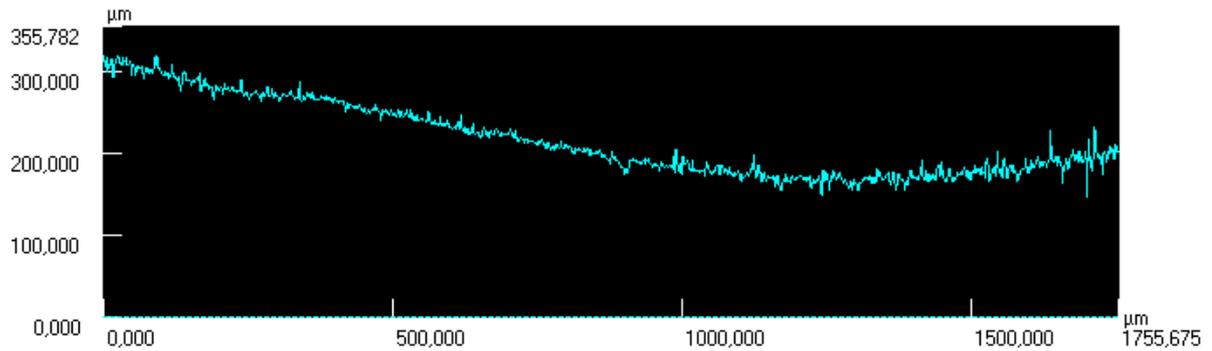
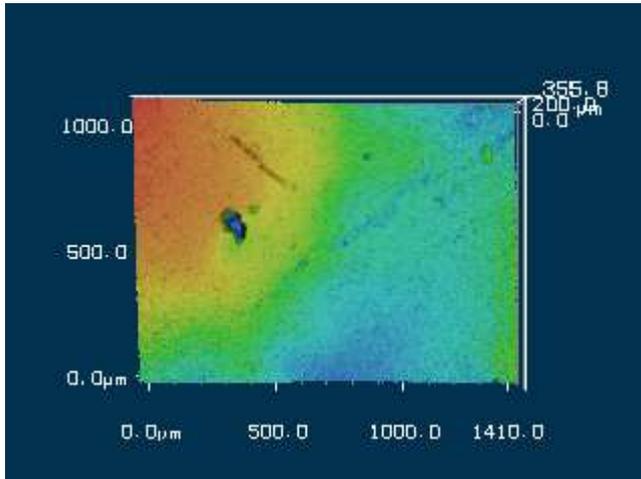
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	73,054μm	212,410μm	2,383°	5747,289μm	373215,835...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



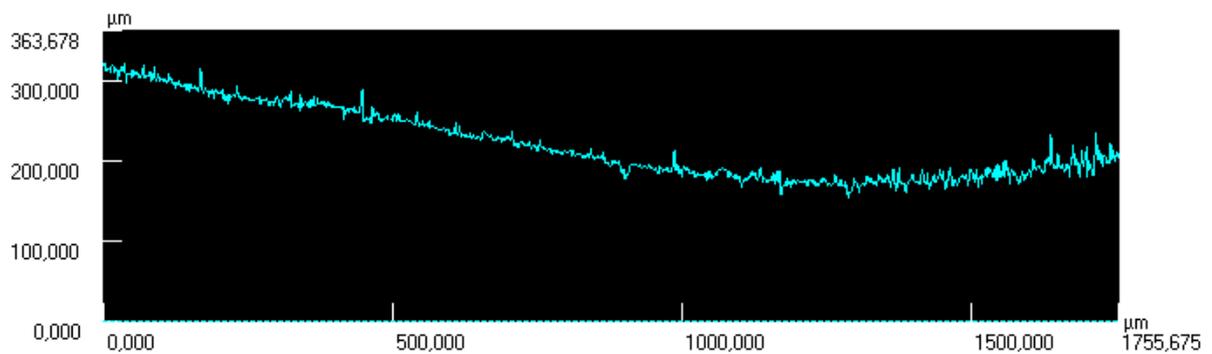
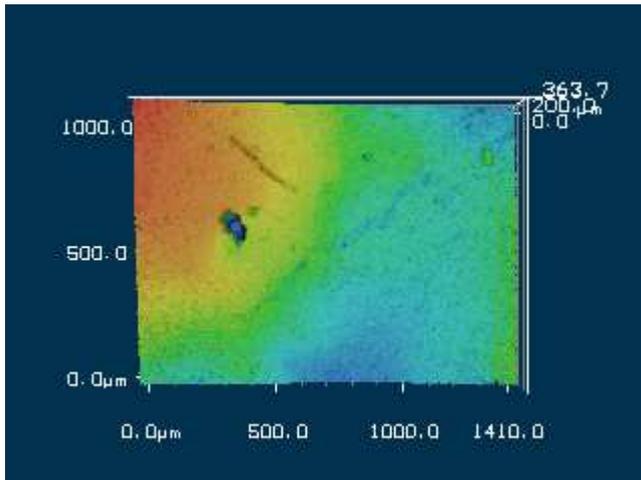
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	99,216μm	213,871μm	3,234°	5449,698μm	375782,906...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



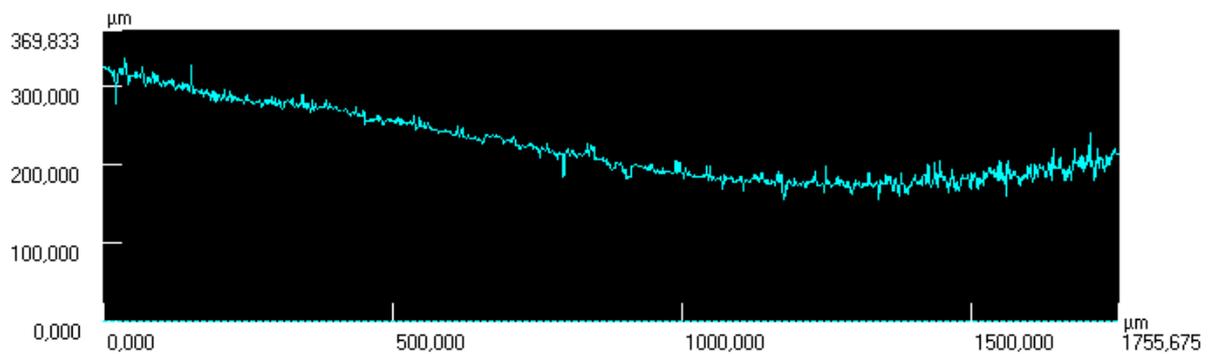
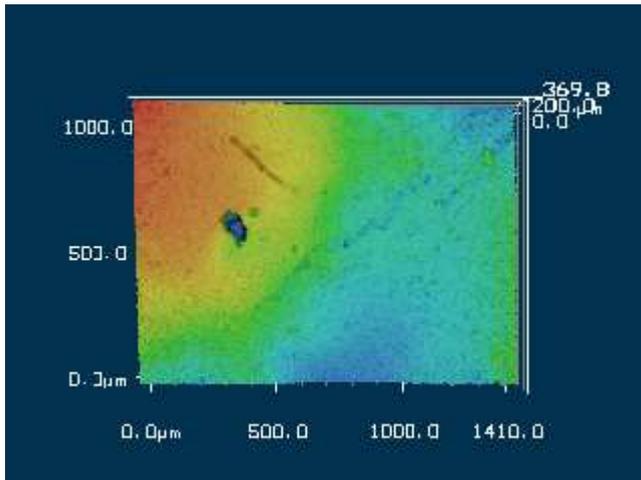
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	117,672μm	216,993μm	3,834°	5589,886μm	381268,660...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	113,970μm	221,440μm	3,714°	5273,400μm	389082,185...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

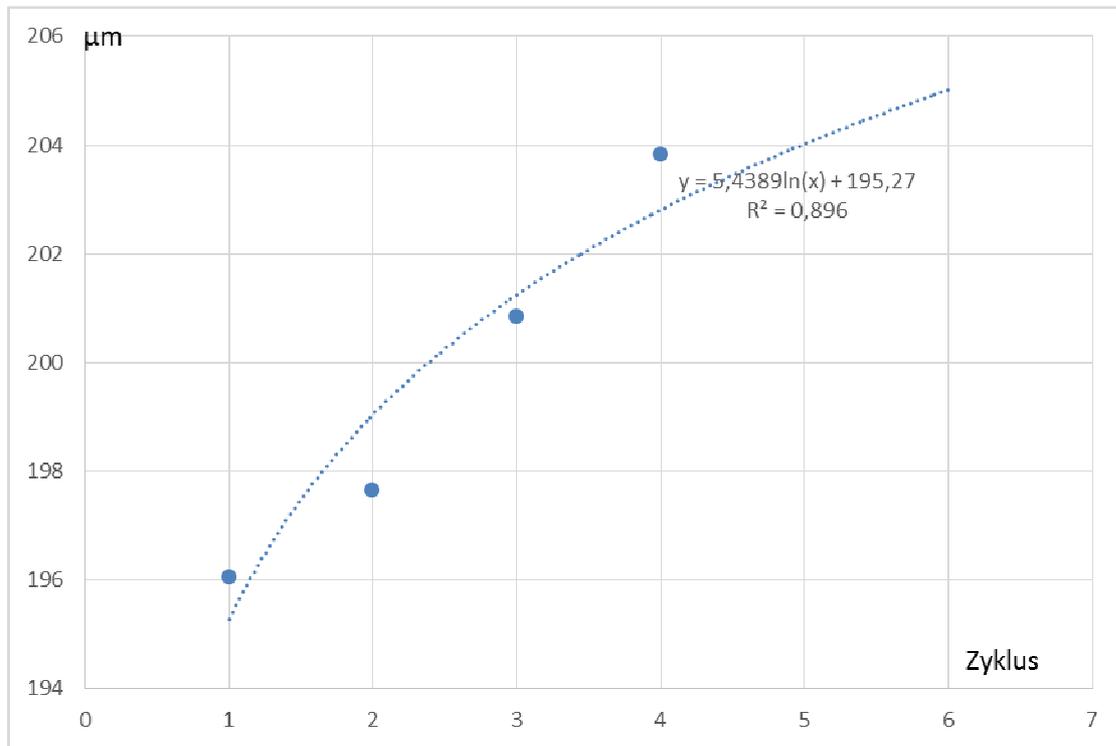
t = 60 Minuten



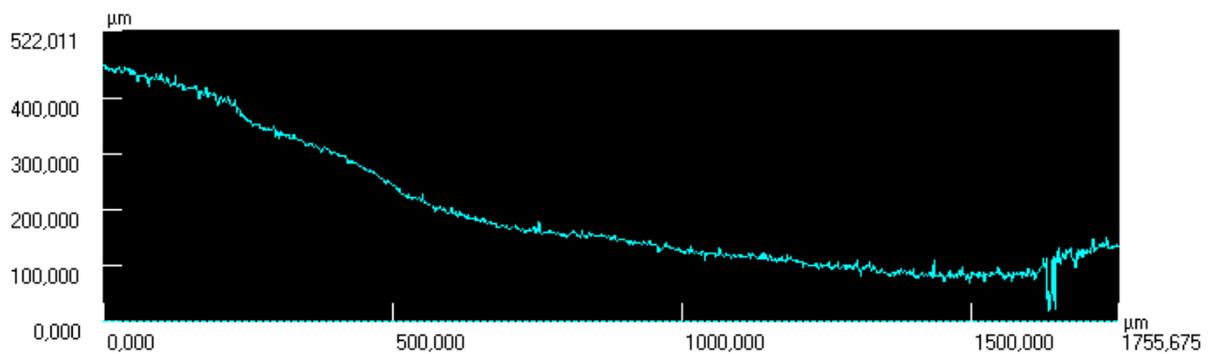
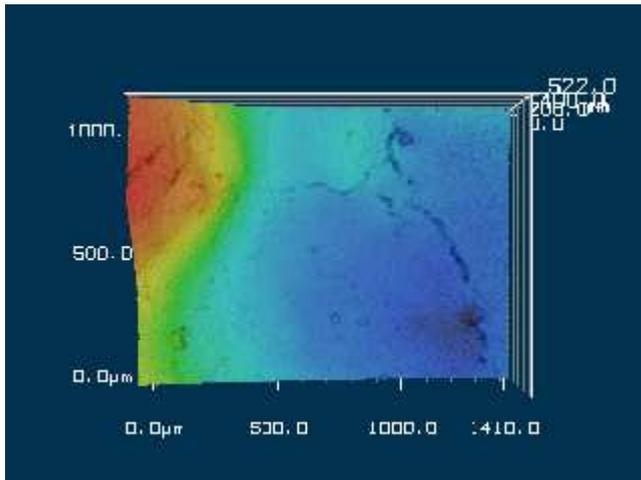
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	111,379μm	222,912μm	3,630°	5777,368μm	391667,418...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe M 3

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		196,045	197,644	200,845	203,817				
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)								7,772	

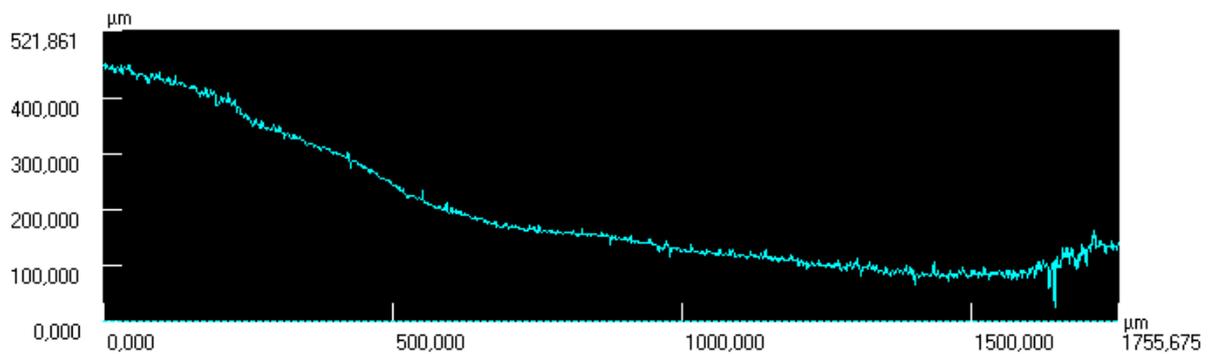
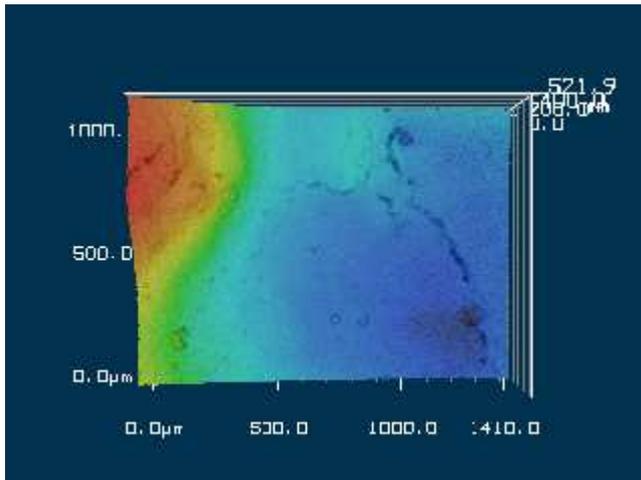


t = 0 Minuten



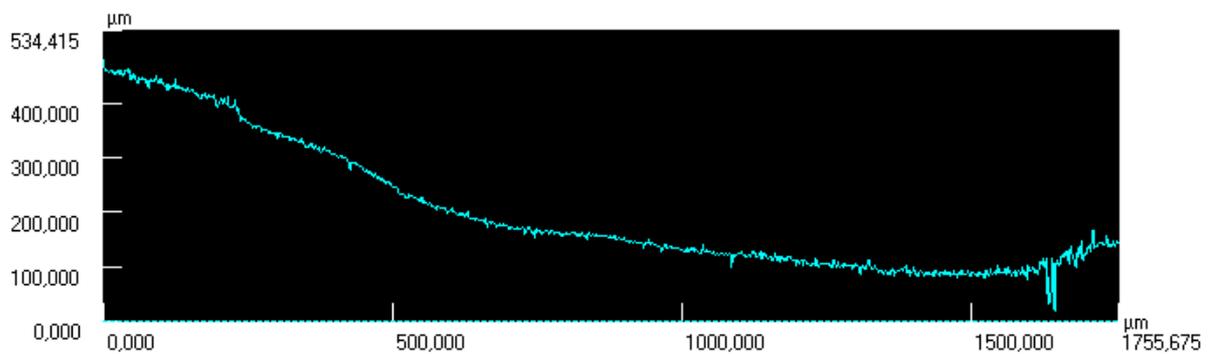
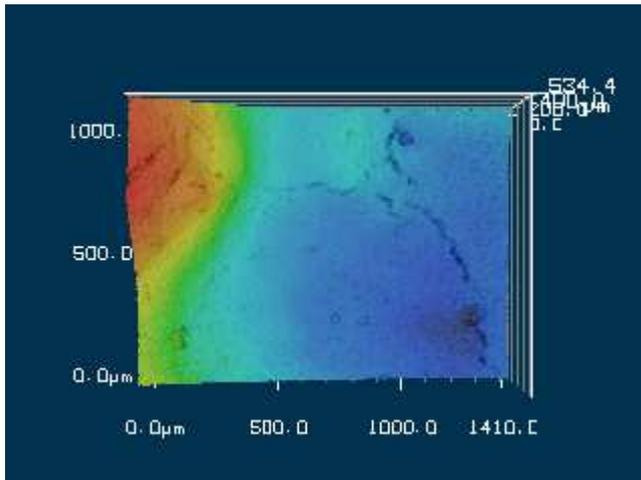
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	325,286μm	196,045μm	10,497°	5198,625μm	344461,936...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



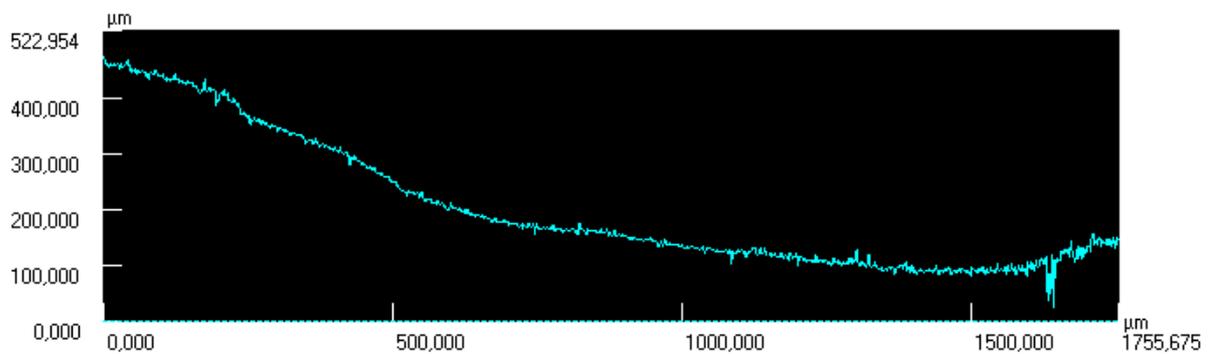
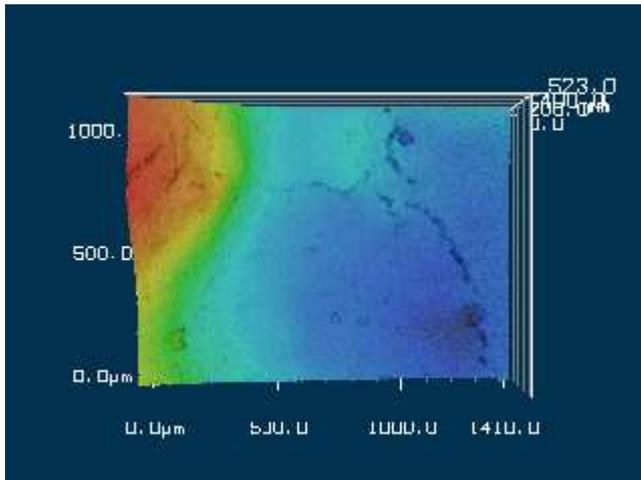
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	319,765μm	197,644μm	10,322°	5484,991μm	347270,759...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	337,057μm	200,845μm	10,867°	5165,618μm	352895,739...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

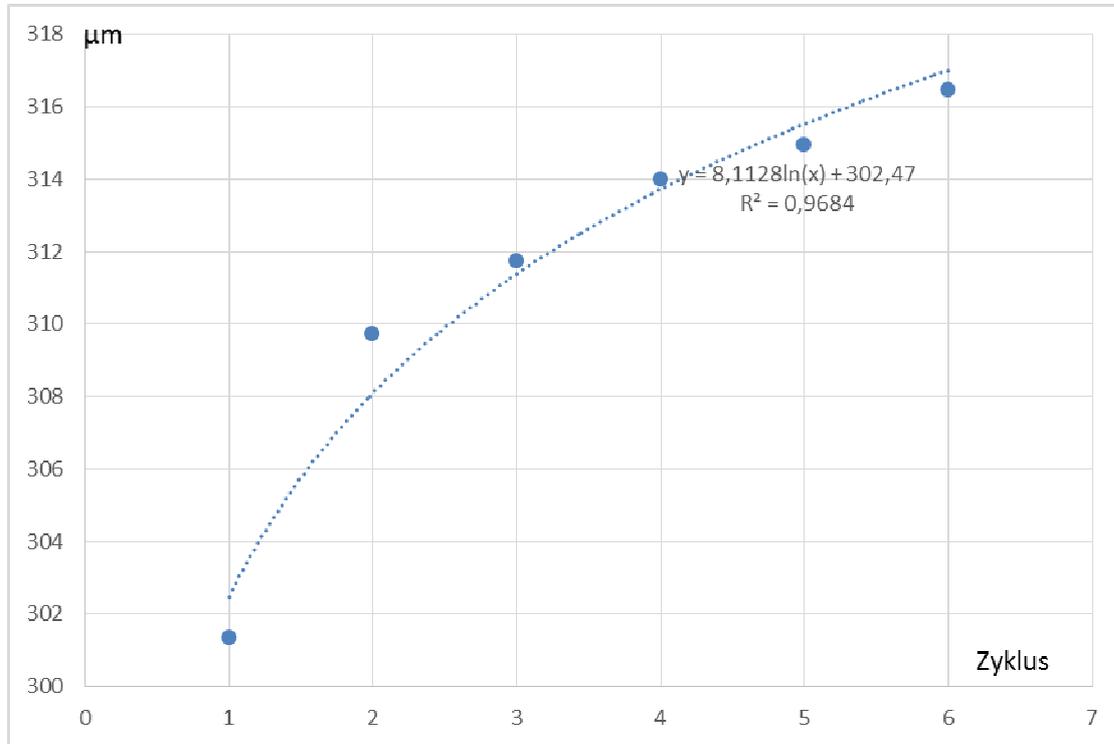
t = 30 Minuten



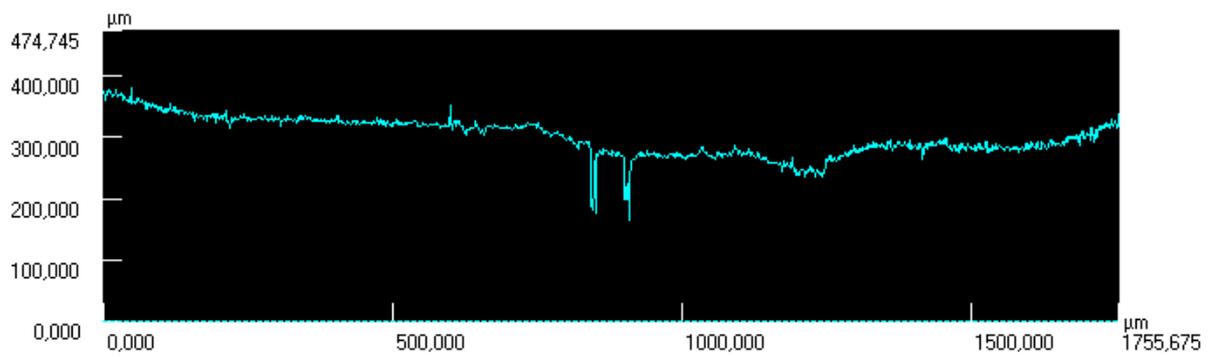
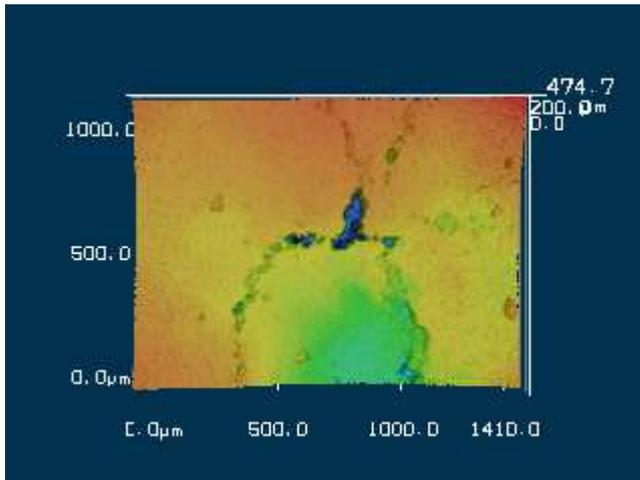
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	328,925µm	203,817µm	10,611°	5348,830µm	358116,666...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe M 4

	Probe	Zeit in Minuten					
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50
		301,342	309,718	311,731	313,991	314,95	316,48
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							15,138

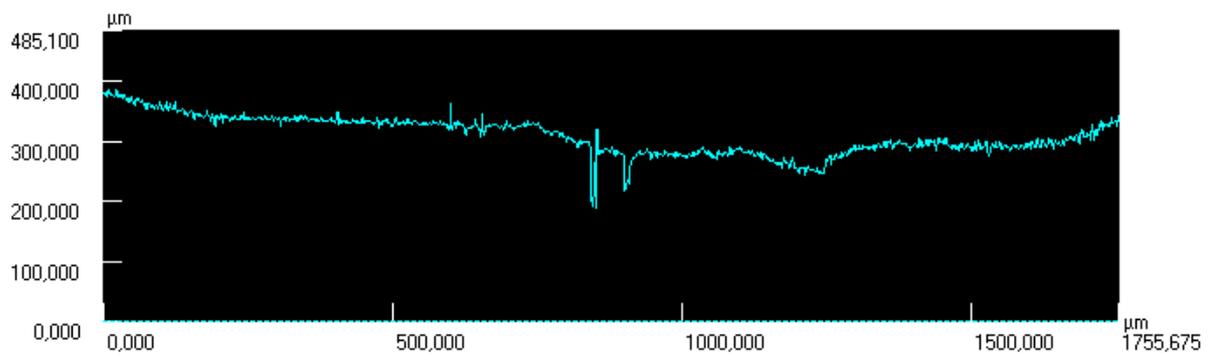
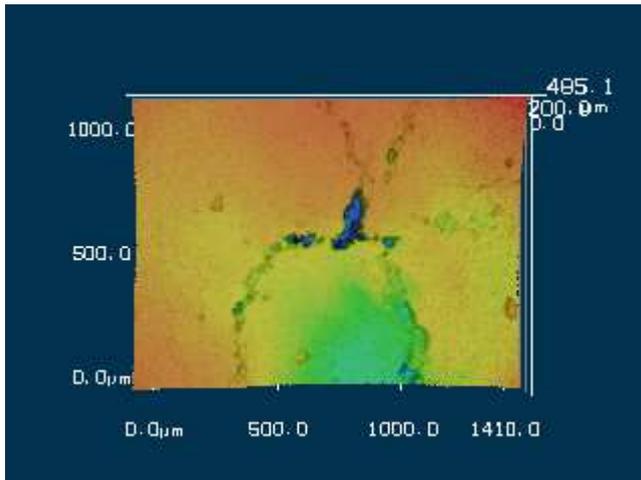


t = 0 Minuten



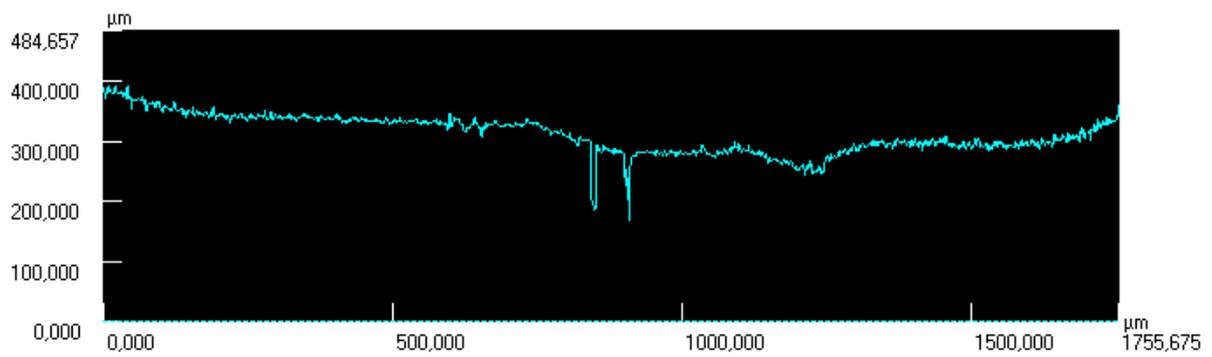
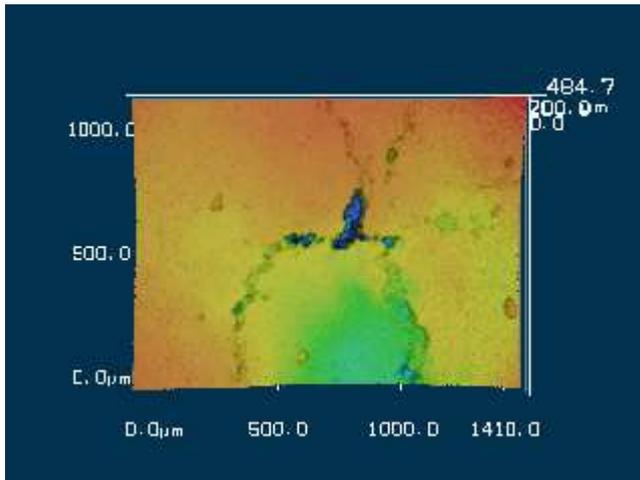
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	37,988μm	301,342μm	1,240°	5440,021μm	529473,965...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



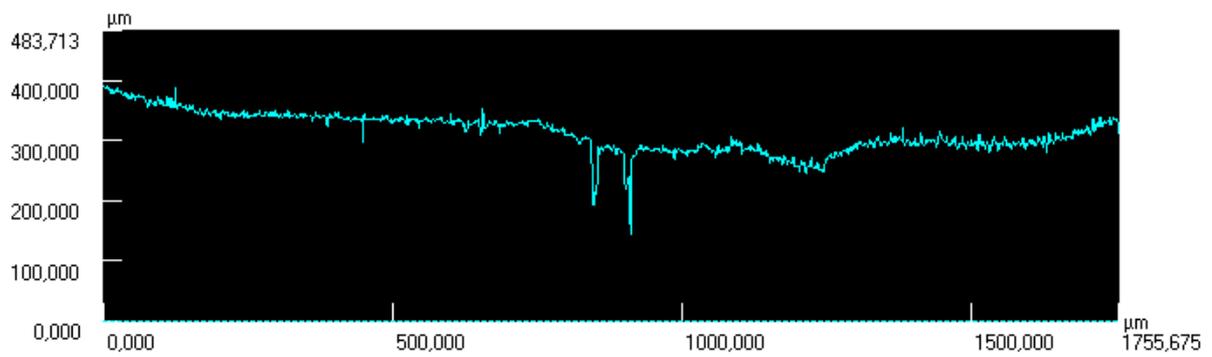
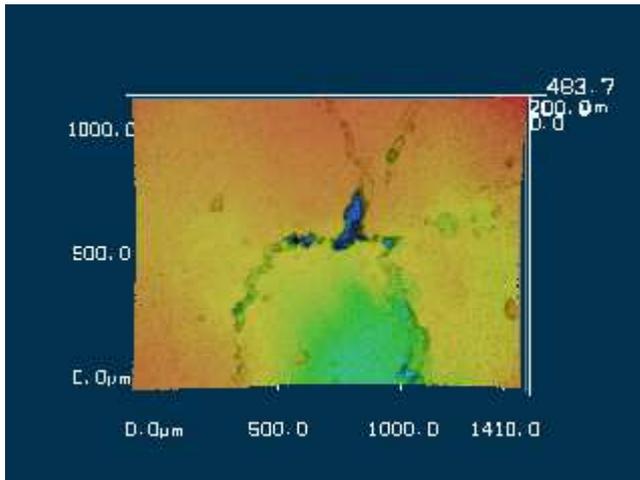
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	37,673µm	309,718µm	1,229°	5461,168µm	544191,166...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



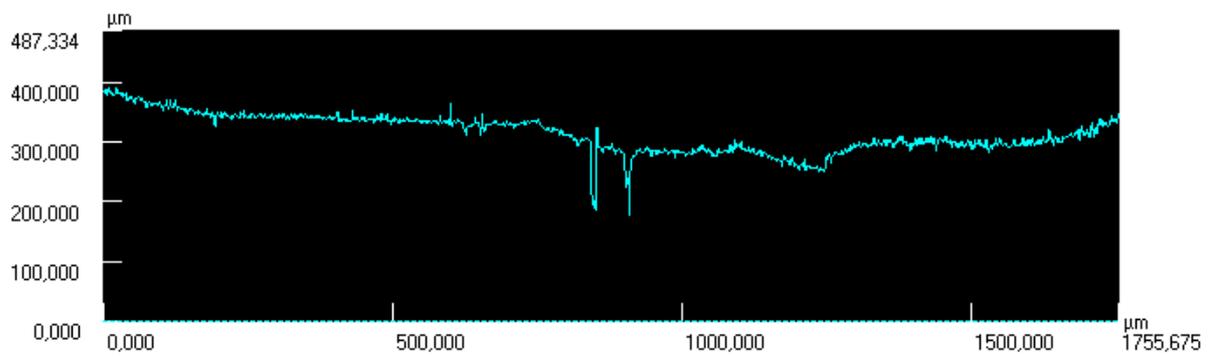
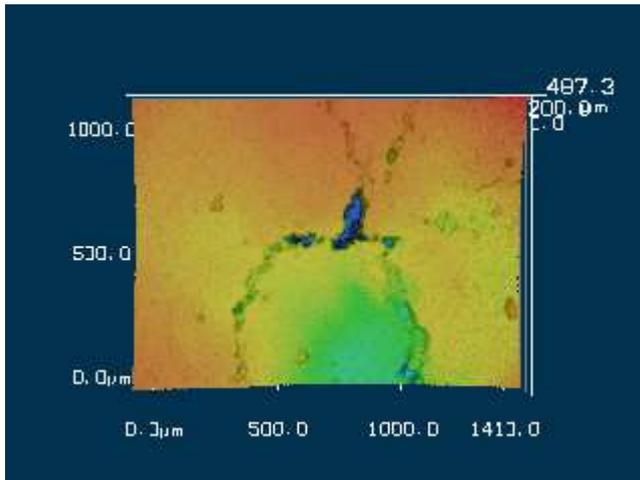
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	28,405µm	311,731µm	0,927°	5313,853µm	547726,767...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



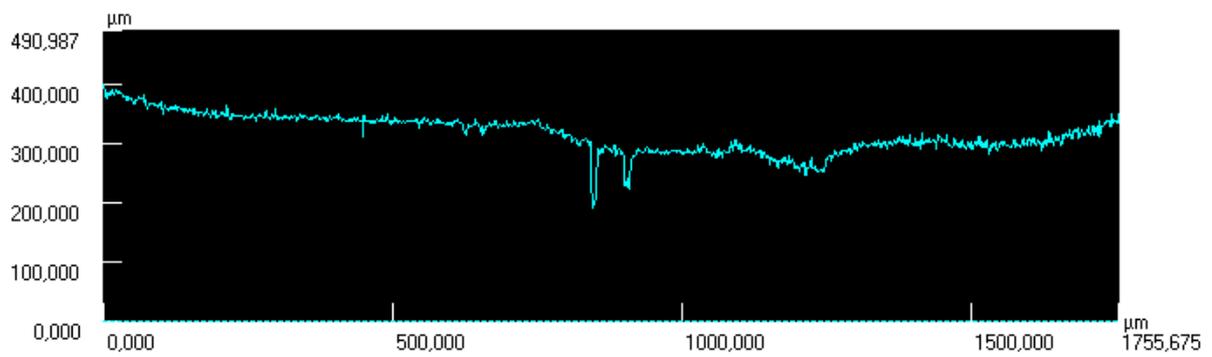
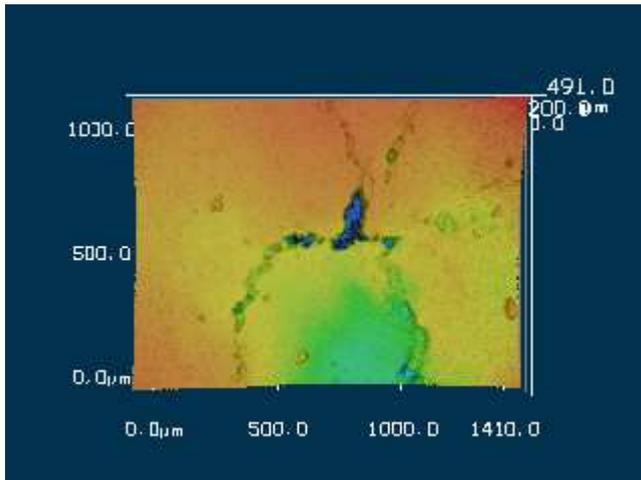
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	77,618µm	313,991µm	2,531°	5849,854µm	551698,161...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	36,889µm	314,950µm	1,204°	5451,320µm	553383,034...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten

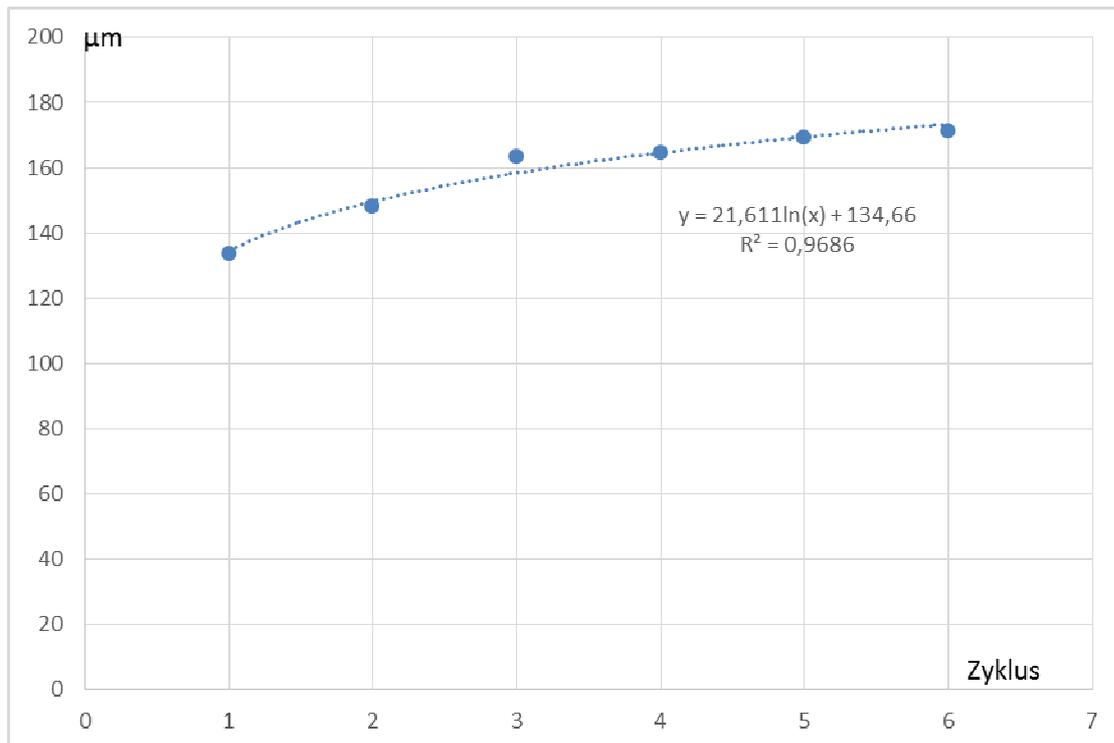


Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	50,057μm	316,480μm	1,633°	5509,452μm	556071,023...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

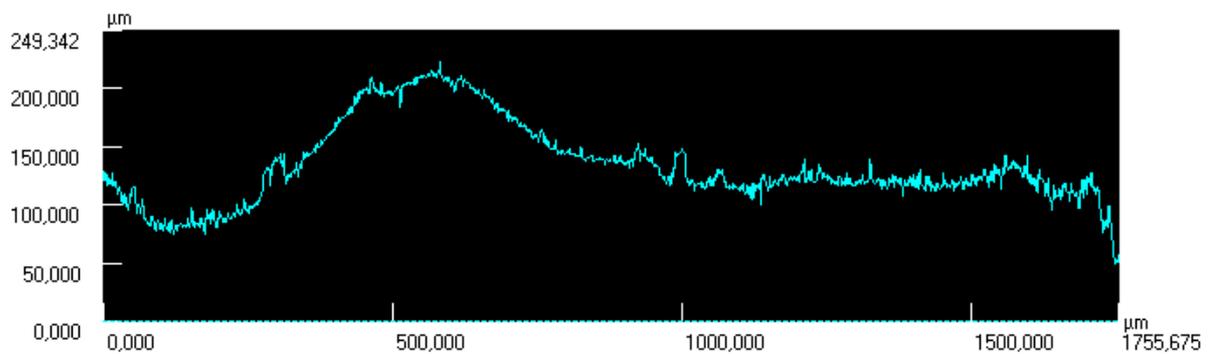
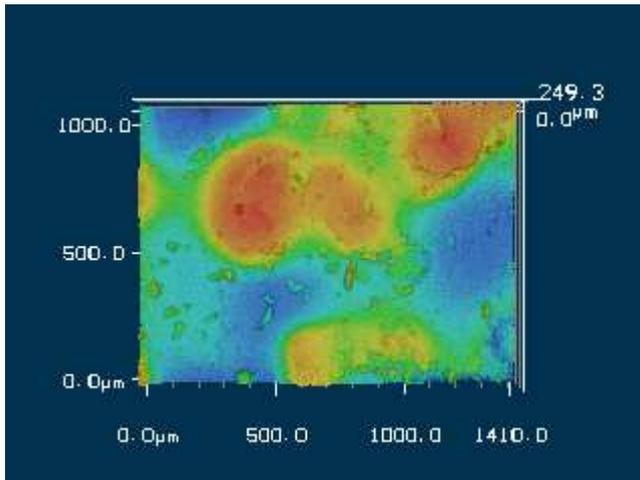
Probe M 5

	Probe	Zeit in Minuten					
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50
		133,725	148,068	163,449	164,513	169,047	171,315
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							59,404

T = 60 Minuten, keine Messung mehr möglich, Tauwasser fließend.

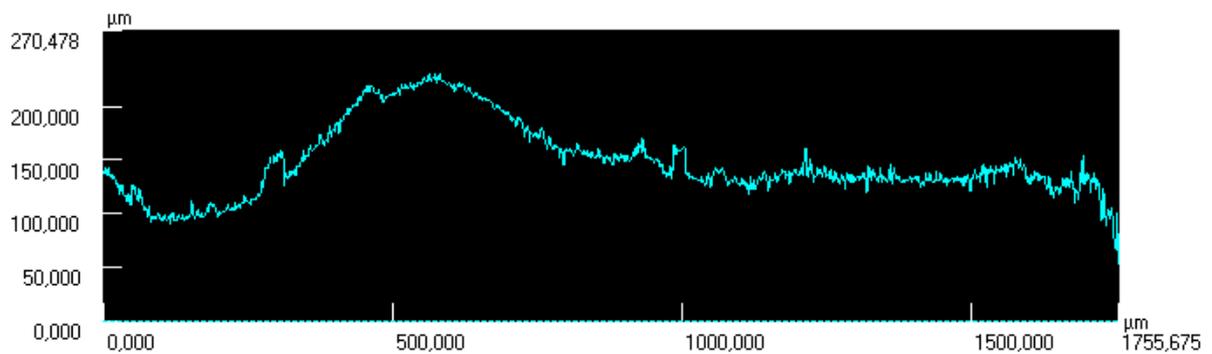
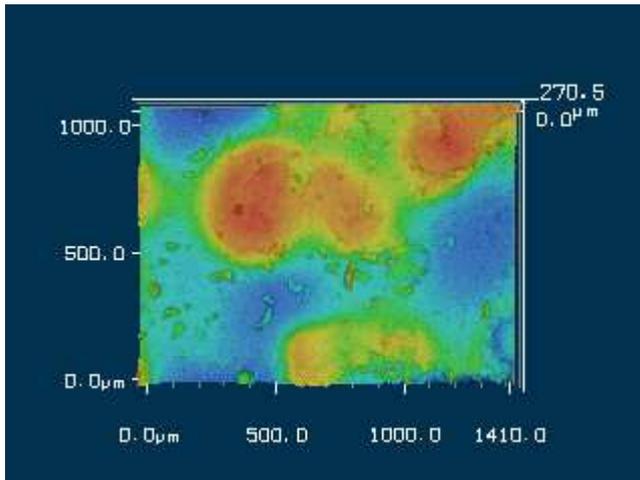


t = 0 Minuten



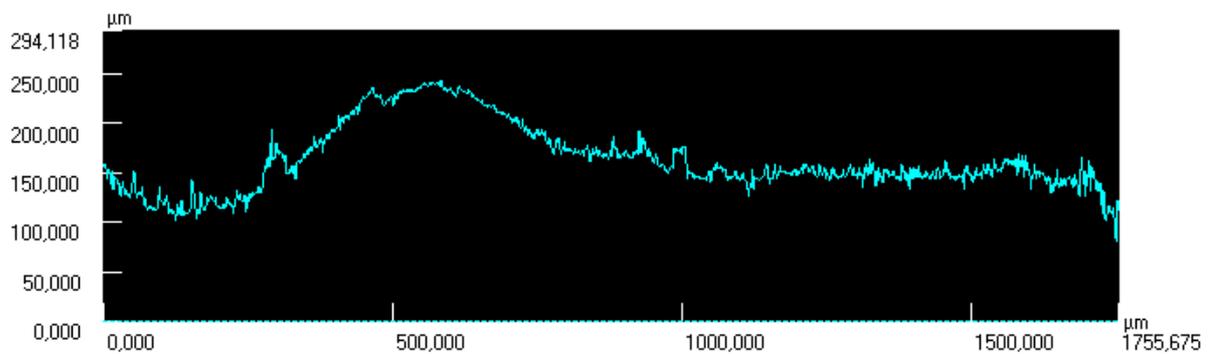
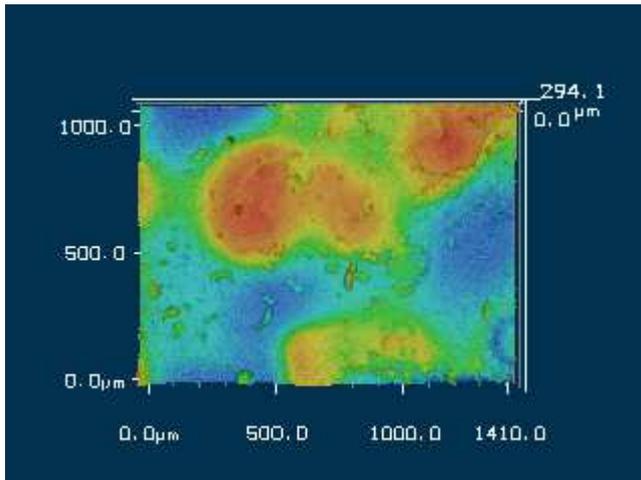
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	71,269μm	133,725μm	2,325°	4658,988μm	234961,364...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



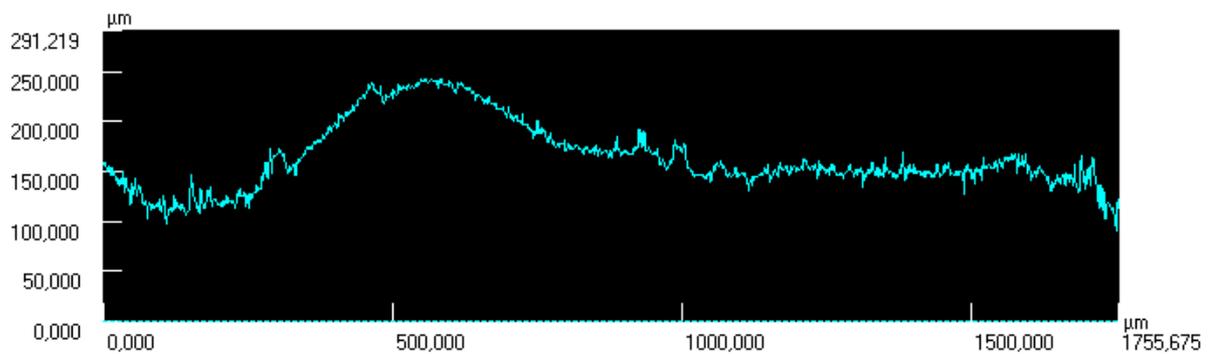
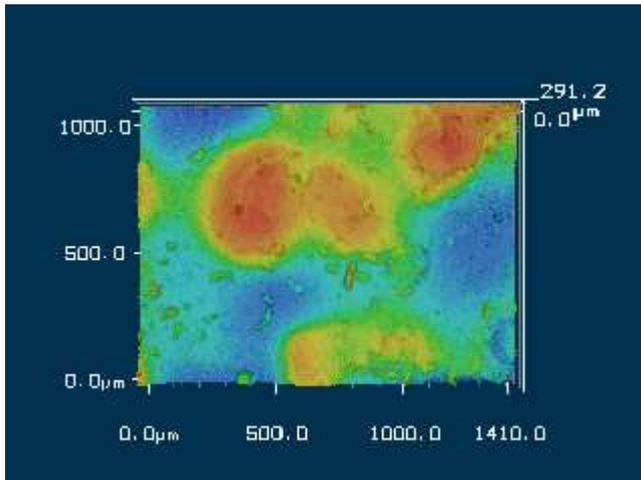
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	85,840μm	148,068μm	2,799°	4713,363μm	260164,010...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



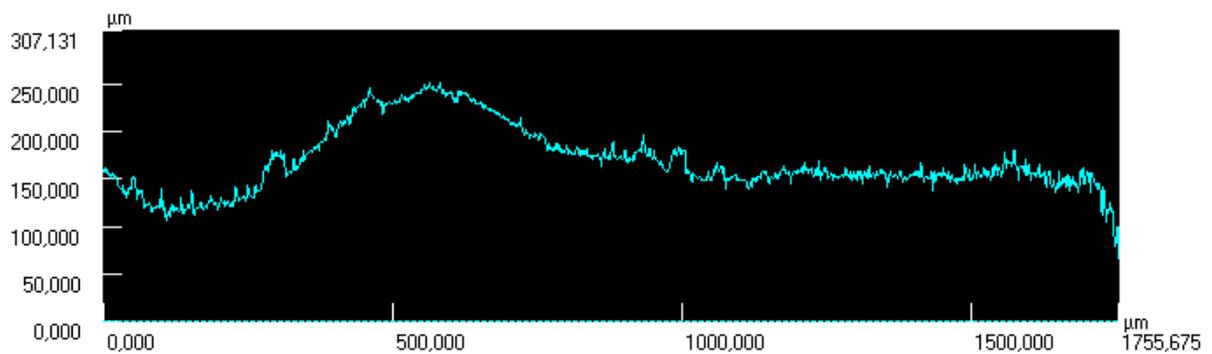
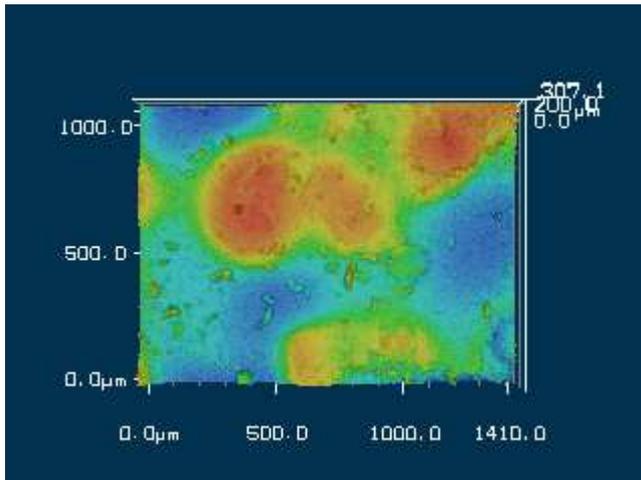
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	43,651μm	163,449μm	1,424°	5218,522μm	287188,888...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



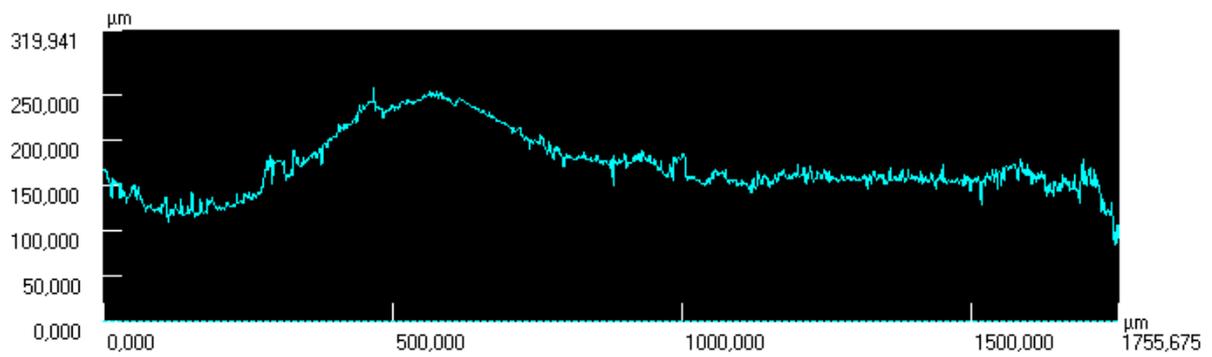
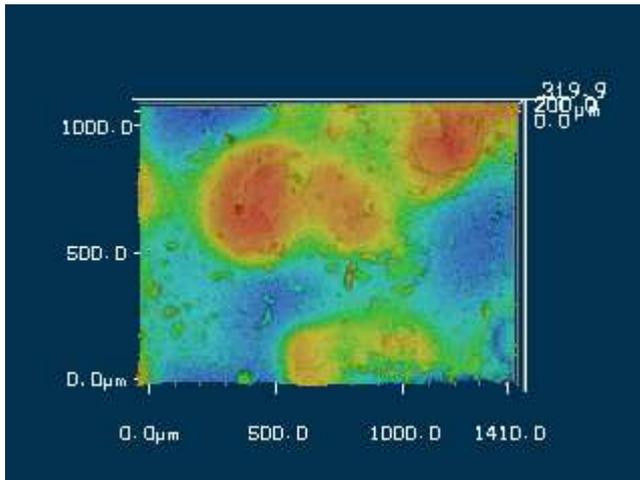
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	43,624μm	164,513μm	1,423°	5055,997μm	289057,532...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	94,193μm	169,047μm	3,071°	5008,478μm	297025,008...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten

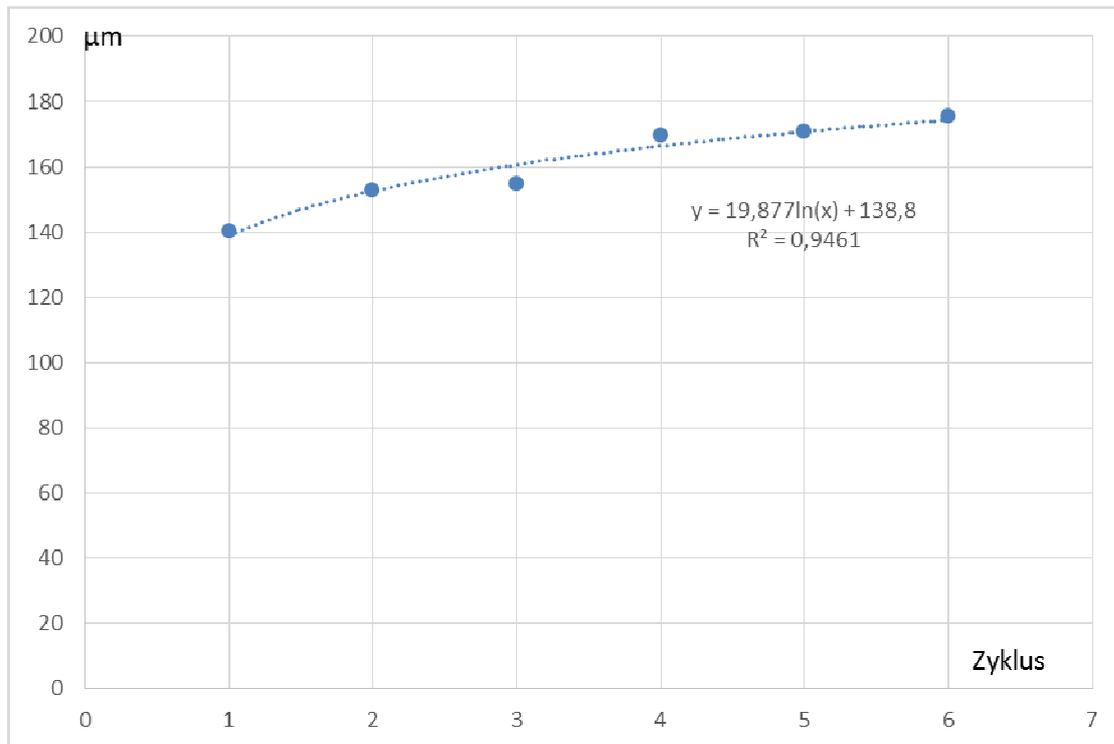


Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	74,419µm	171,315µm	2,427°	5211,565µm	301008,932...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

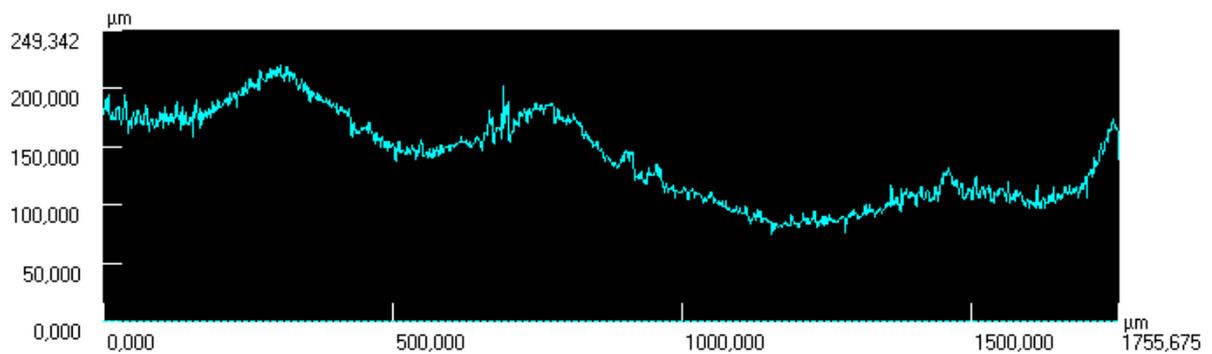
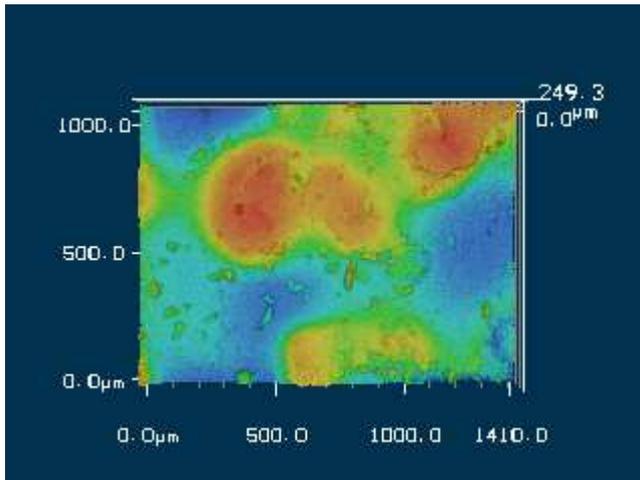
Probe M 6

	Probe	Zeit in Minuten						T 60
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	
		140,339	152,626	154,681	169,588	170,902	175,459	178,152
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							37,813	25,526

T = 60 keine Messung mehr möglich, Tauwasser fließend

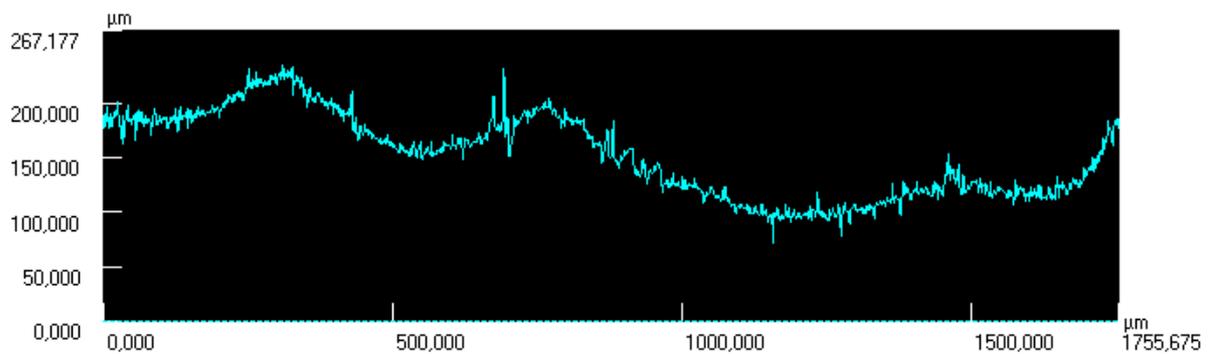
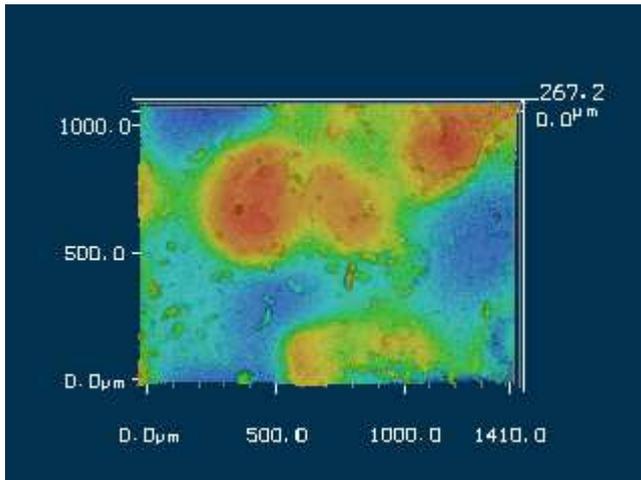


t = 0 Minuten



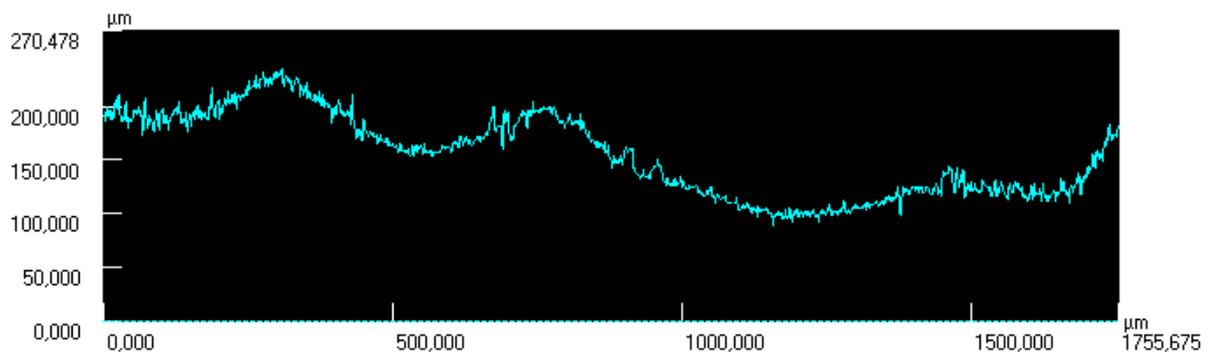
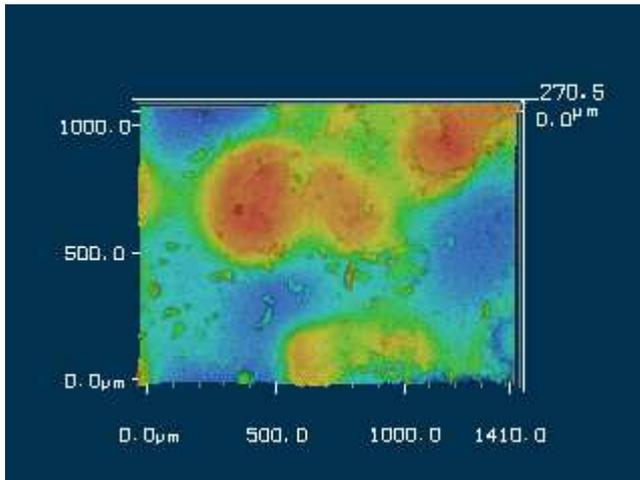
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	37,533μm	140,339μm	1,225°	4924,980μm	246583,319...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



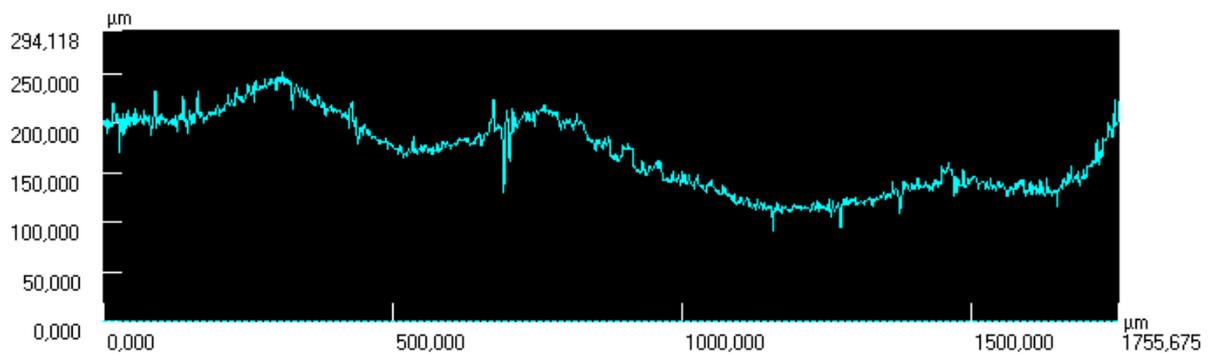
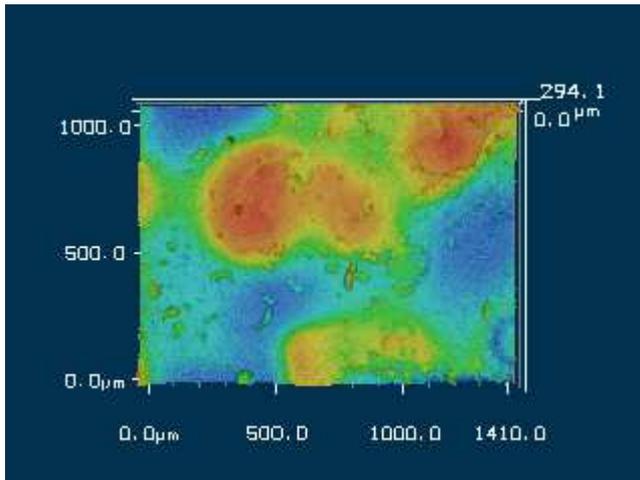
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	0,685µm	152,626µm	0,022°	5814,185µm	268171,179...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



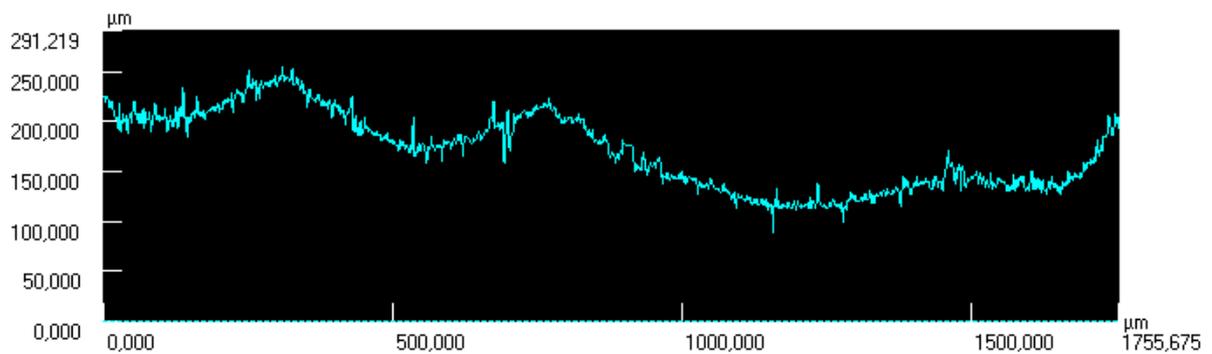
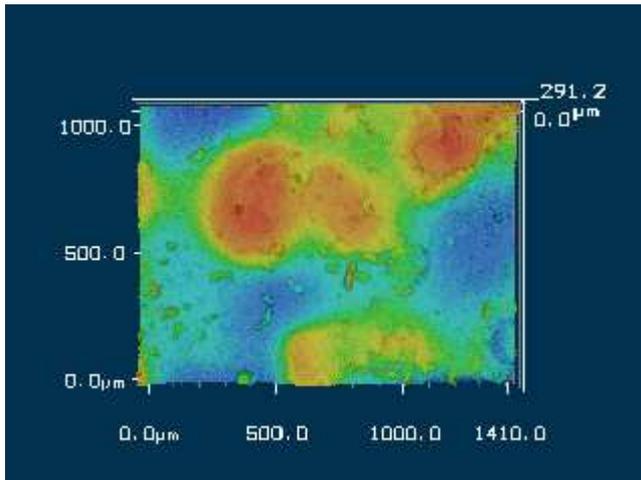
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	10,078µm	154,681µm	0,329°	5103,747µm	271782,293...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



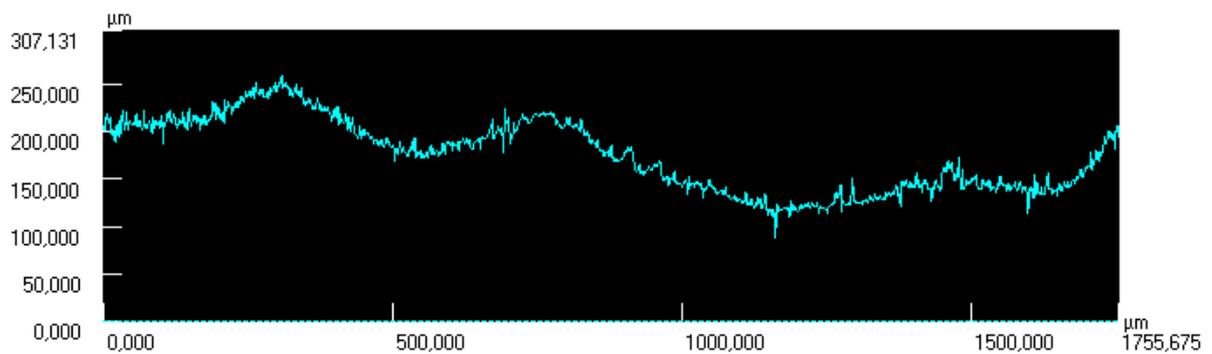
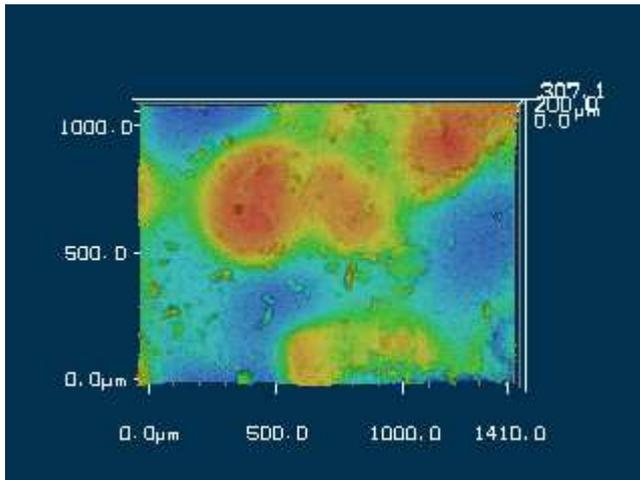
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	20,378μm	169,588μm	0,665°	5720,378μm	297974,274...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



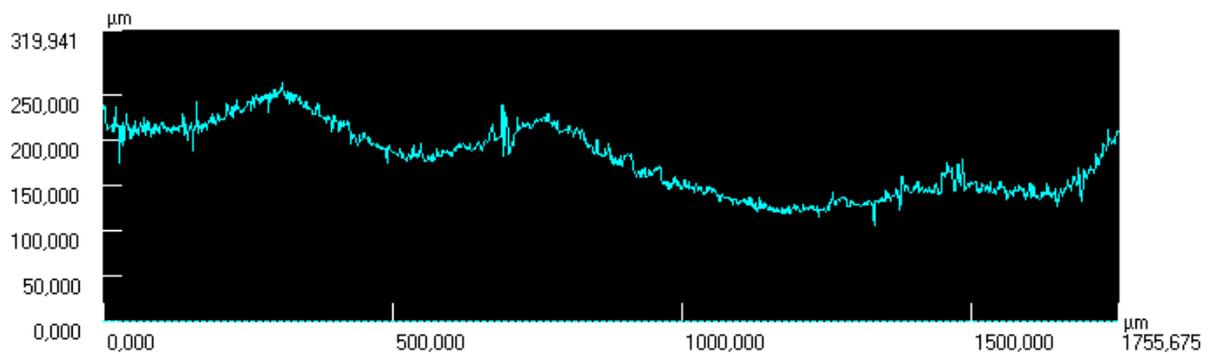
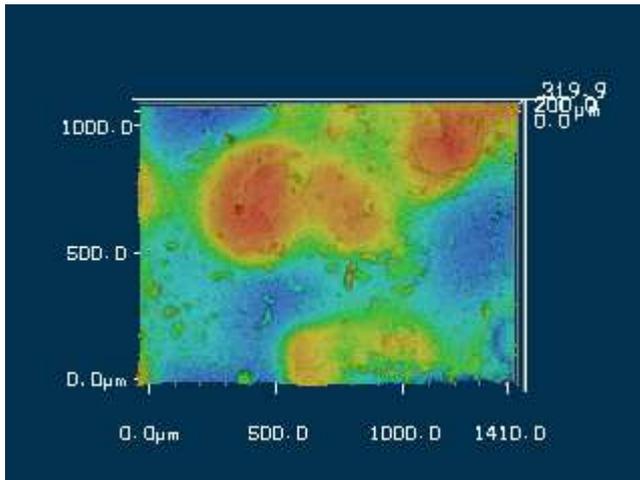
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	31,871μm	170,902μm	1,040°	5735,761μm	300283,090...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	11,555µm	175,459µm	0,377°	5537,761µm	308291,223...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

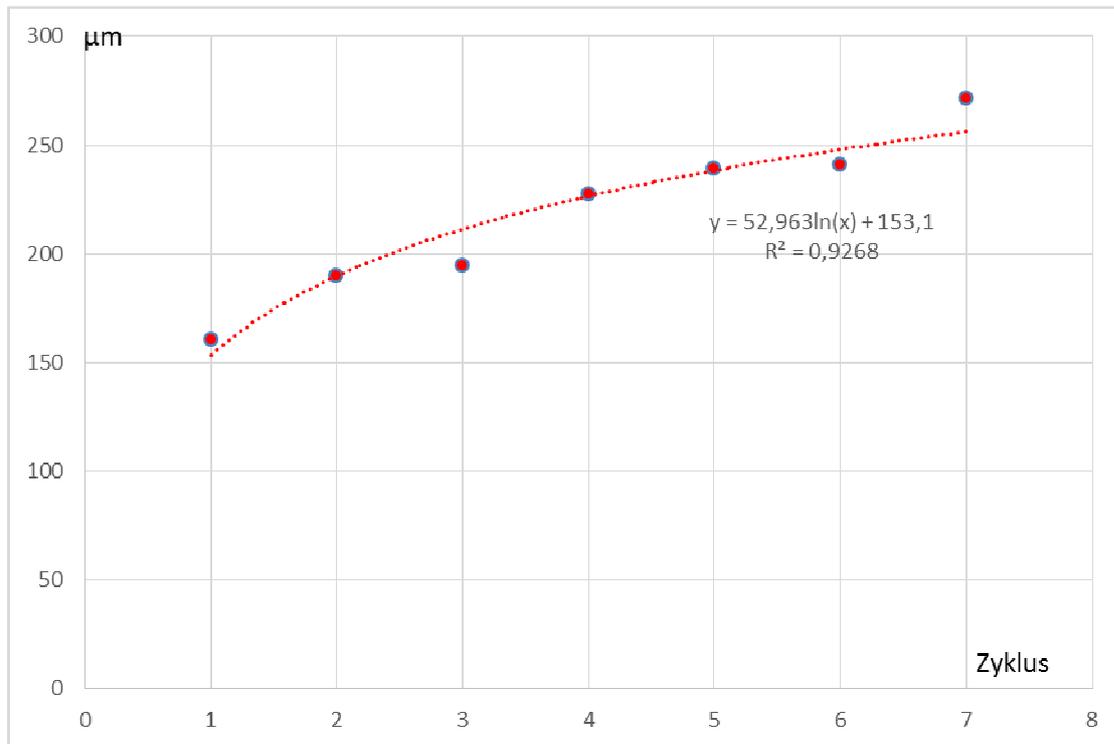
t = 60 Minuten



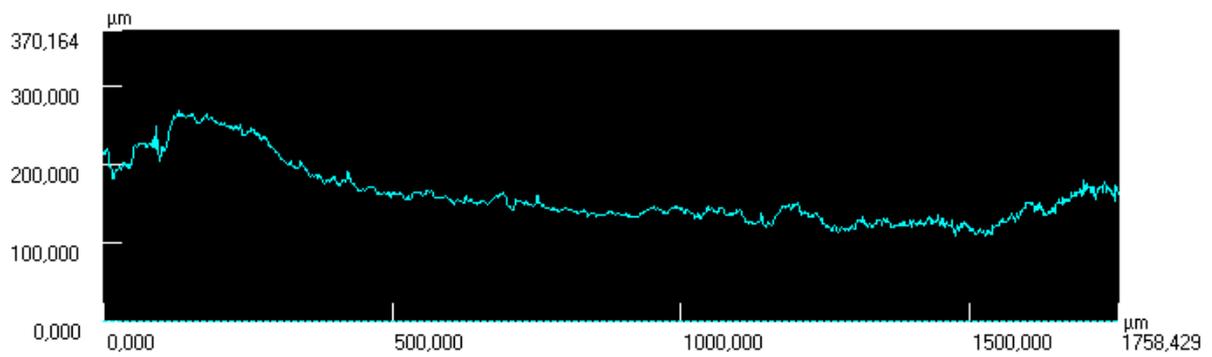
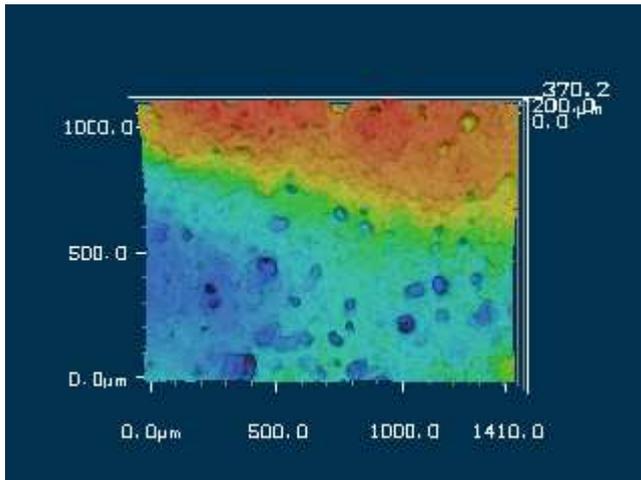
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	24,418µm	178,152µm	0,797°	5506,848µm	313021,865...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 1

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		160,7	189,807	194,338	227,331	239,084	240,814	271,169	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							110,469		

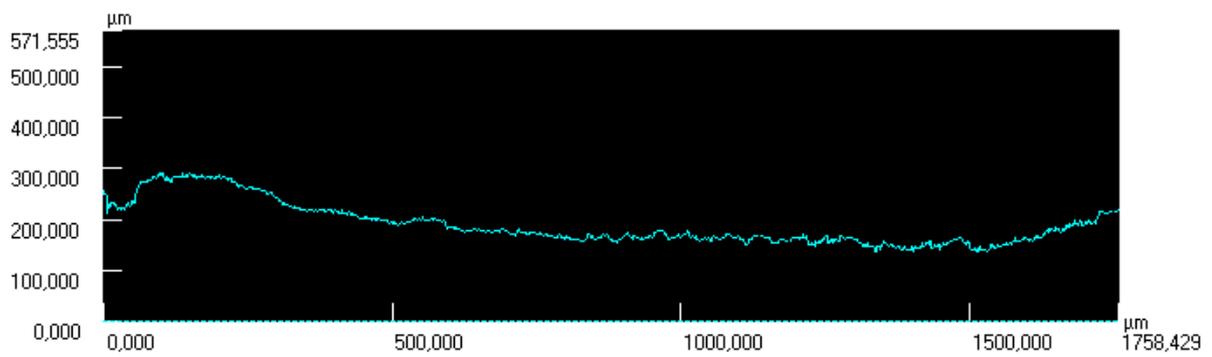
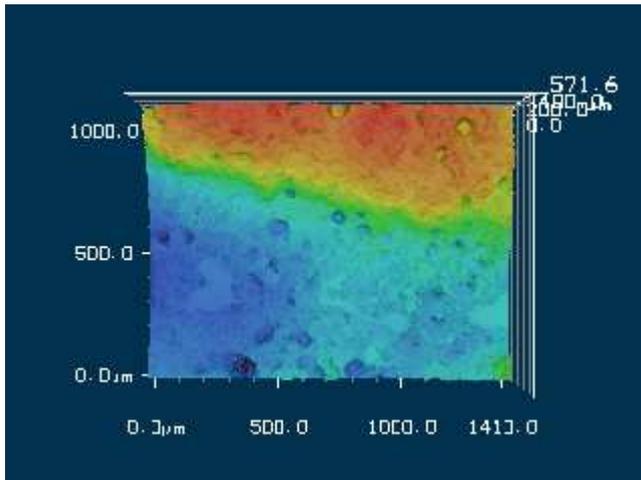


t = 0 Minuten



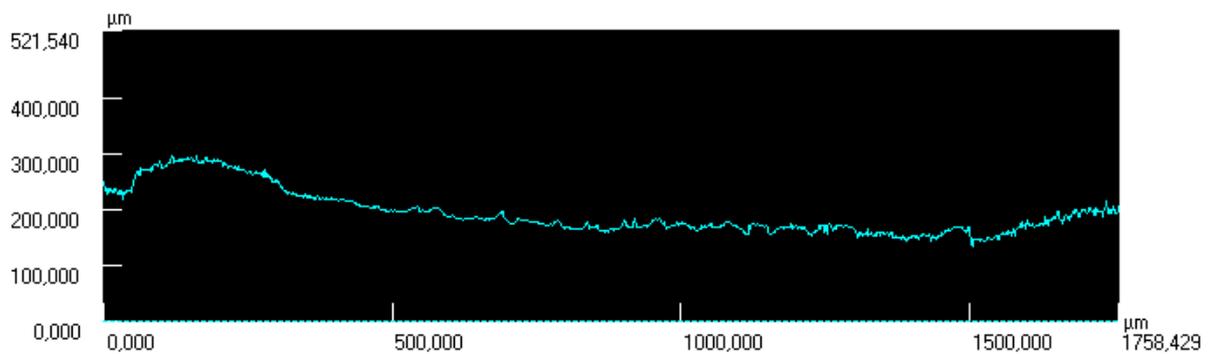
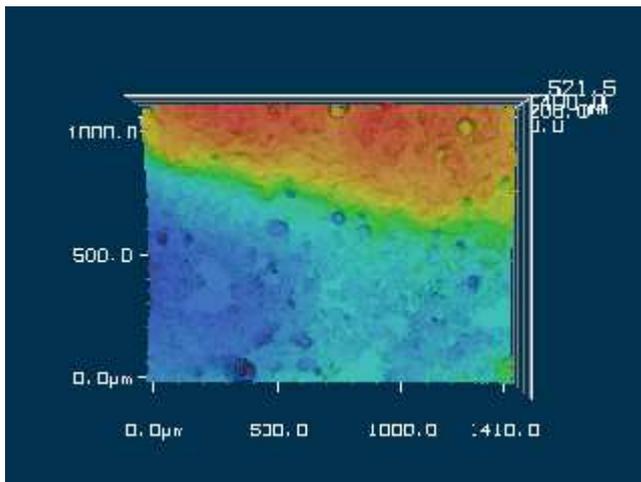
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429µm	51,136µm	160,700µm	1,666°	3541,955µm	282801,520...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



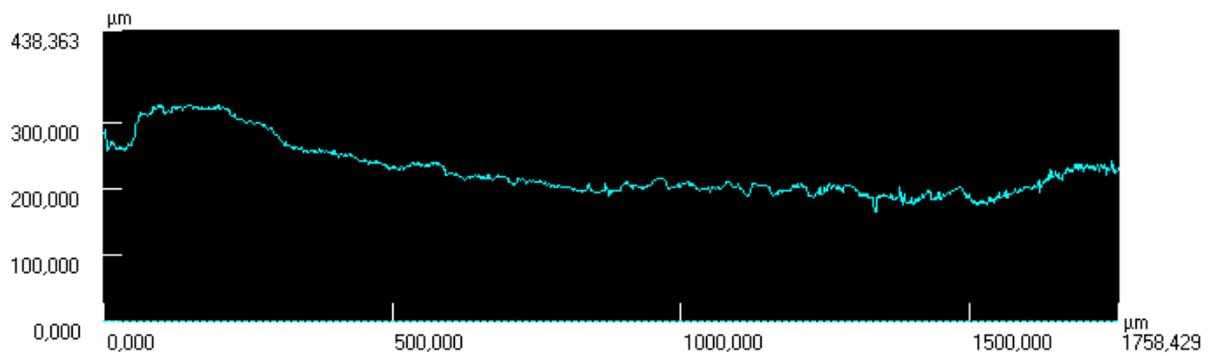
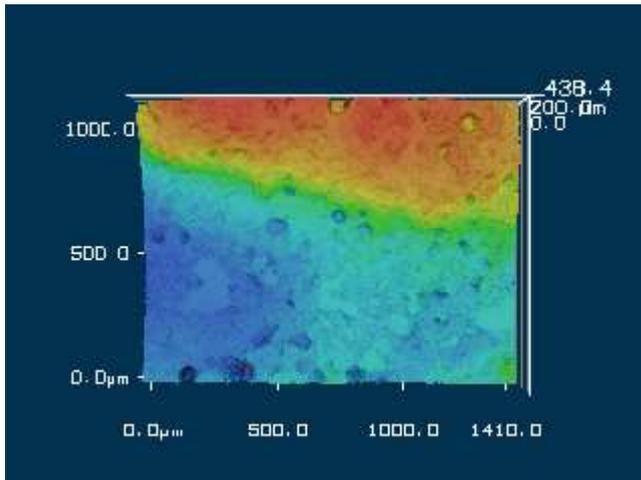
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	37,710μm	189,807μm	1,229°	3486,469μm	334023,846...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



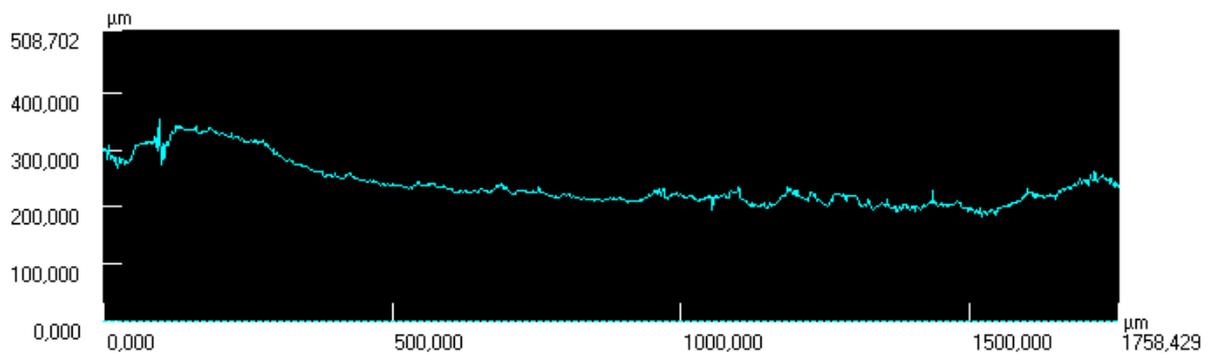
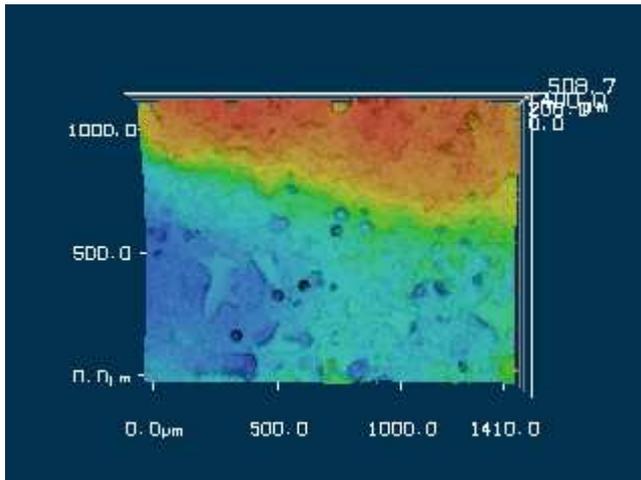
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	44,553μm	194,338μm	1,451°	3723,911μm	341997,273...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



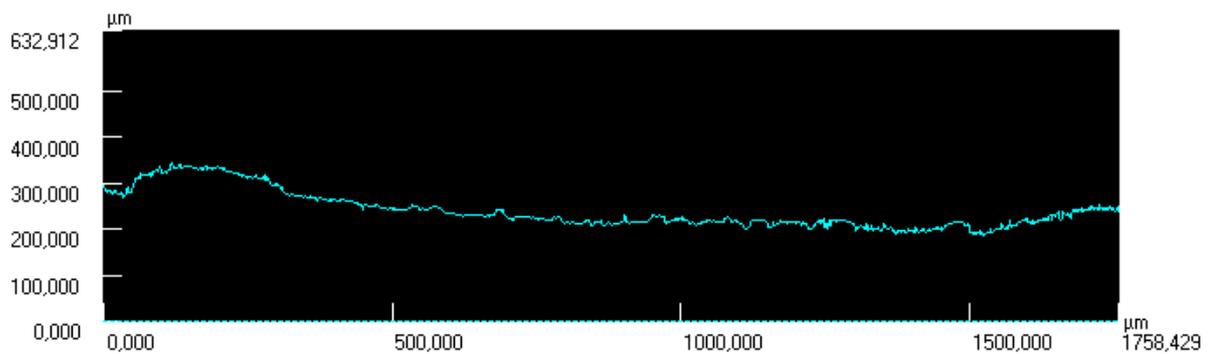
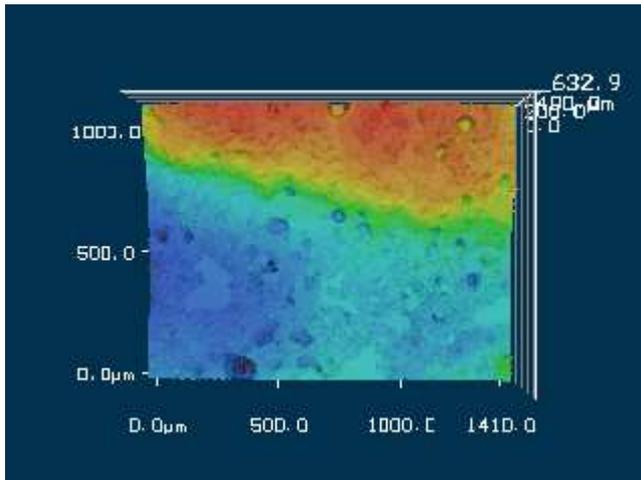
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429µm	54,252µm	227,331µm	1,767°	3525,648µm	400058,667...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



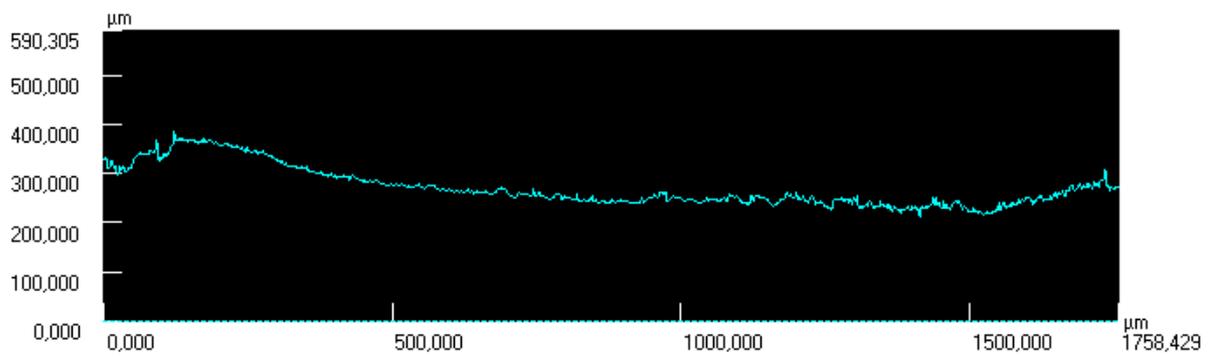
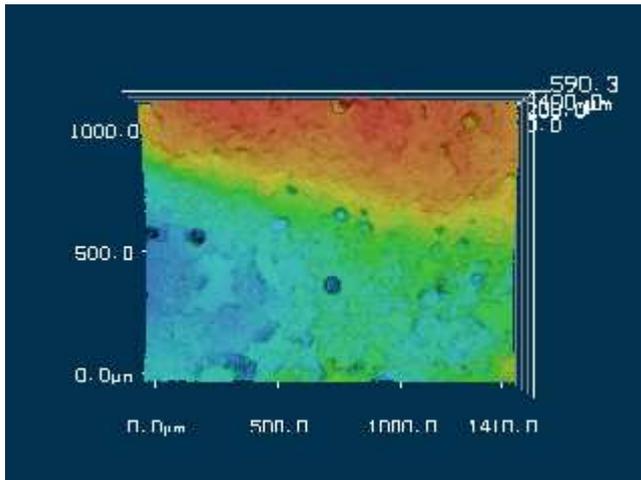
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429µm	68,190µm	239,084µm	2,221°	3811,504µm	420741,523...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429µm	58,688µm	240,814µm	1,912°	3798,070µm	423785,313...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

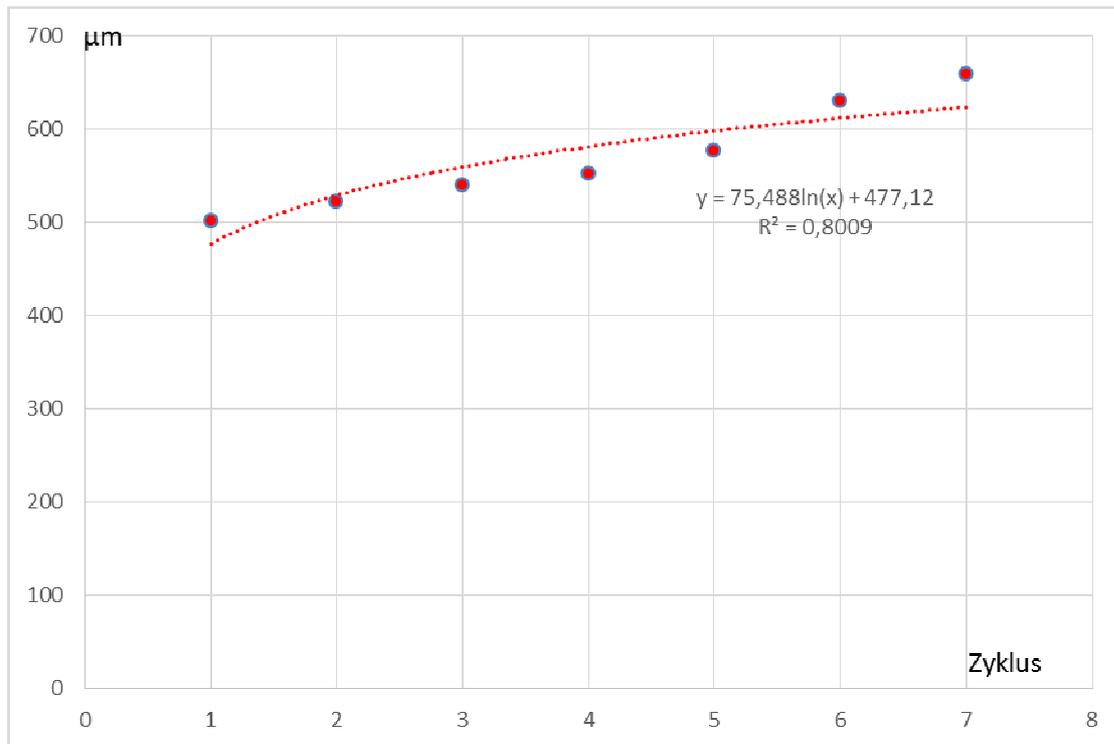
t = 60 Minuten



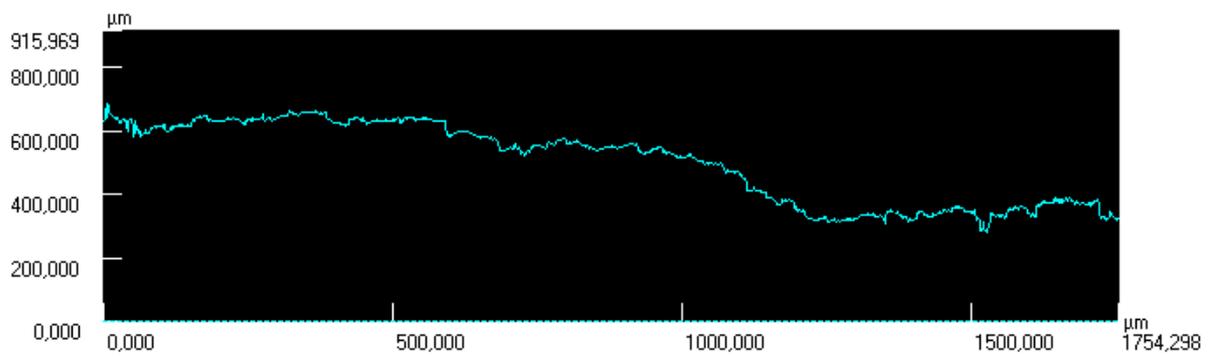
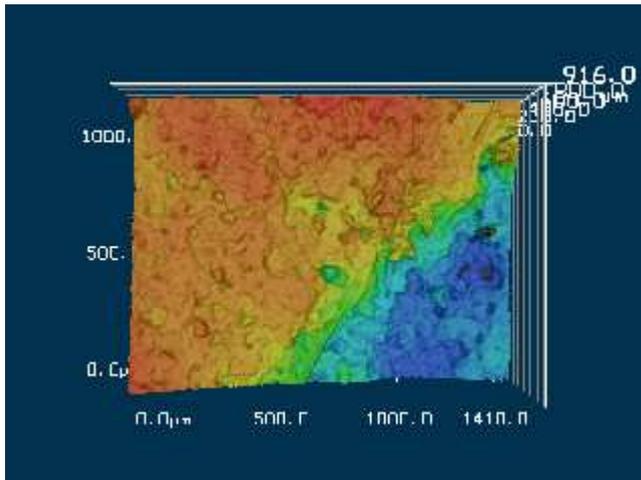
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	57,168μm	271,169μm	1,862°	3917,258μm	477205,102...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 2

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50		
		501,297	522,307	539,557	552,405	577,207	631,108	659,494	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)								158,197	

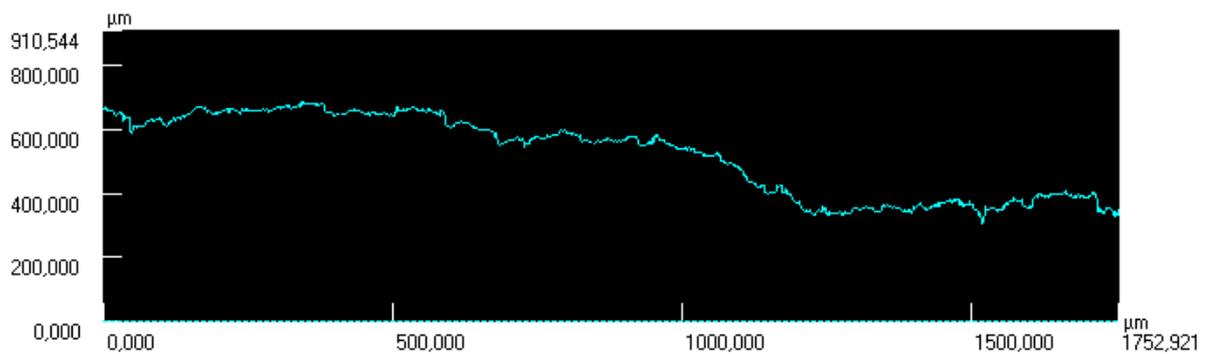
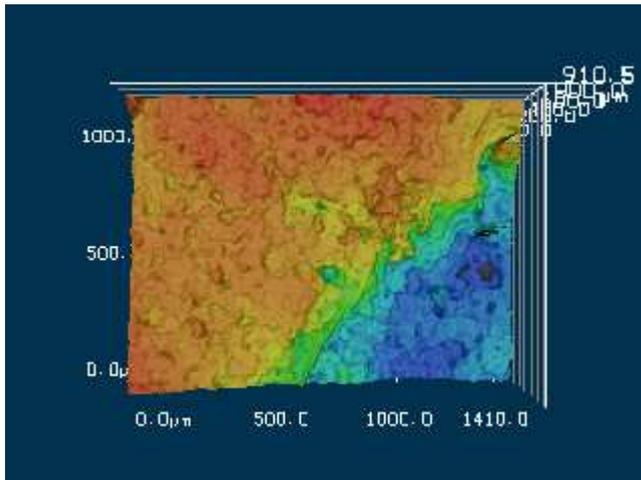


t = 0 Minuten



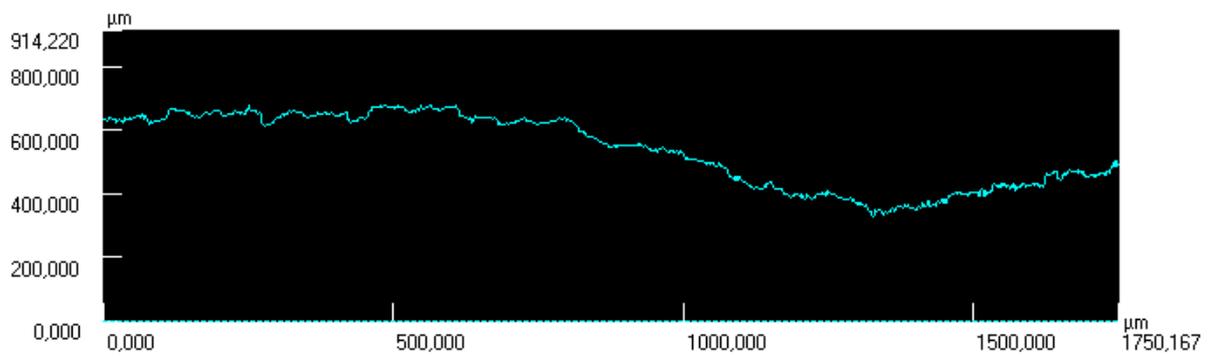
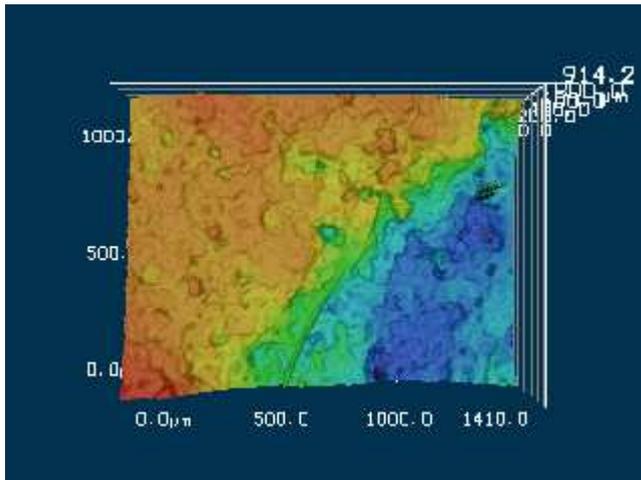
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1754,298µm	303,962µm	501,297µm	9,830°	5199,781µm	880113,787...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



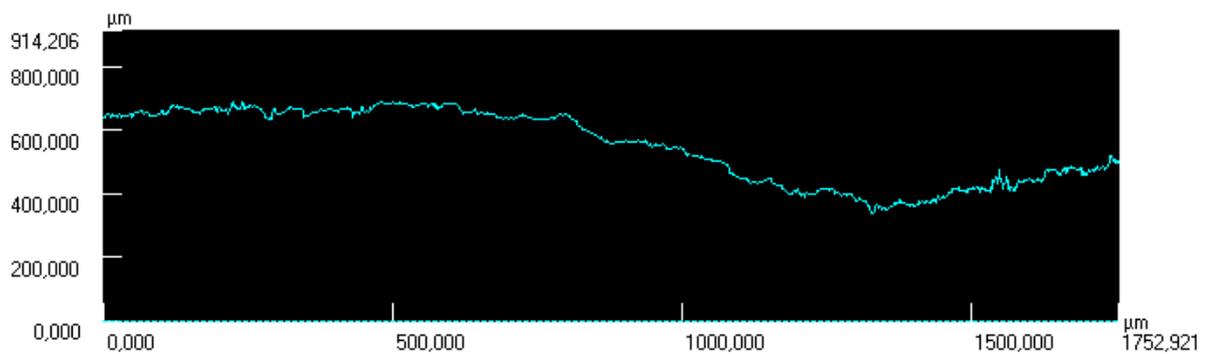
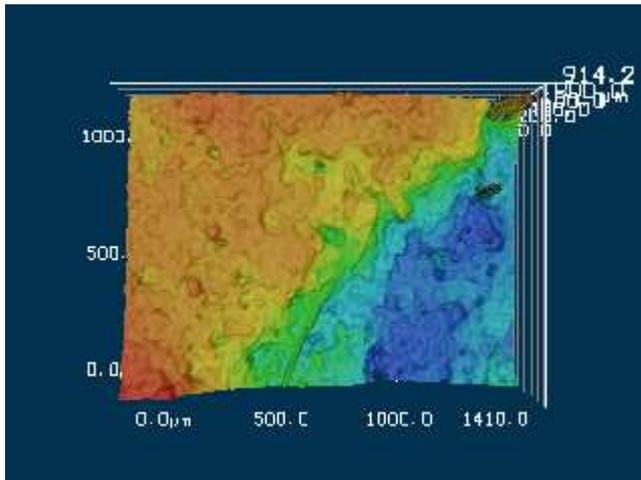
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1752,921μm	317,734μm	522,307μm	10,274°	4943,858μm	916282,609...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



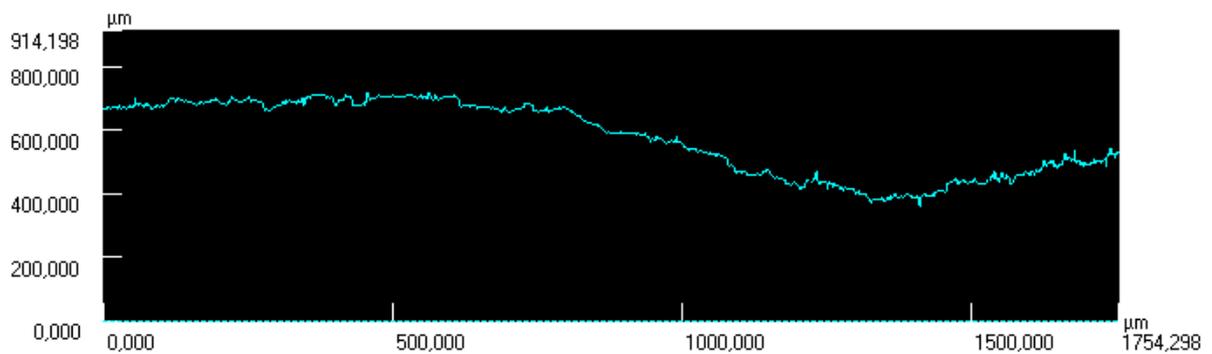
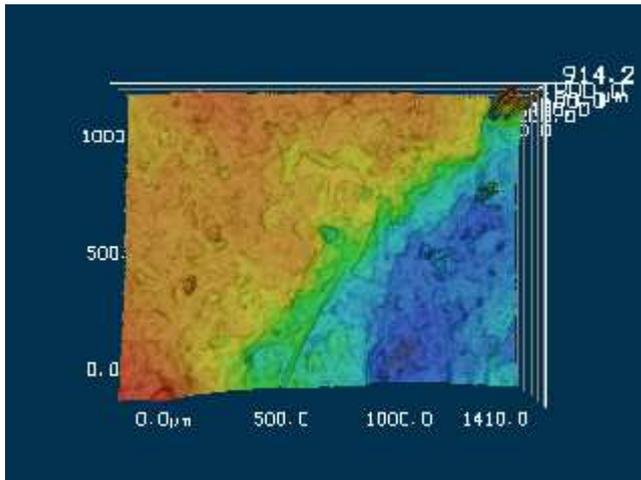
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1750,167μm	139,860μm	539,557μm	4,569°	4668,816μm	945058,418...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



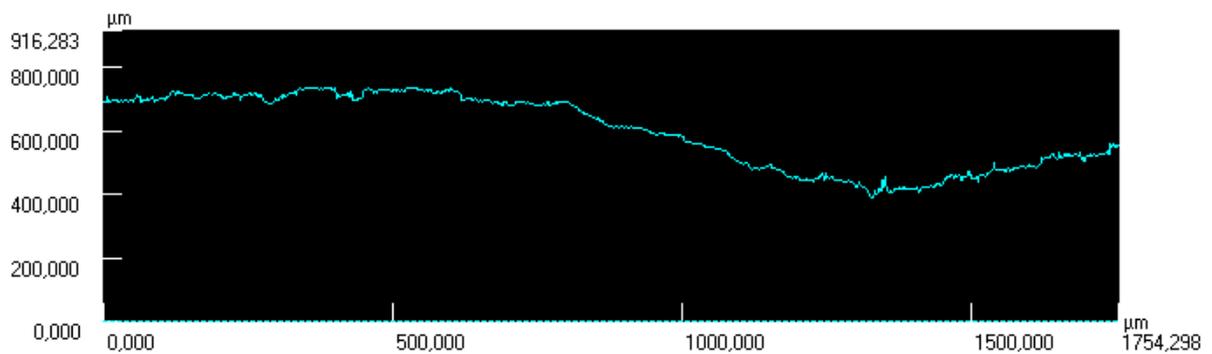
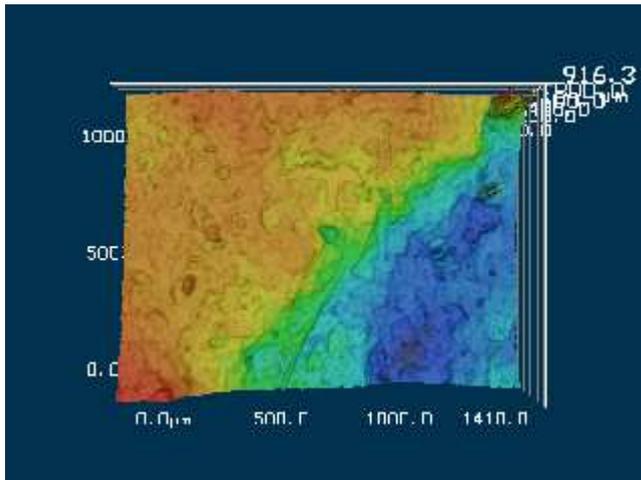
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1752,921μm	136,901μm	552,405μm	4,466°	4779,340μm	969083,424...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



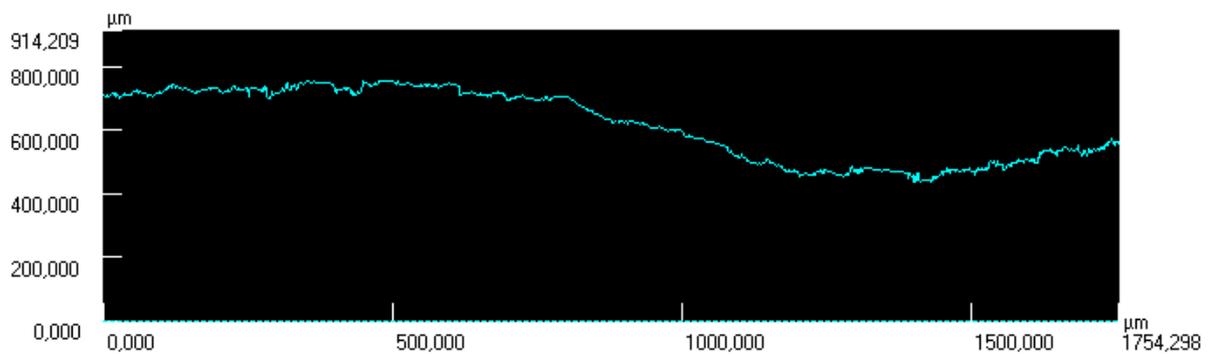
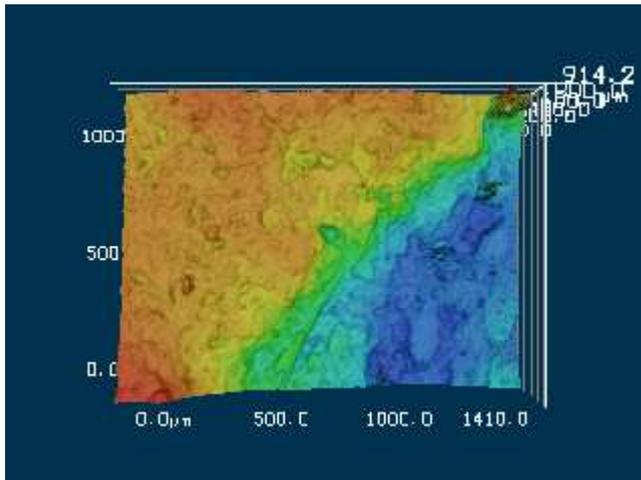
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1754,298μm	134,145μm	577,207μm	4,373°	4982,250μm	1013387,04...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1754,298μm	138,087μm	599,278μm	4,501°	4622,613μm	1052136,71...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

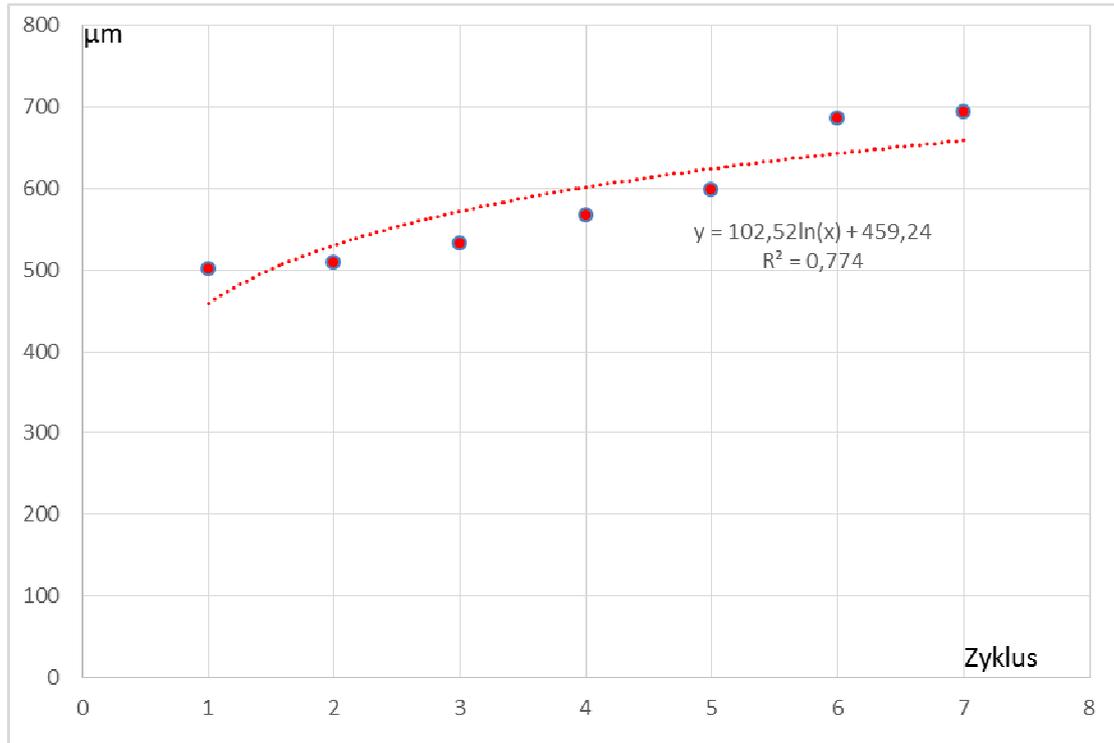
t = 60 Minuten



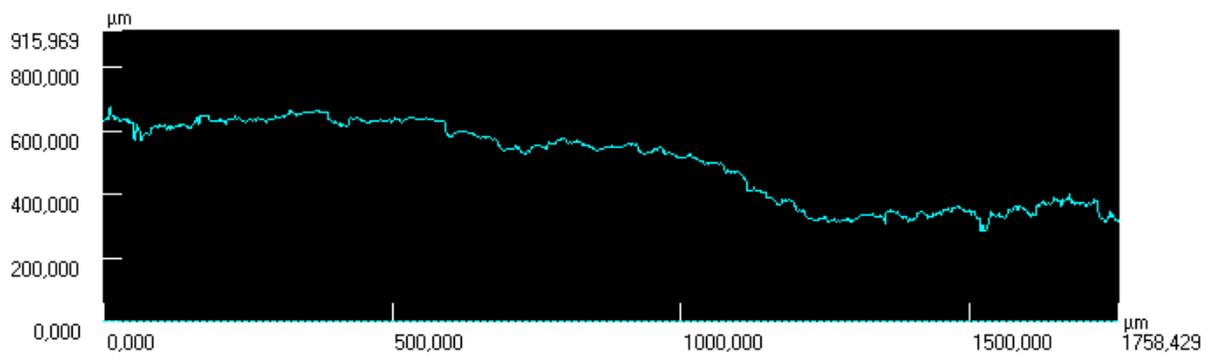
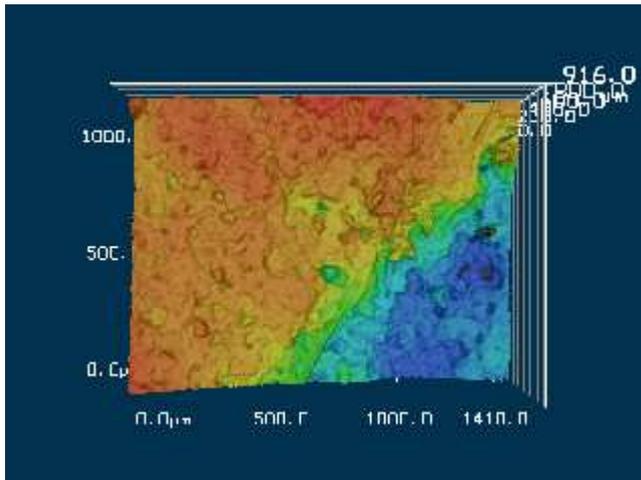
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1754,298μm	151,094μm	618,801μm	4,923°	4593,118μm	1086413,02...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 3

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		501,053	508,354	533,158	567,253	598,782	685,517	694,522	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							193,469		

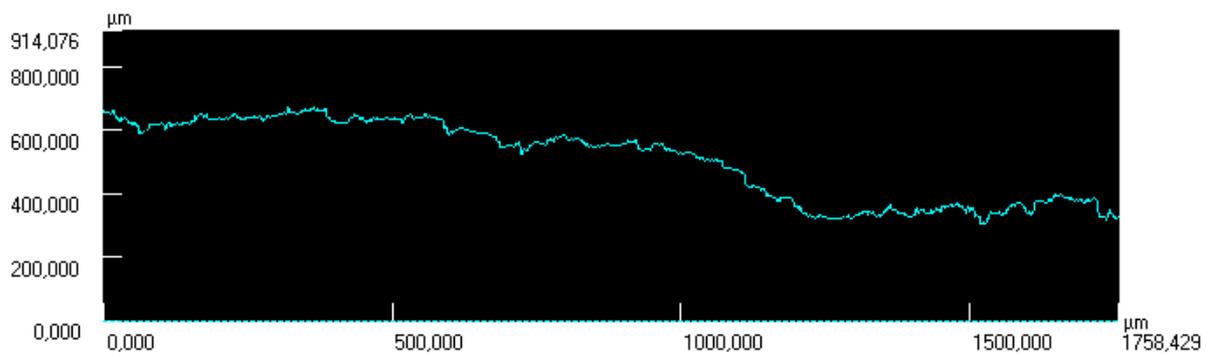
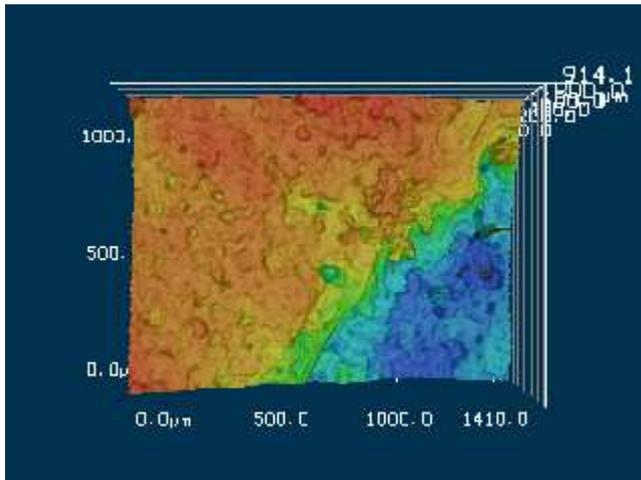


t = 0 Minuten



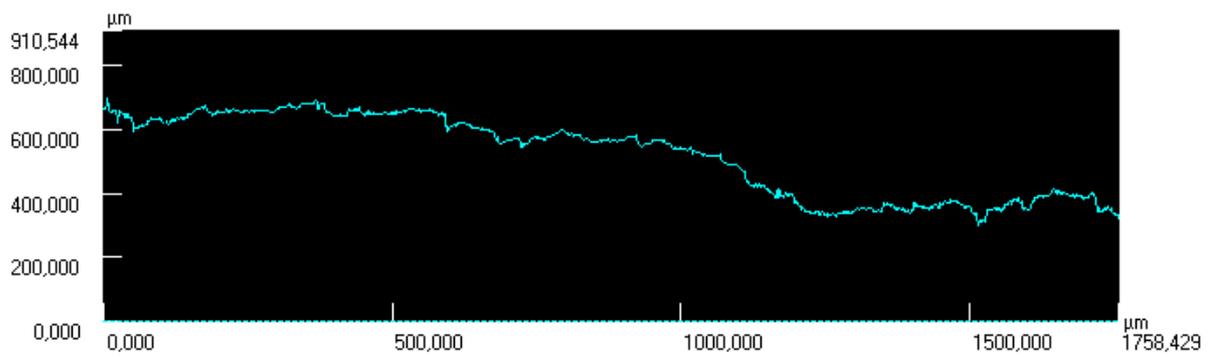
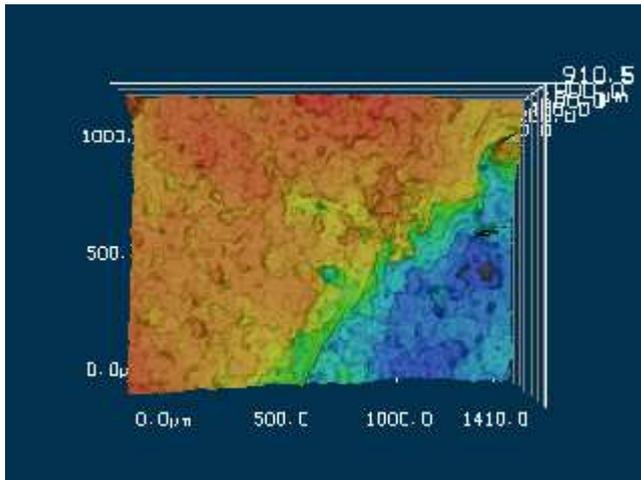
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	315,851μm	501,053μm	10,183°	5125,485μm	881756,145...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



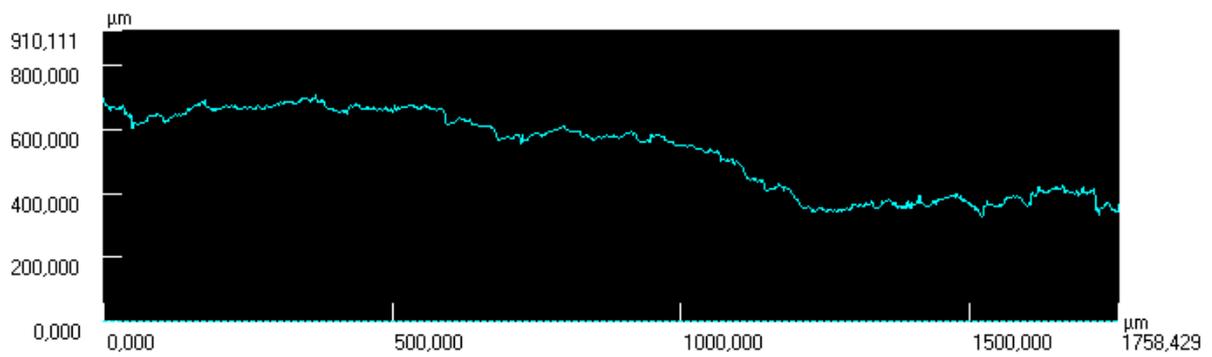
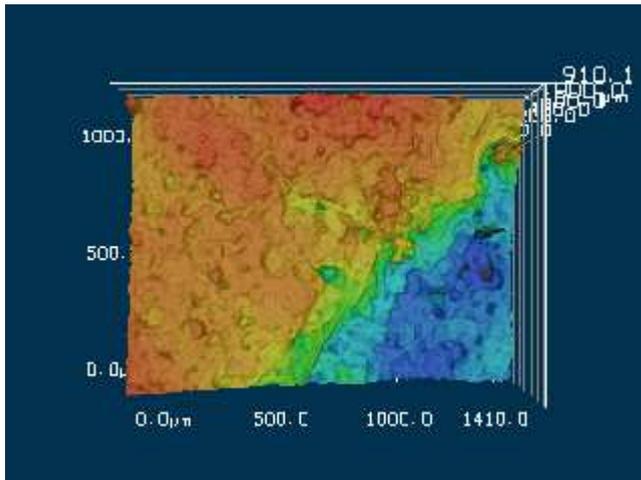
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	333,215μm	508,354μm	10,730°	4770,472μm	894605,148...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



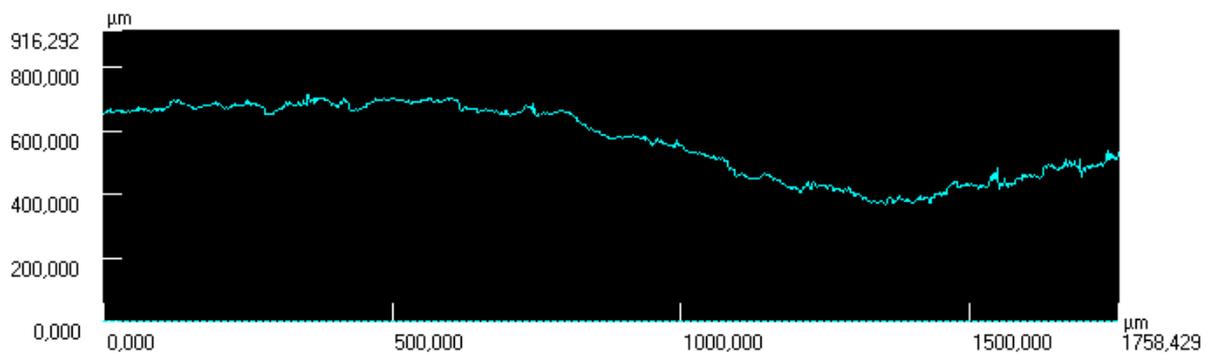
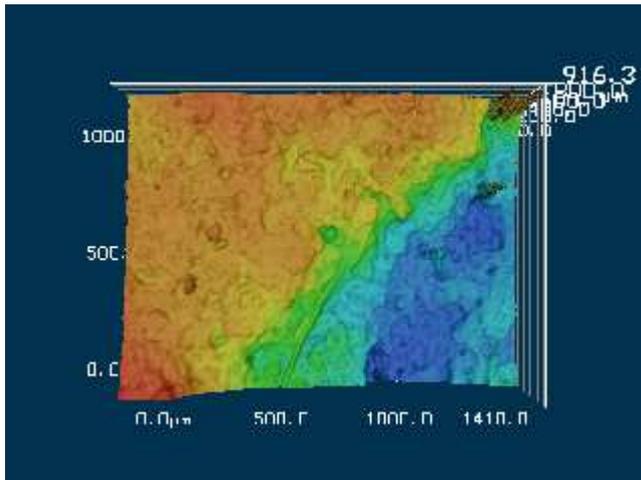
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	344,766μm	521,380μm	11,093°	5167,017μm	917528,423...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



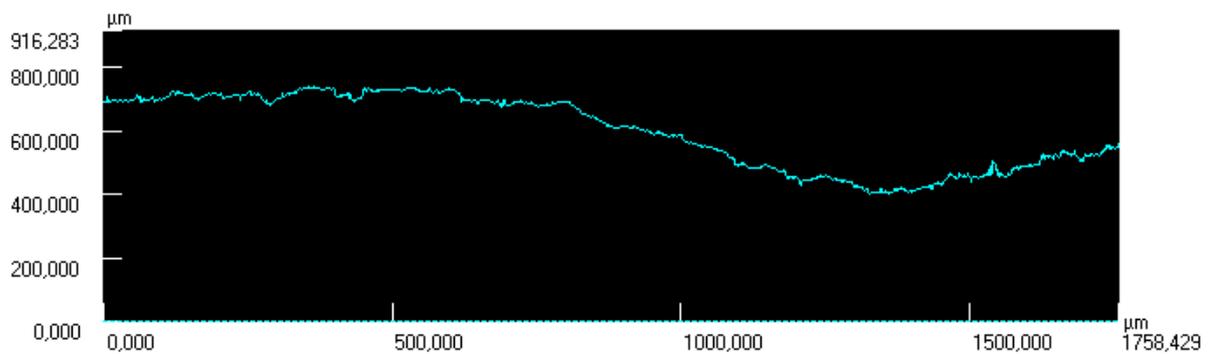
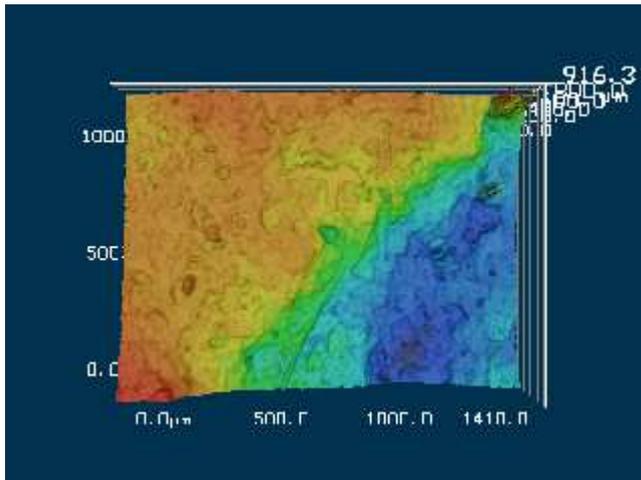
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	334,415μm	533,158μm	10,768°	4994,935μm	938254,135...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



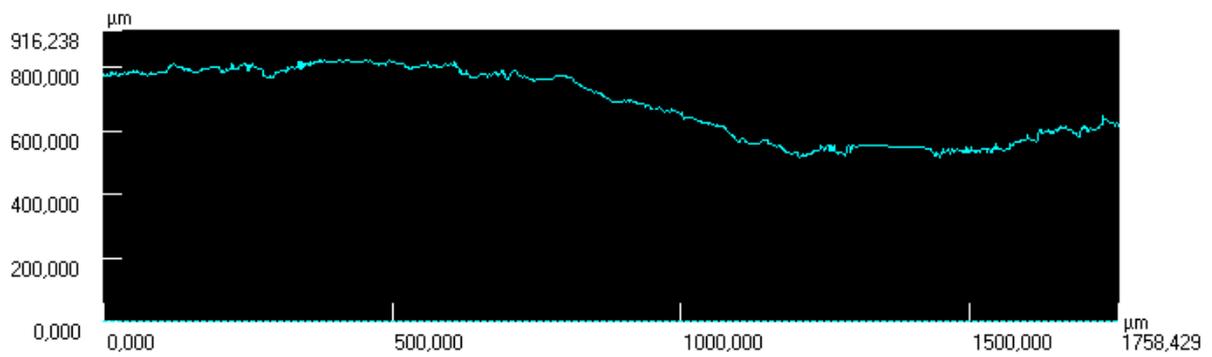
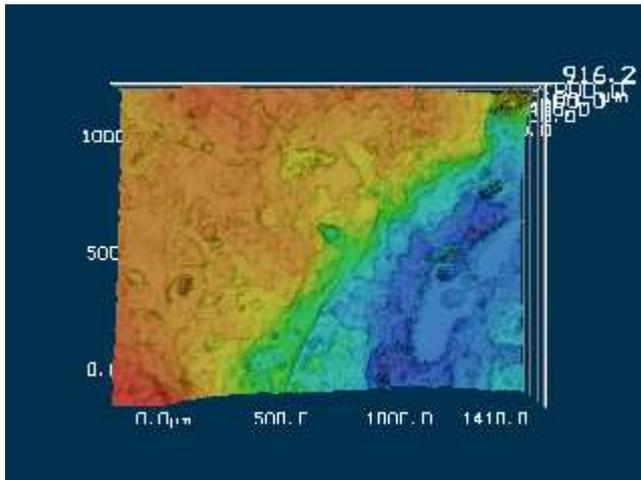
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	120,168μm	567,253μm	3,909°	5078,684μm	998254,808...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	128,906μm	598,782μm	4,193°	4551,597μm	1053739,28...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

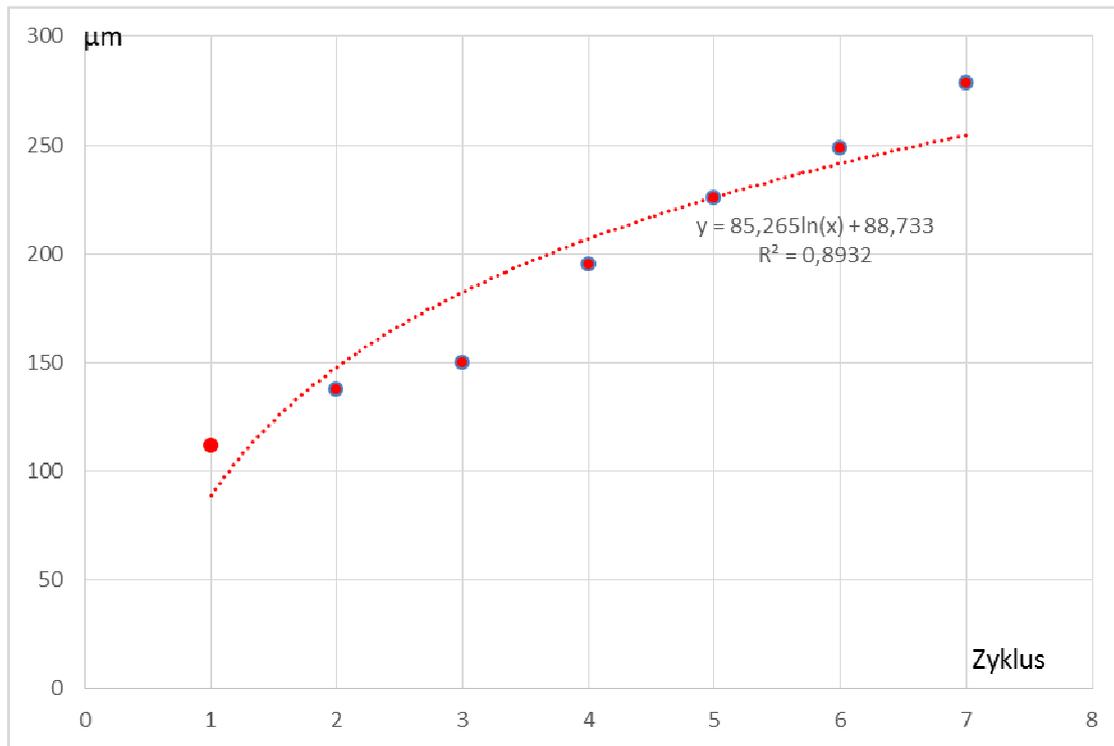
t = 60 Minuten



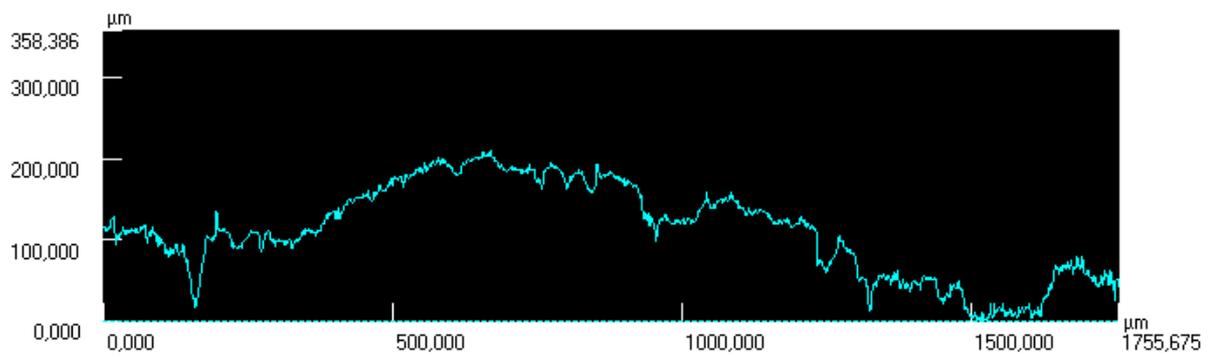
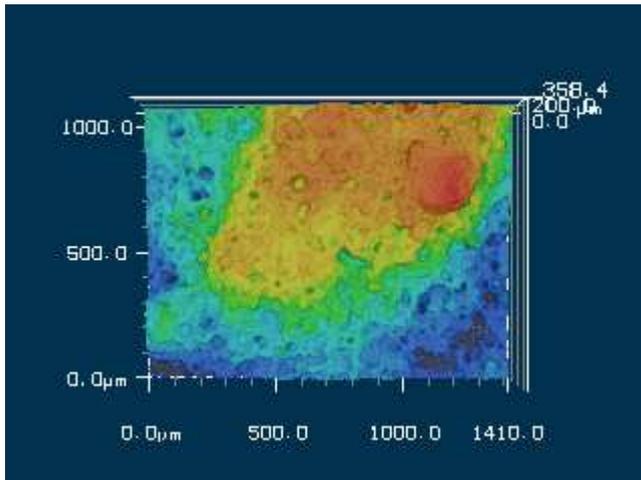
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1758,429μm	164,218μm	685,517μm	5,335°	4405,005μm	1206376,31...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 4

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		112,084	137,819	150,131	195,38	225,521	248,419	278,668	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							166,584		

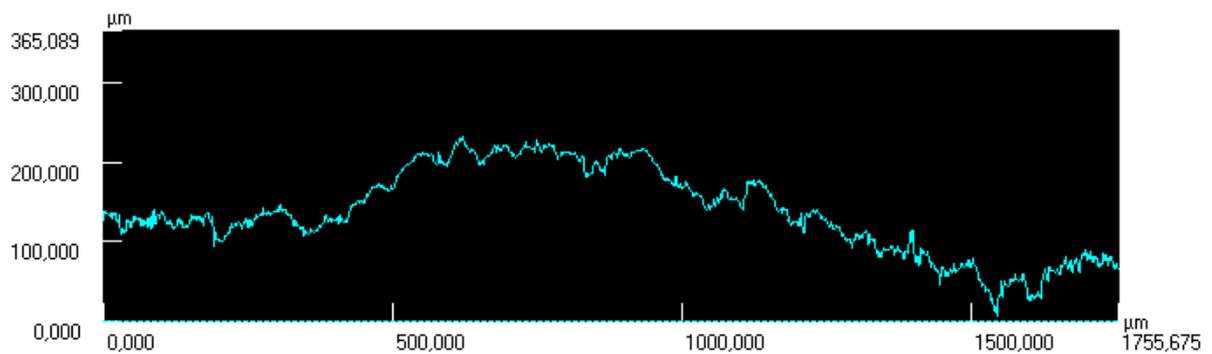
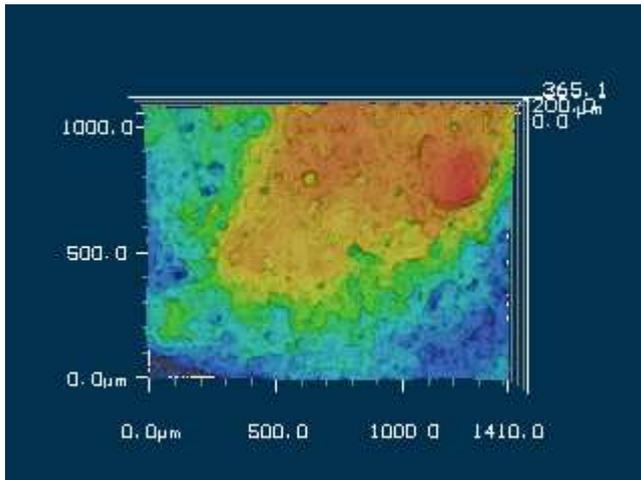


t = 0 Minuten



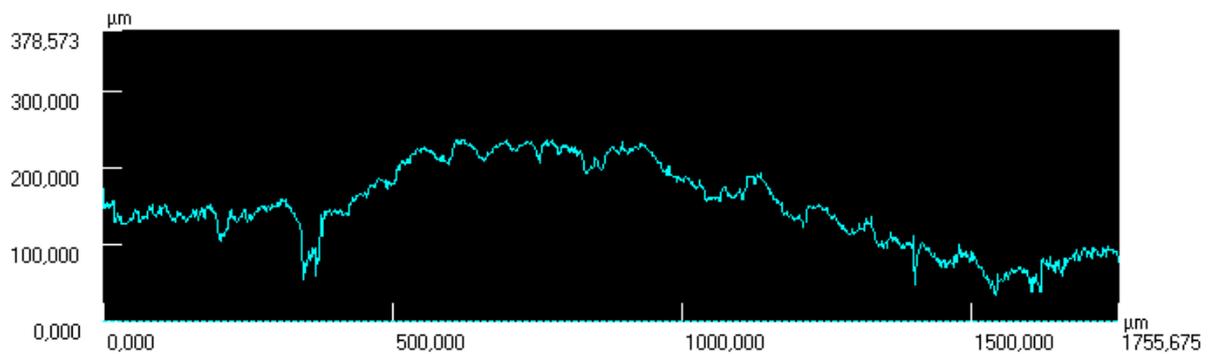
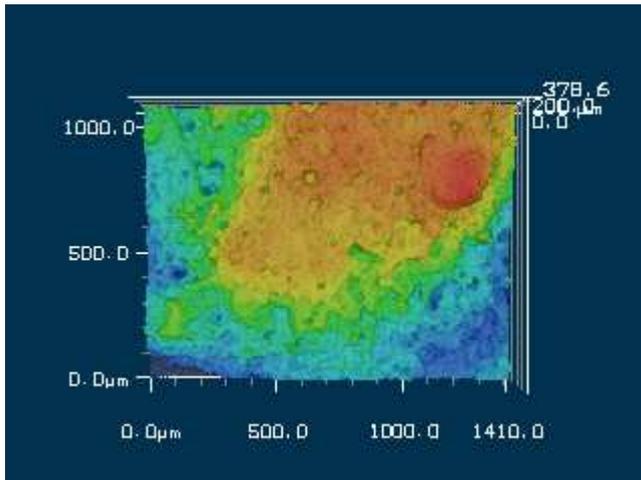
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	74,145µm	112,084µm	2,418°	4720,517µm	196937,918...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



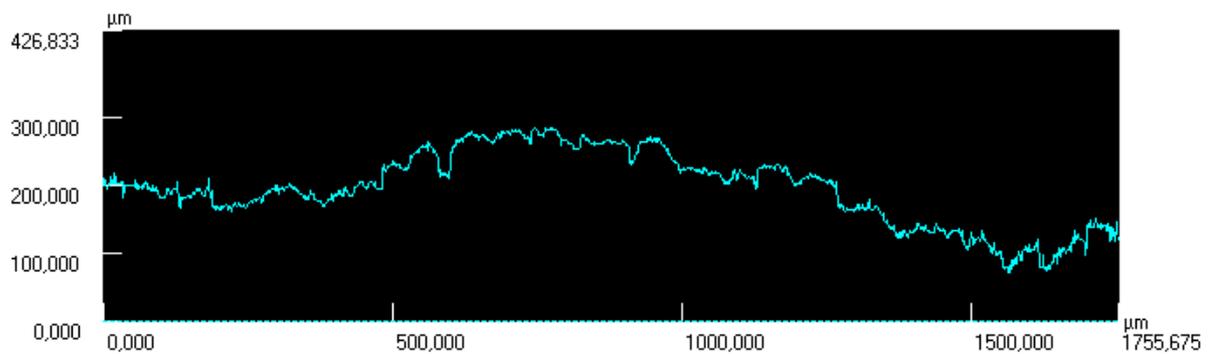
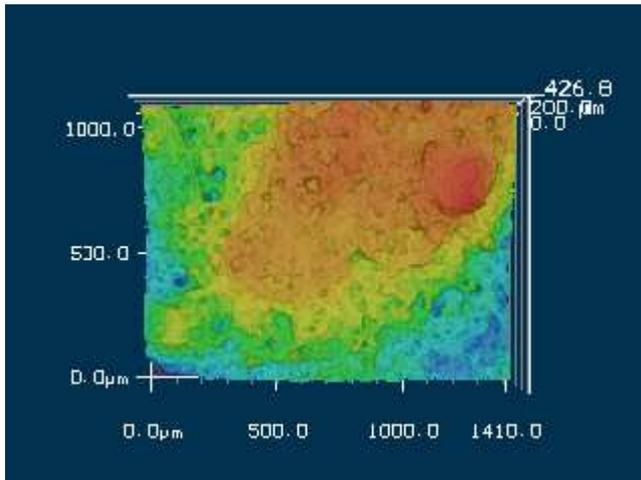
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	61,652µm	137,819µm	2,011°	4568,701µm	242155,802...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



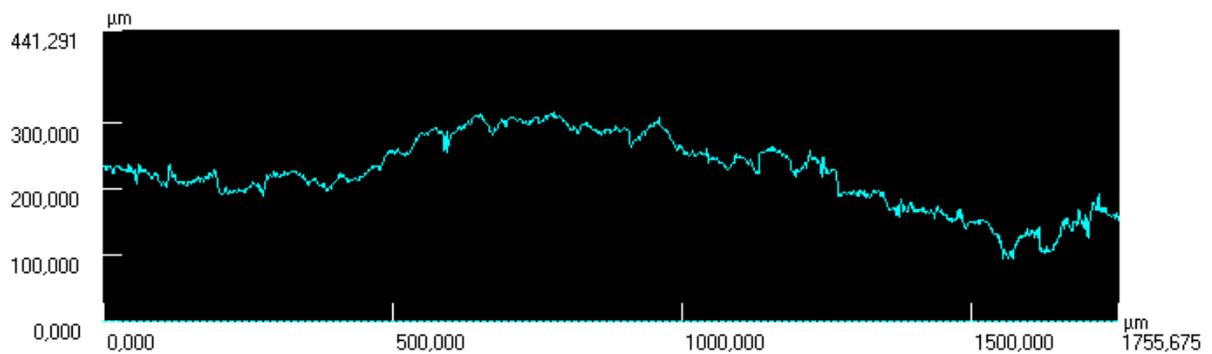
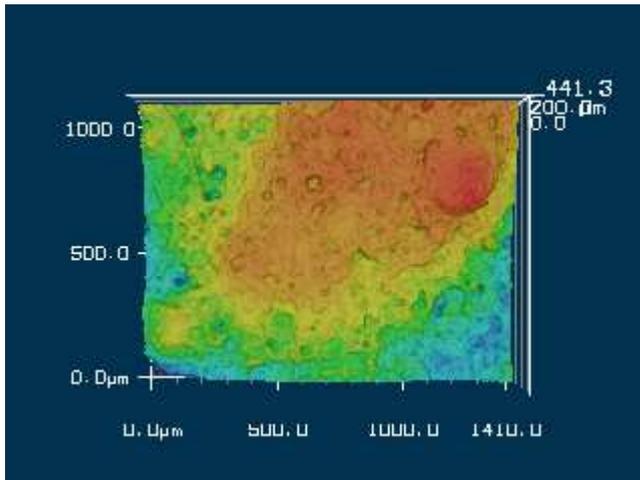
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	95,155µm	150,131µm	3,102°	4898,999µm	263787,920...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



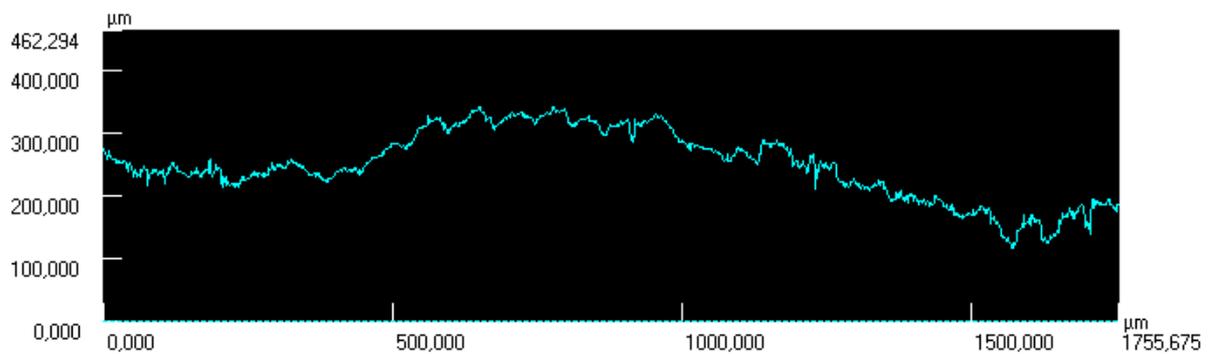
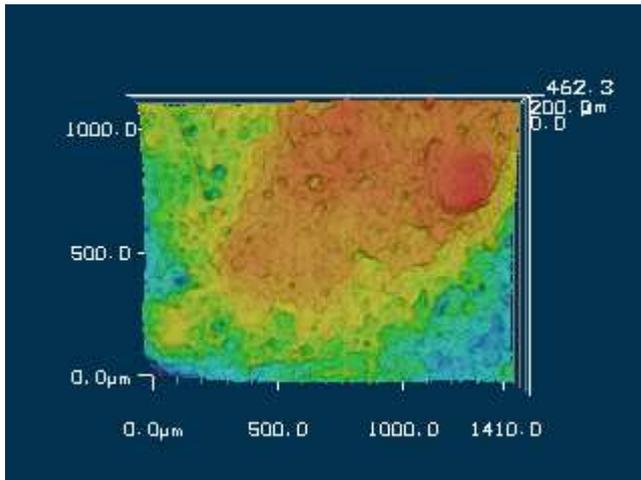
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	78,306µm	195,380µm	2,554°	4845,580µm	343292,327...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



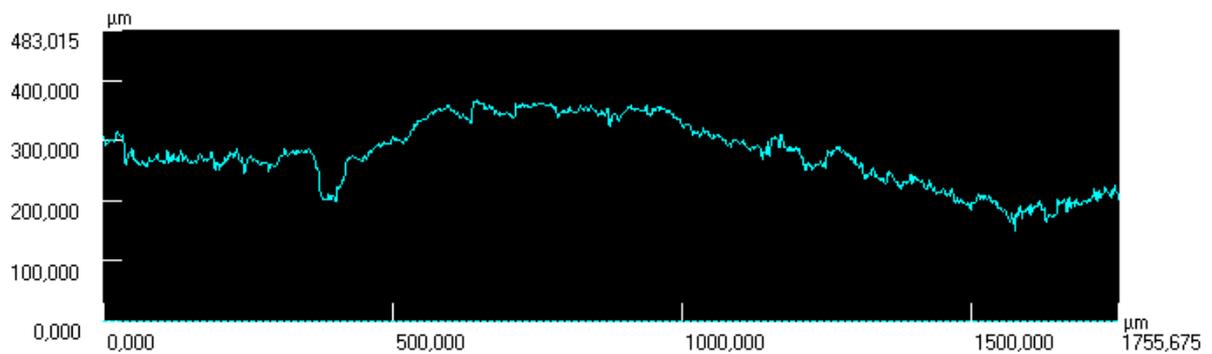
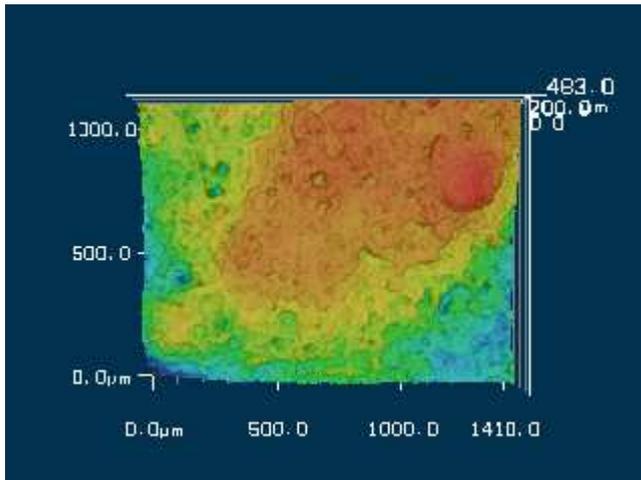
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	83,369µm	225,521µm	2,719°	4739,862µm	396251,669...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	88,471μm	248,419μm	2,885°	4772,833μm	436485,364 ...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

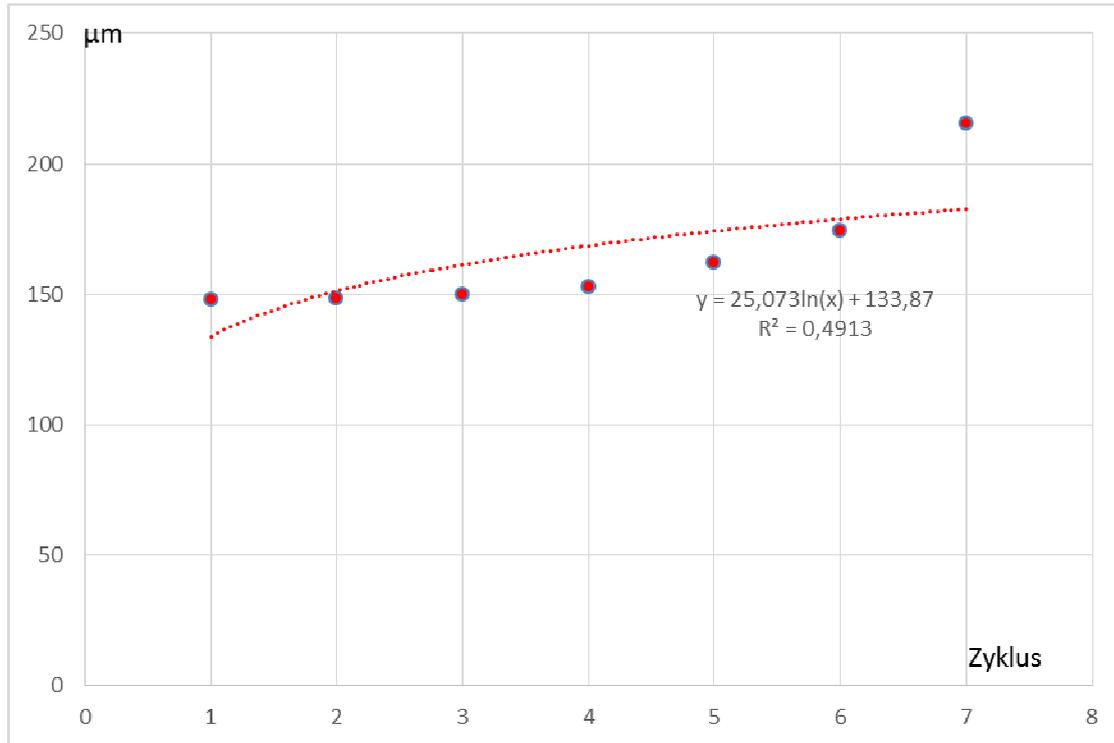
t = 60 Minuten



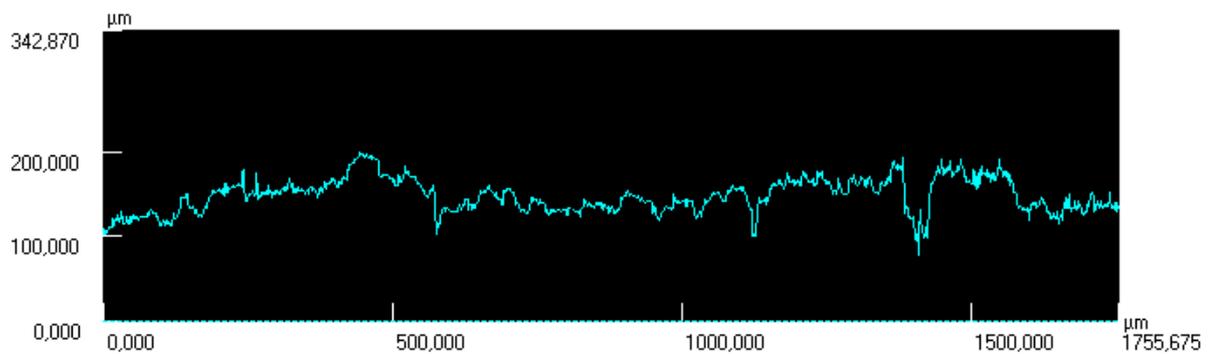
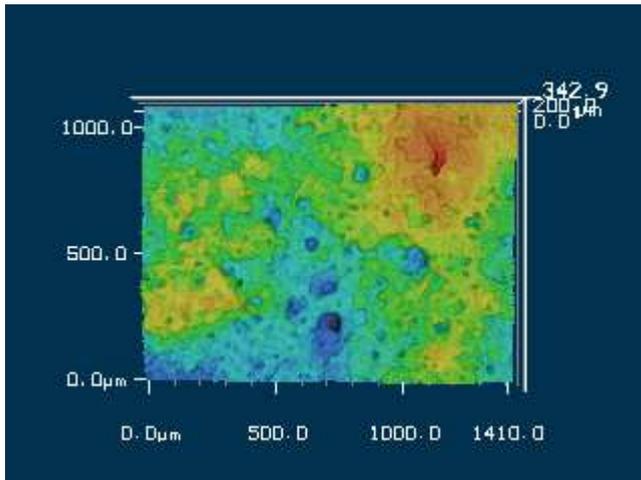
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	102,360μm	278,668μm	3,337°	4853,182μm	489633,689...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 5

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		147,847	148,275	149,802	152,626	162,303	174,541	215,462	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							67,615		

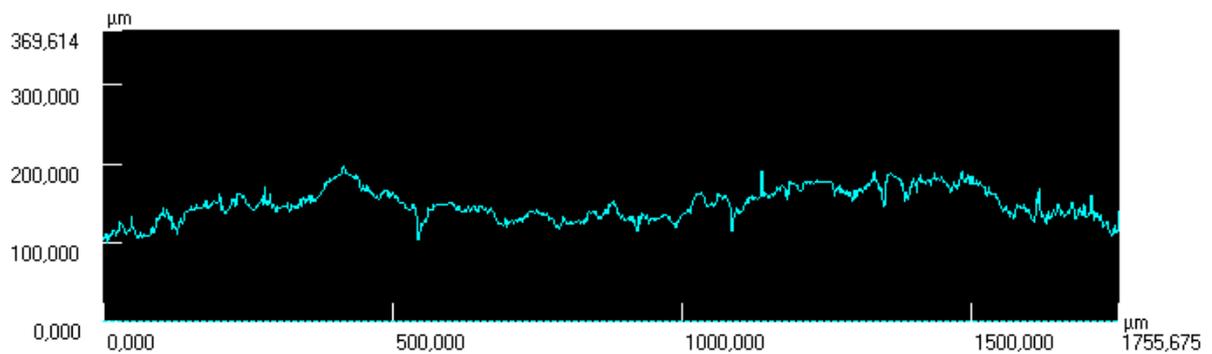
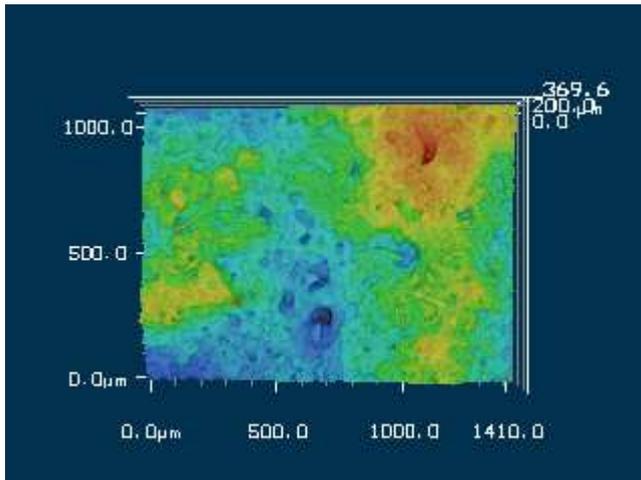


t = 0 Minuten



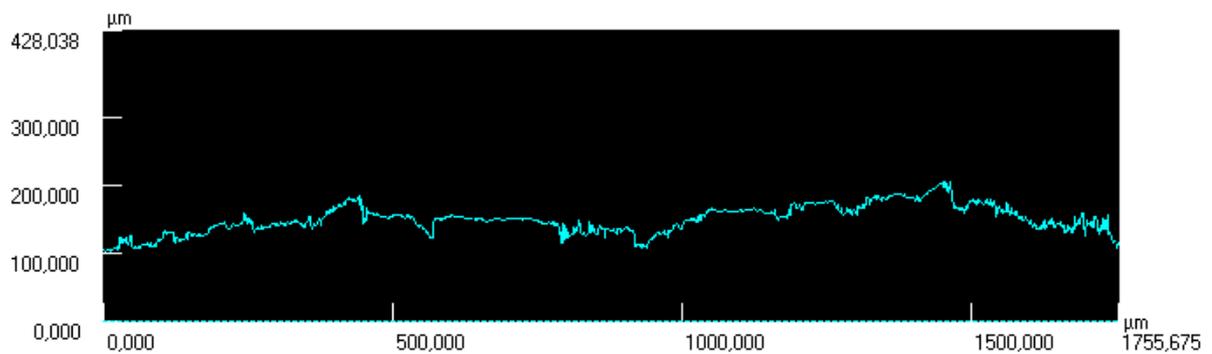
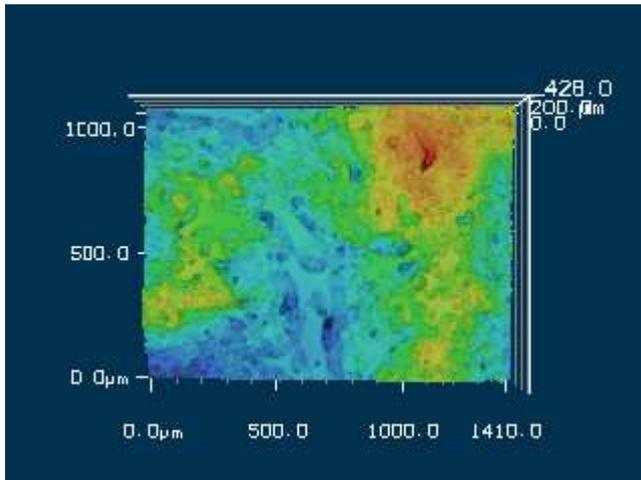
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	25,117µm	147,847µm	0,820°	4937,182µm	259774,896...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



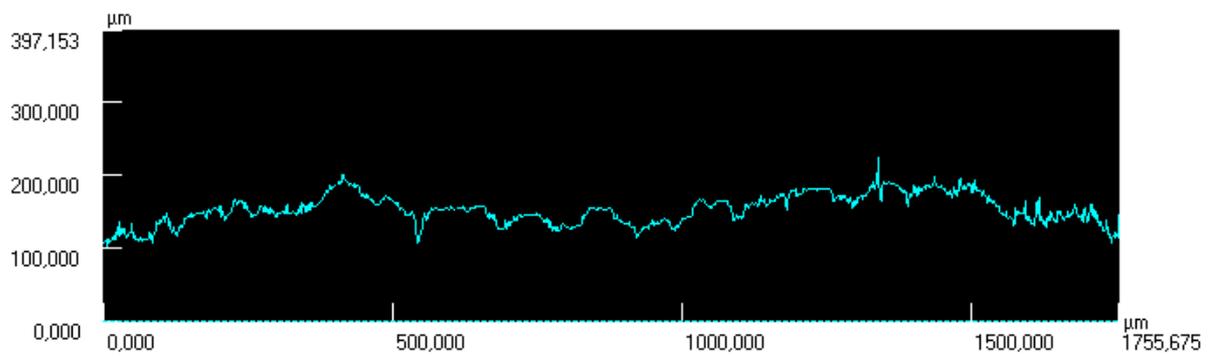
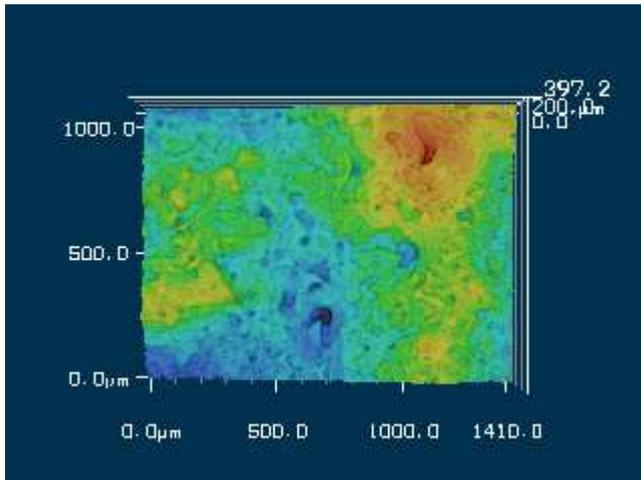
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	36,589µm	148,275µm	1,194°	4477,423µm	260526,242...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



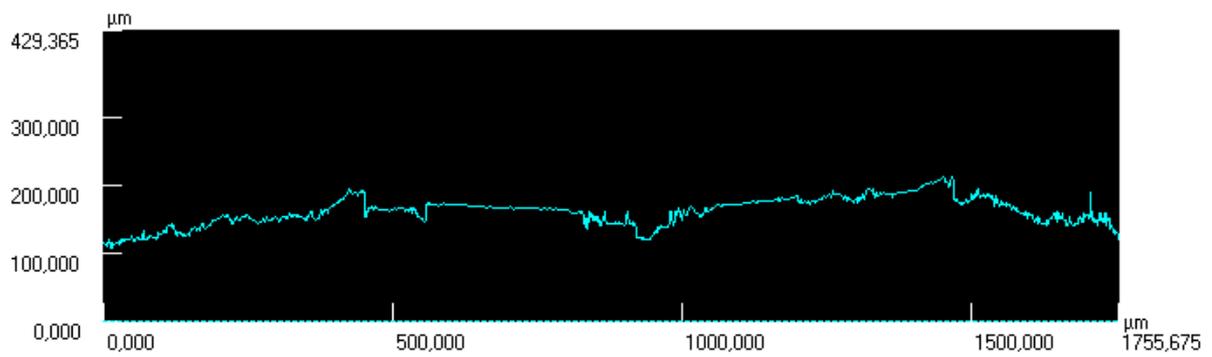
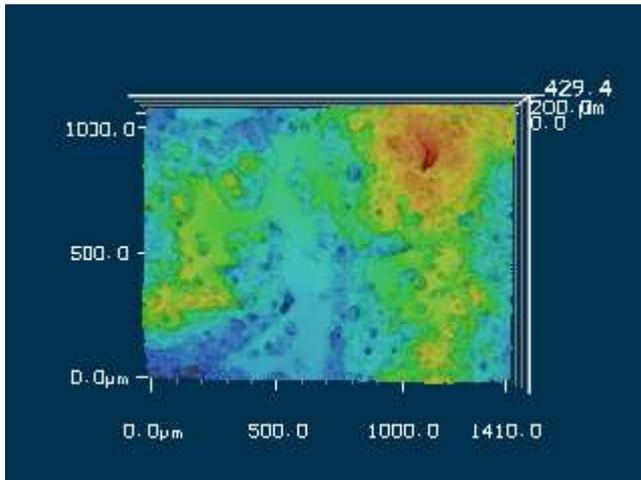
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	11,625µm	149,802µm	0,379°	4143,708µm	263209,501...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



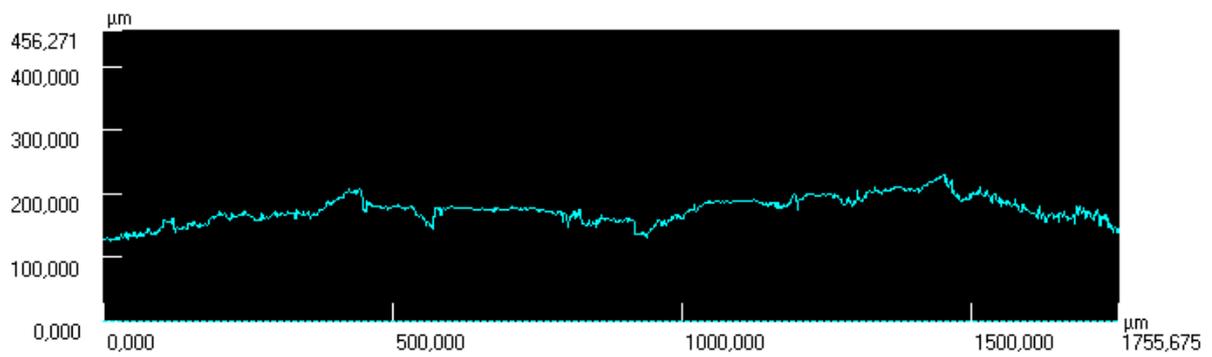
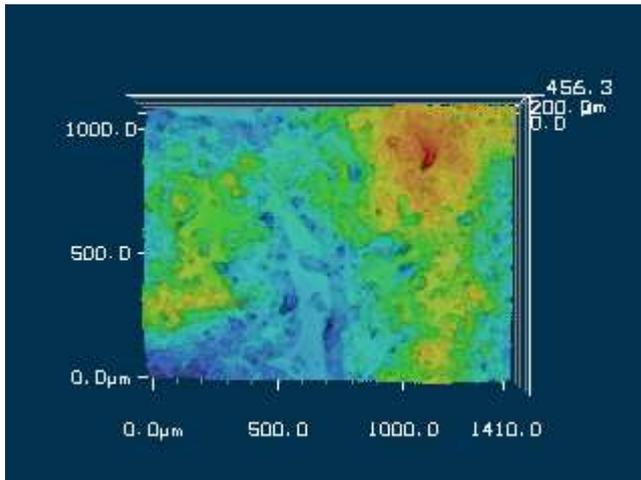
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	36,616µm	152,626µm	1,195°	4439,915µm	268171,968...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

T = 40 Minuten



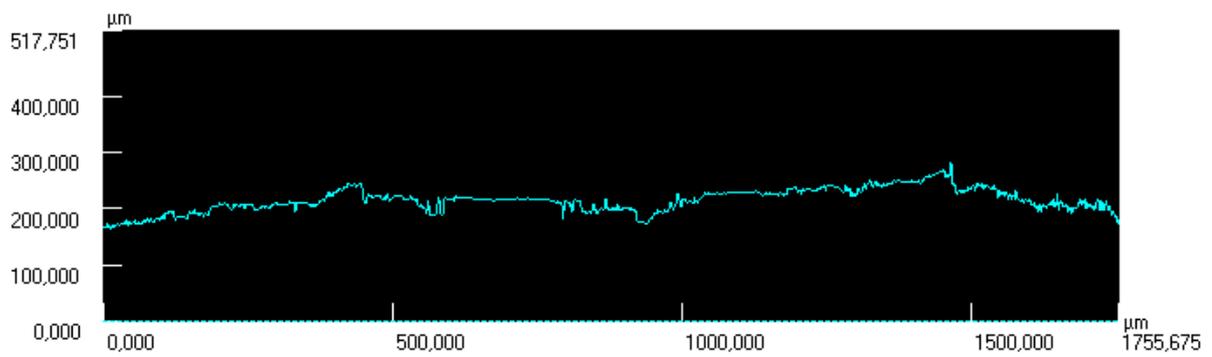
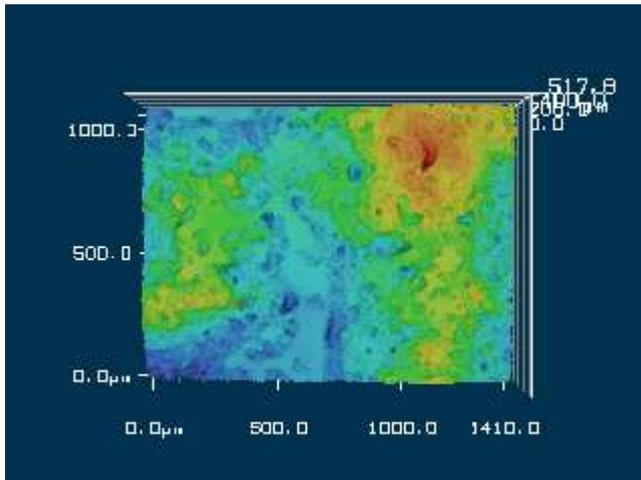
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	5,499µm	162,303µm	0,179°	3758,994µm	285174,309...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	15,409μm	174,541μm	0,503°	3884,998μm	306677,351...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

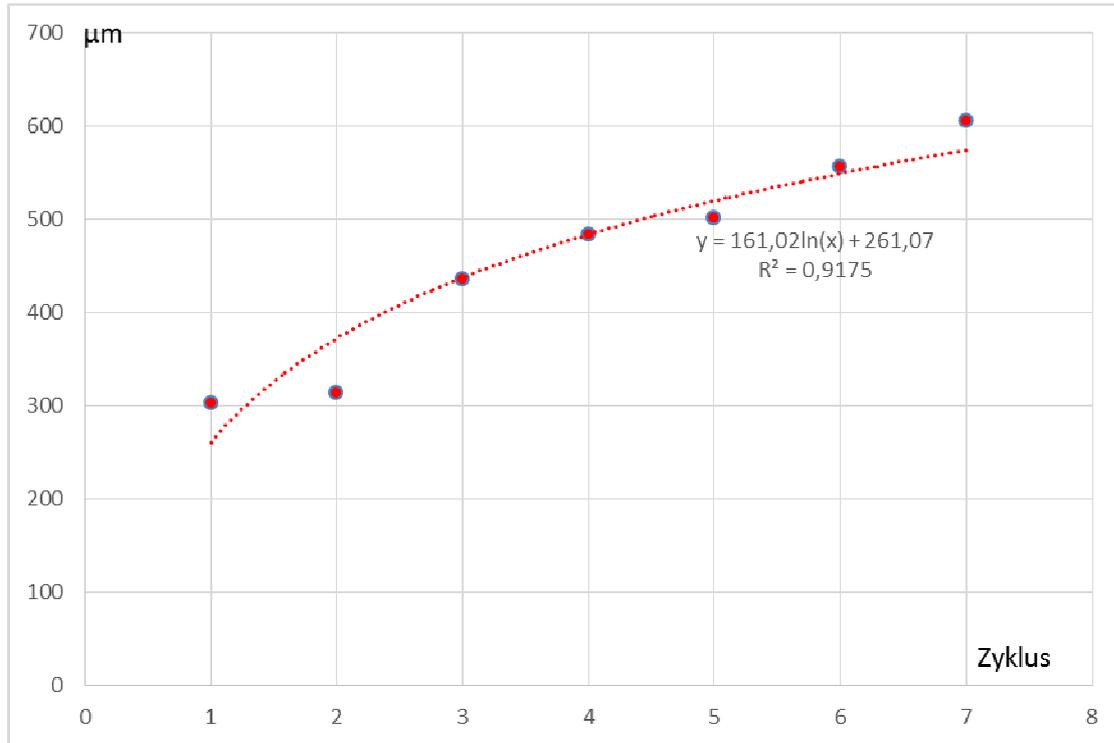
t = 60 Minuten



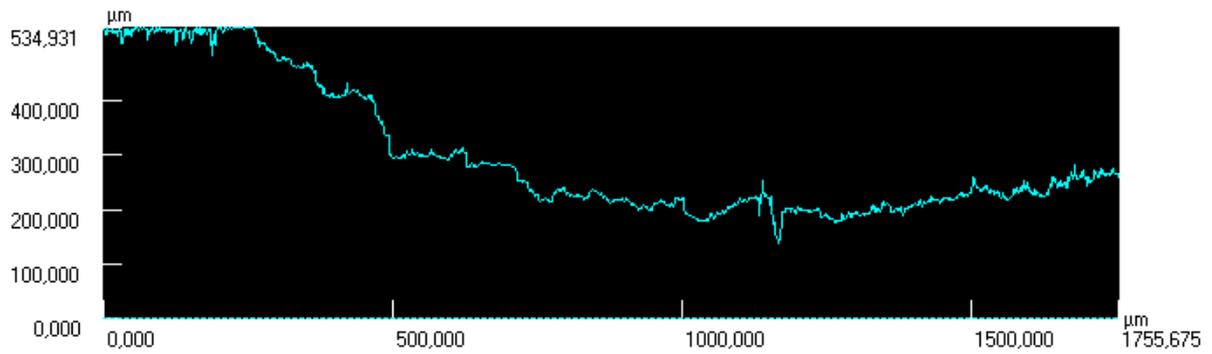
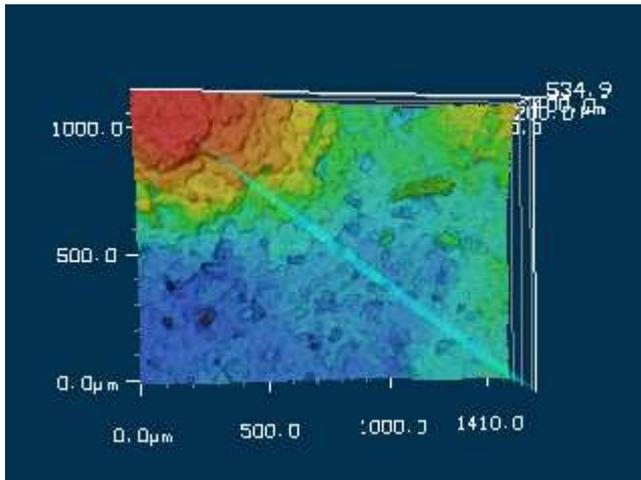
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	14,196µm	215,462µm	0,463°	4149,293µm	378578,577...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe O 6

	Probe	Zeit in Minuten							
		T 0	T 10	T 20	T 30	T 40	T 50	T 60	
		302,607	313,567	436,234	483,845	502,187	556,279	605,521	
Mittlere Höhe μm (Profilogramm)							302,914		

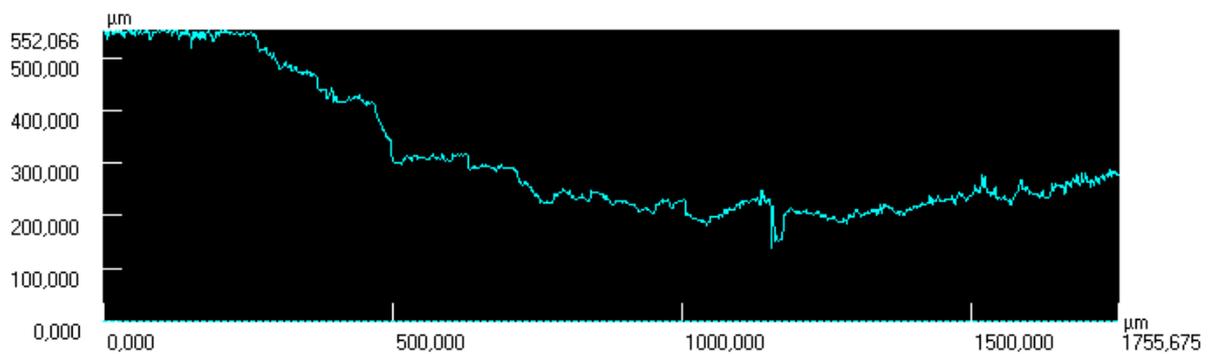
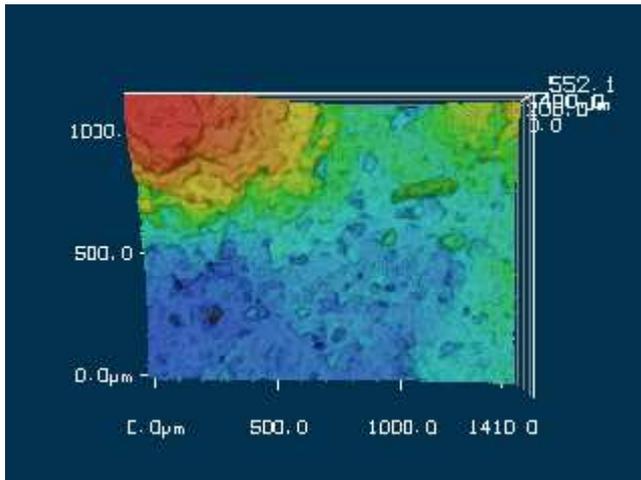


t = 0 Minuten



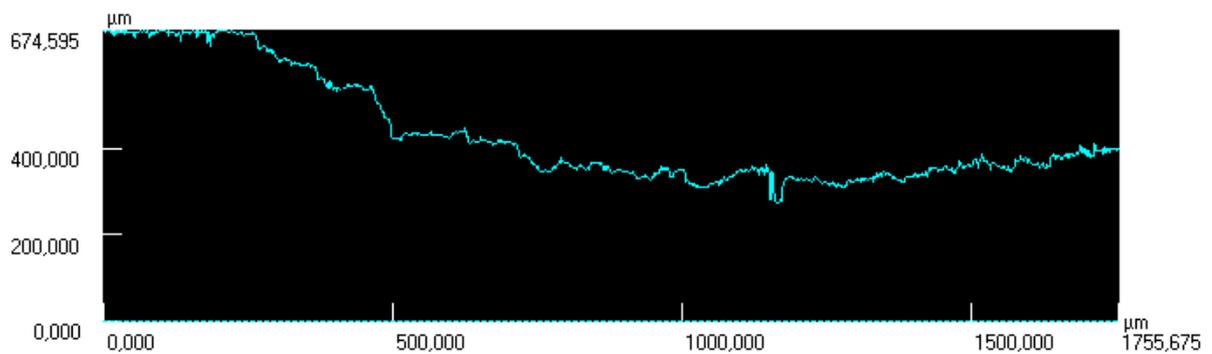
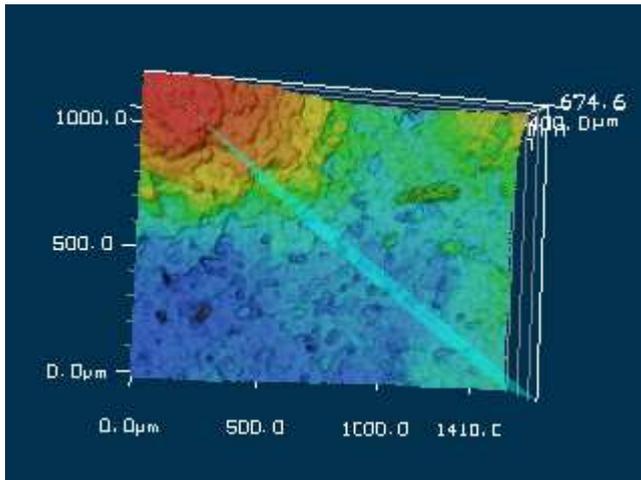
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	272,593μm	302,607μm	8,825°	5085,840μm	531695,764...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 10 Minuten



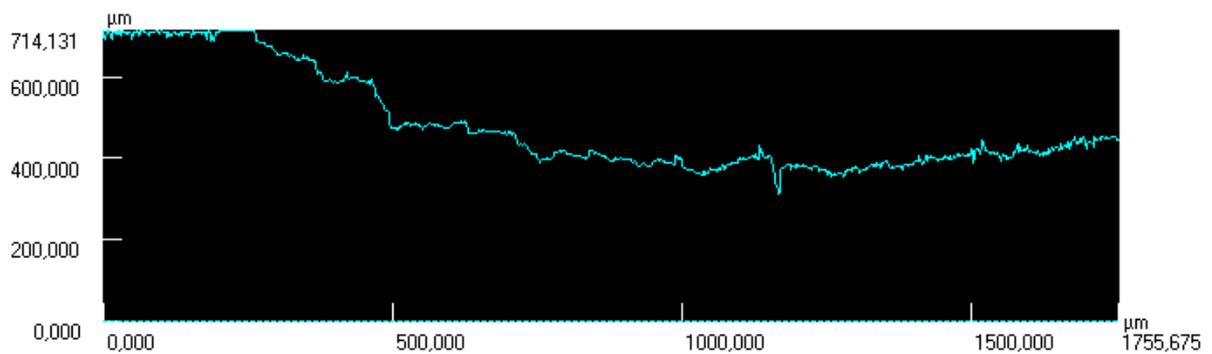
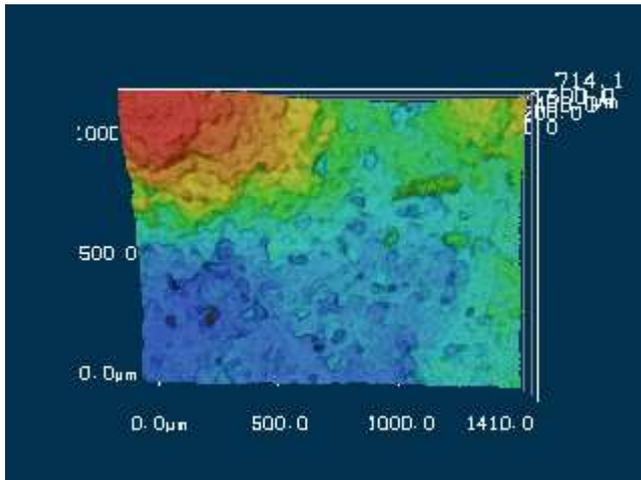
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	275,473μm	313,567μm	8,917°	5015,646μm	550954,305...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 20 Minuten



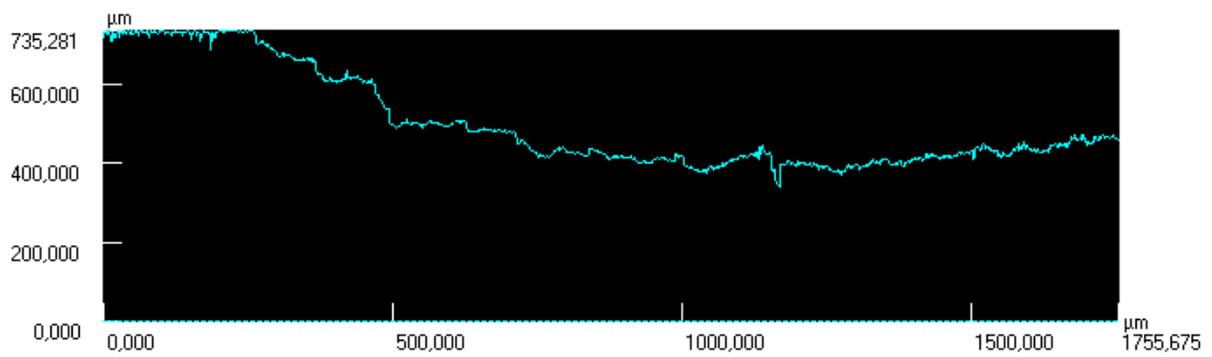
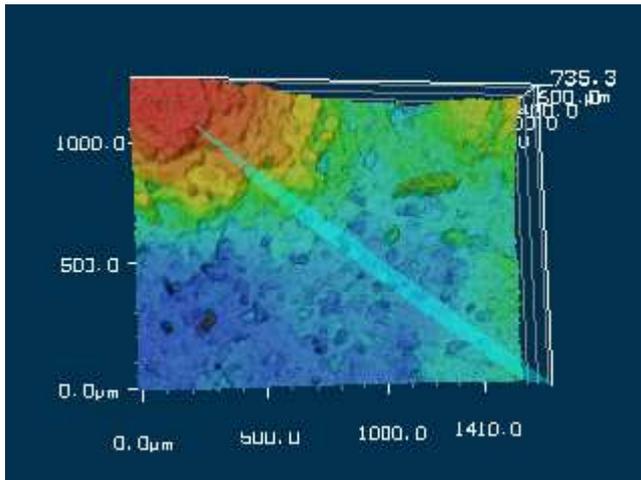
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	275,897µm	436,234µm	8,931°	4997,851µm	766486,052...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 30 Minuten



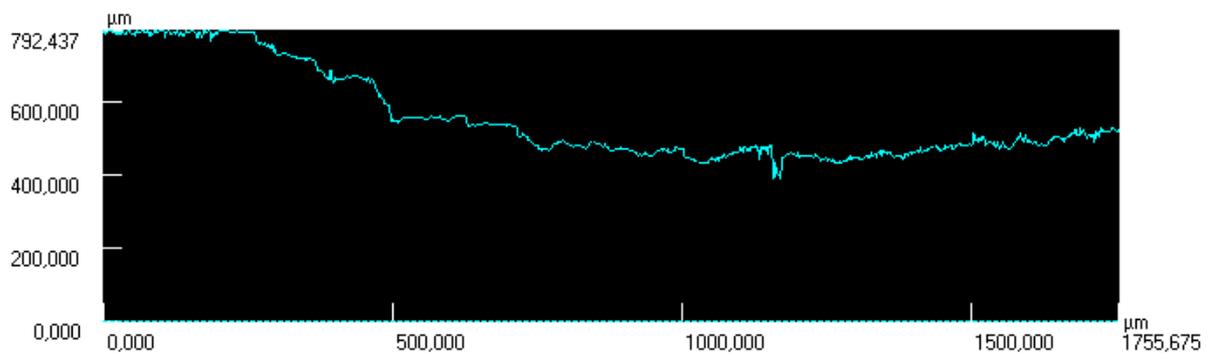
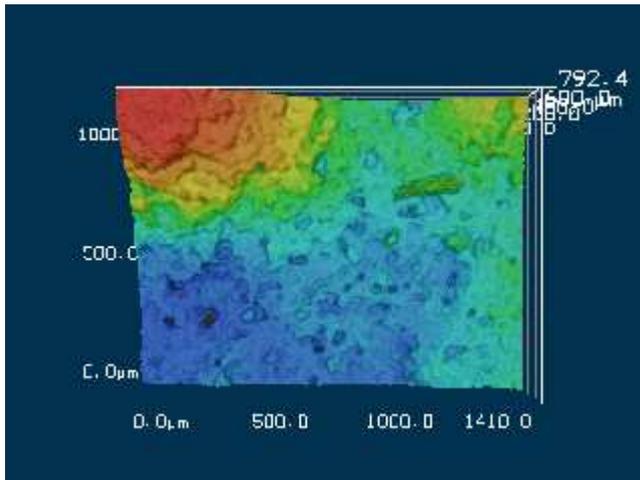
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	270,179μm	483,845μm	8,749°	4869,922μm	850141,406...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 40 Minuten



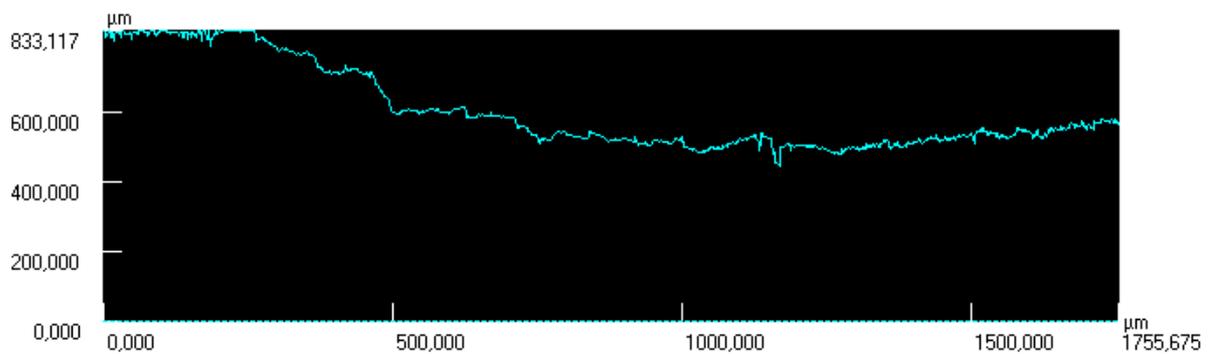
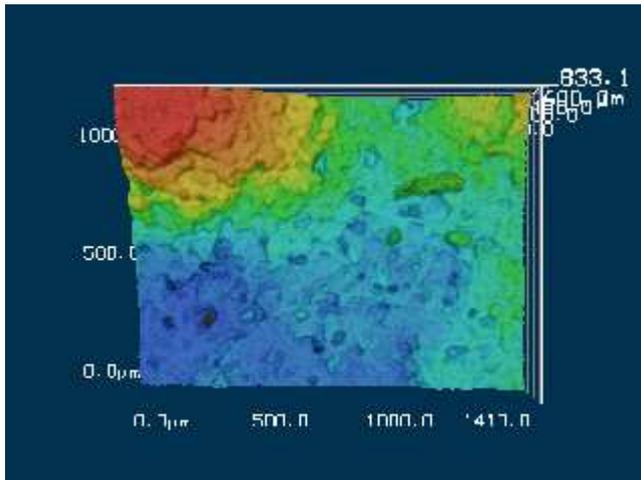
Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	261,426µm	502,187µm	8,469°	4937,957µm	882369,518...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 50 Minuten



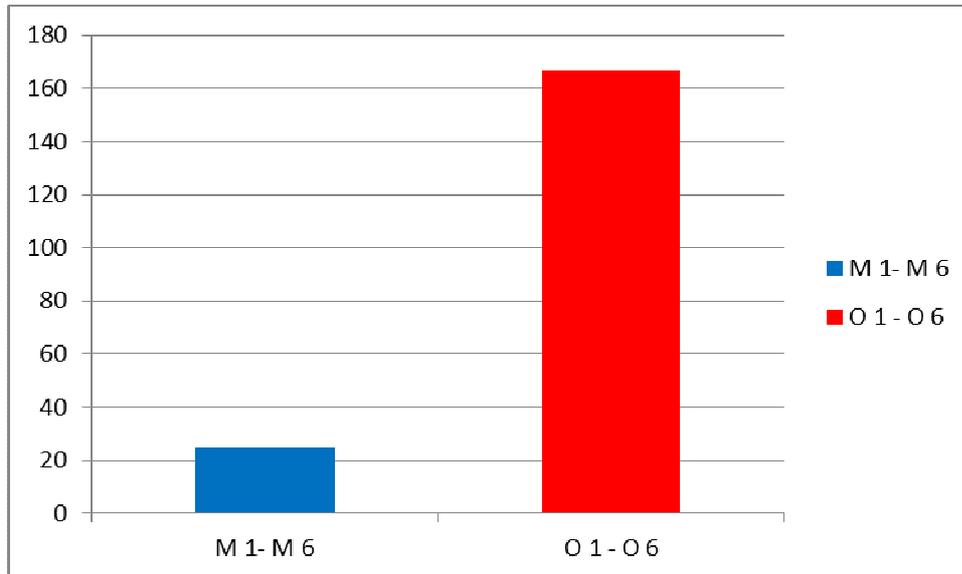
Profil	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675µm	269,511µm	556,279µm	8,727°	4923,176µm	977410,900...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

t = 60 Minuten



Profil1	Horiz.Abst.	H-Unters.	Durchs.-H	Winkel	Quers.Lä.	Quers.Fl.	R	Anmerk.
Alle	1755,675μm	266,255μm	605,521μm	8,623°	5246,905μm	1063932,17...		
Seg.1								
Seg.2								
Seg.3								
Seg.4								
Seg.5								
Seg.6								
Seg.7								
Seg.8								
Seg.9								
Seg.10								
Summe								
Max.								
Min.								
Durchs.								
Std.Abw.								
3 Sigma								

Probe	Gesamt	Anzahl	Ø μm
M 1- M 6	174,881	7	24,983
O 1 - O 6	999,248	6	166,541



6.6.4 Benetzungswinkelmessung

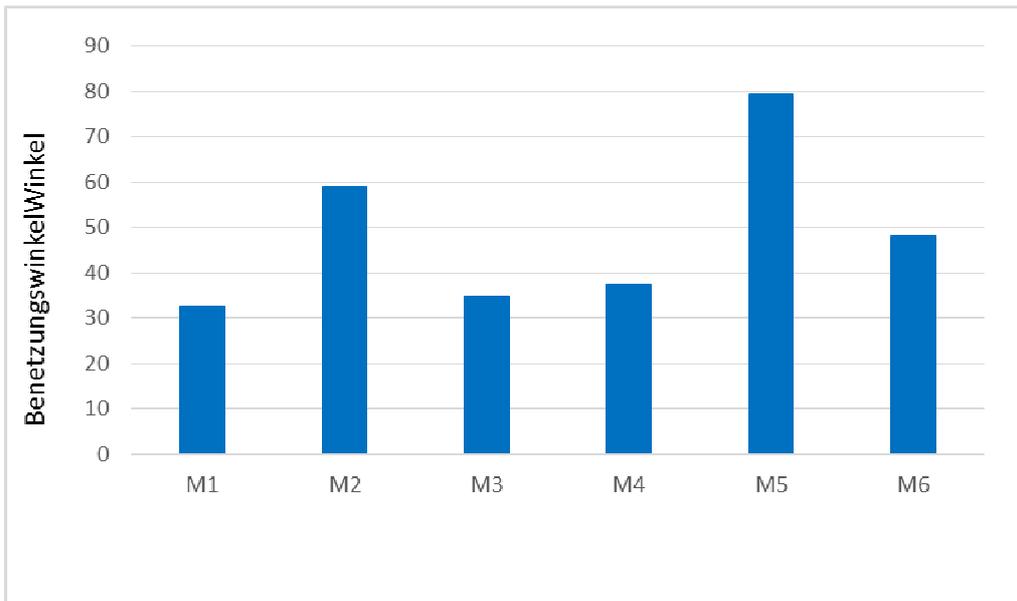


Horizontal aufgebautens Mikroskop zur Benetzungswinkelmessung.

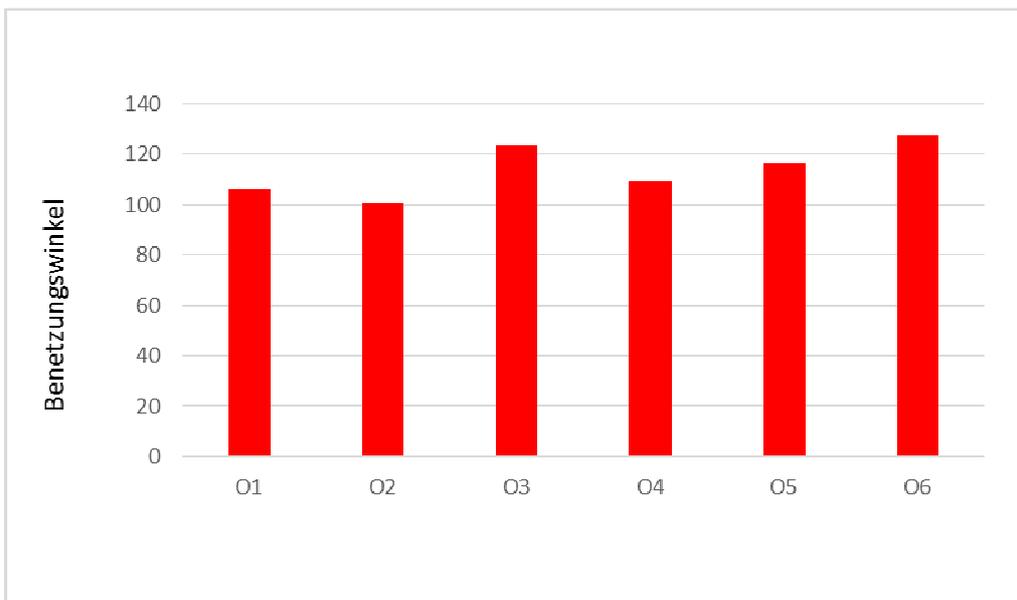
Versuch: Benetzungswinkelmessung

Tag 03.07.2017

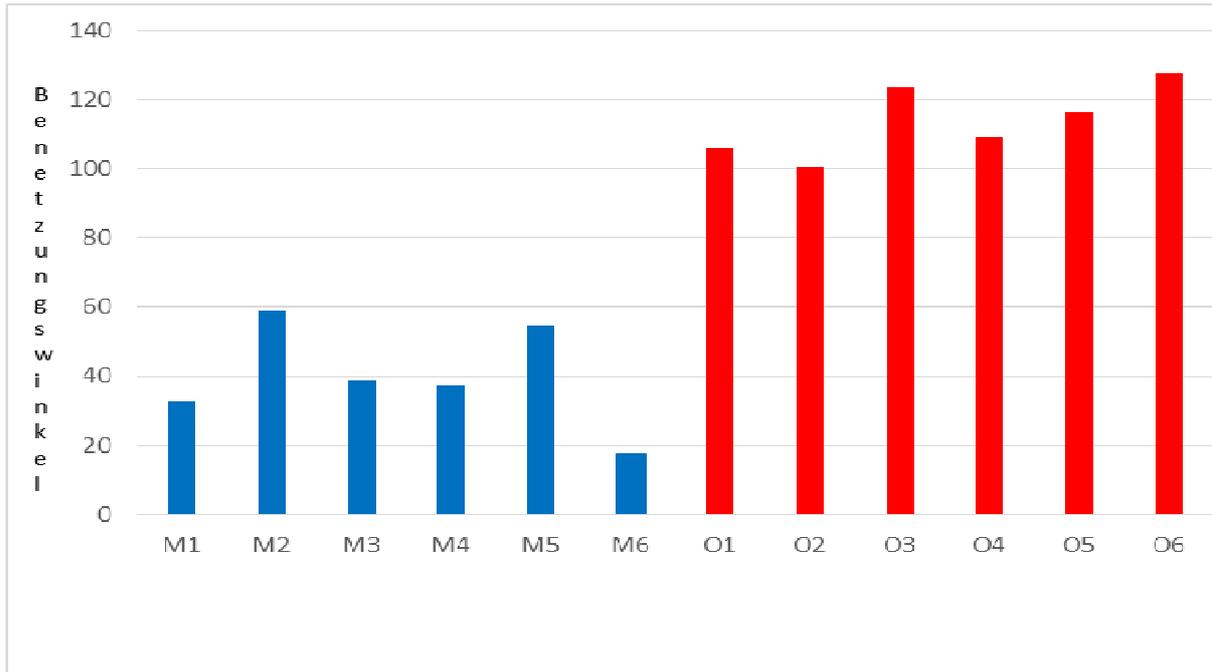
Probe	Benetzungswinkel in Grad
M1	32,577
M2	58,973
M3	39,021
M4	37,409
M5	54,654
M6	17,688
O1	106,31
O2	100,736
O3	123,484
O4	109,148
O5	116,477
O6	127,574



Benetzungswinkel mineralische Proben M 1 bis M 6

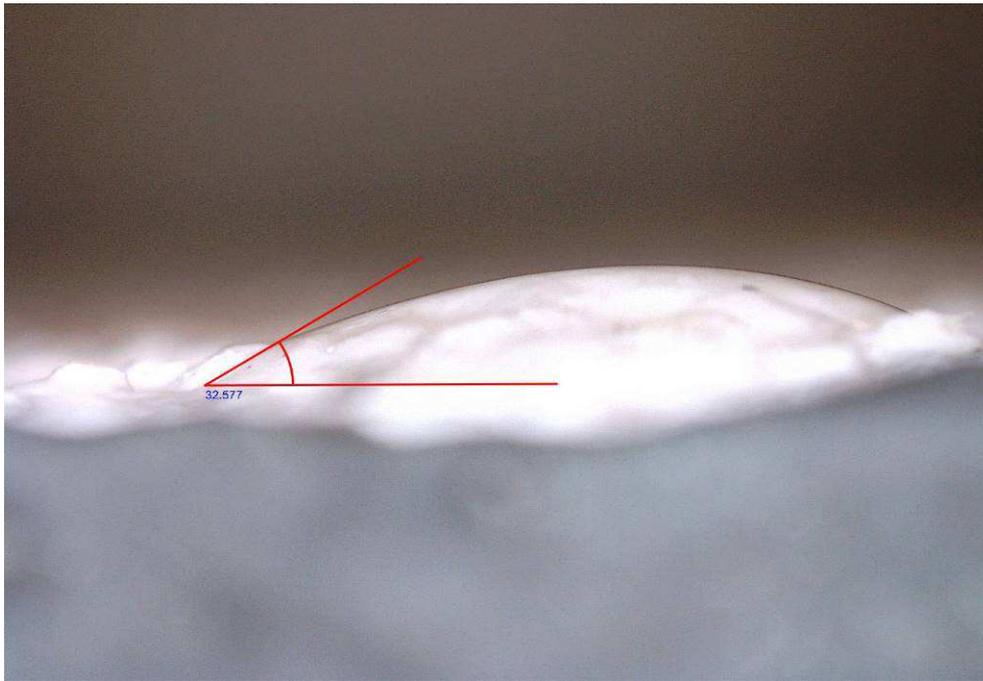


Benetzungswinkel organische Proben O 1 bis O 6

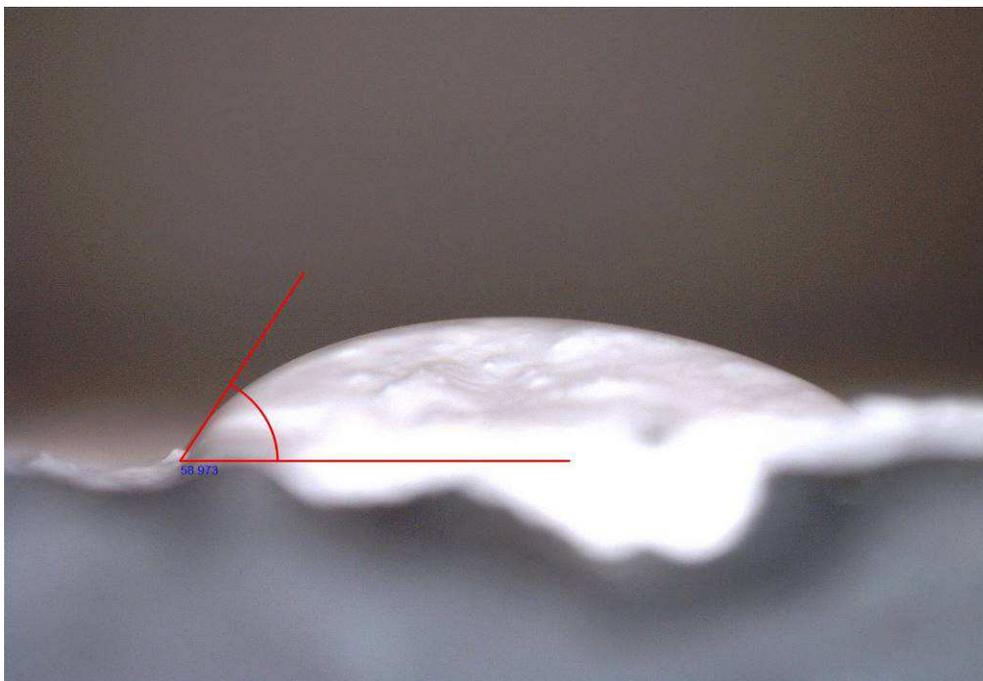


Gegenüberstellung mineralische und organische Putzproben

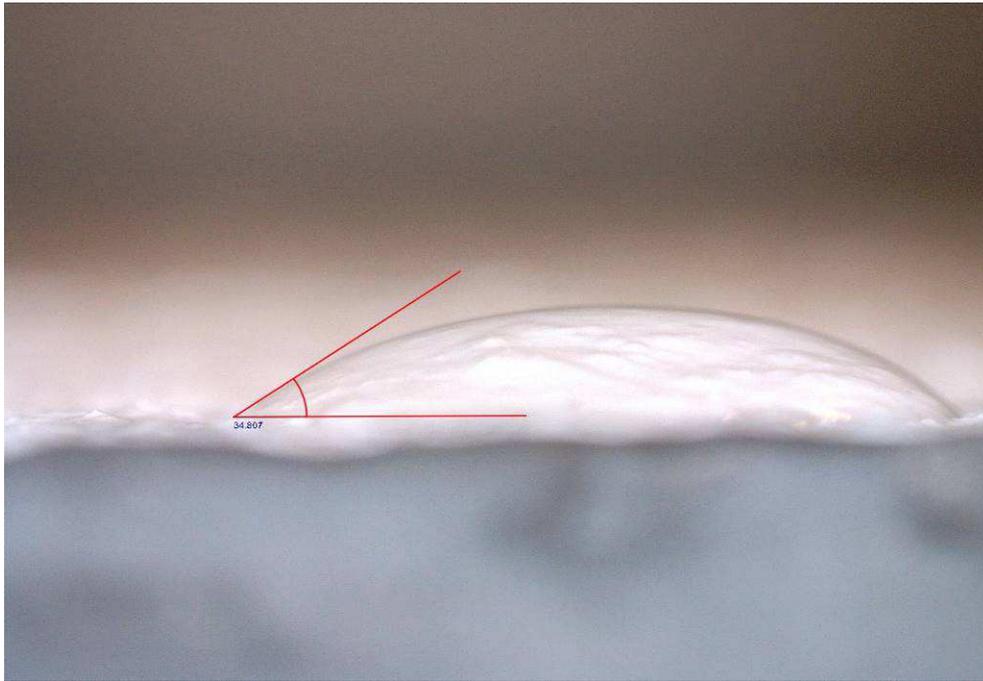
Bilddokumentation



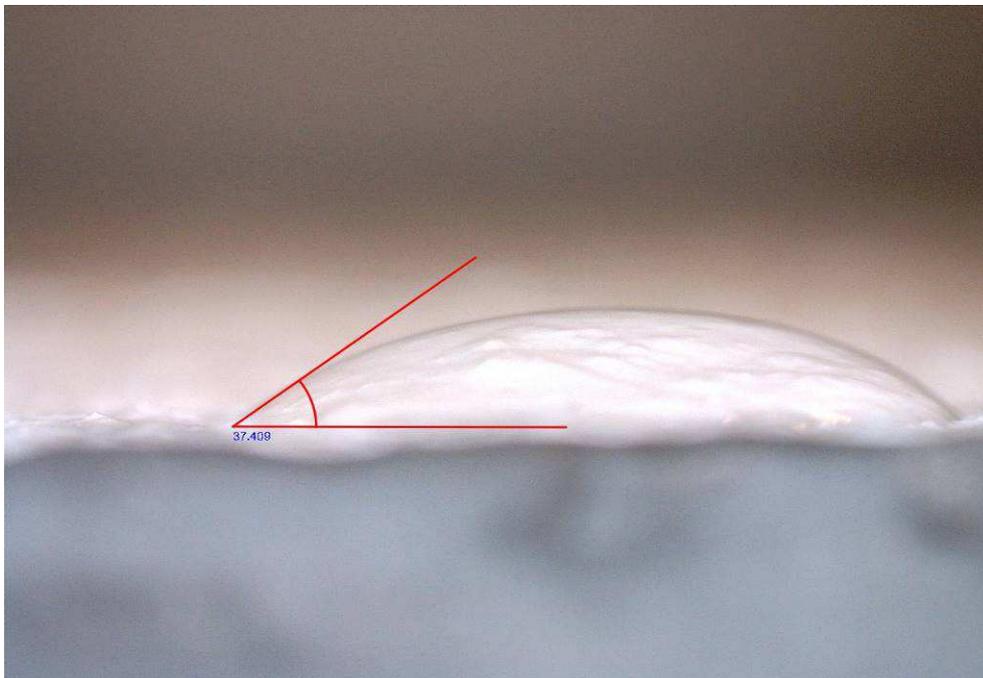
Probe M 1



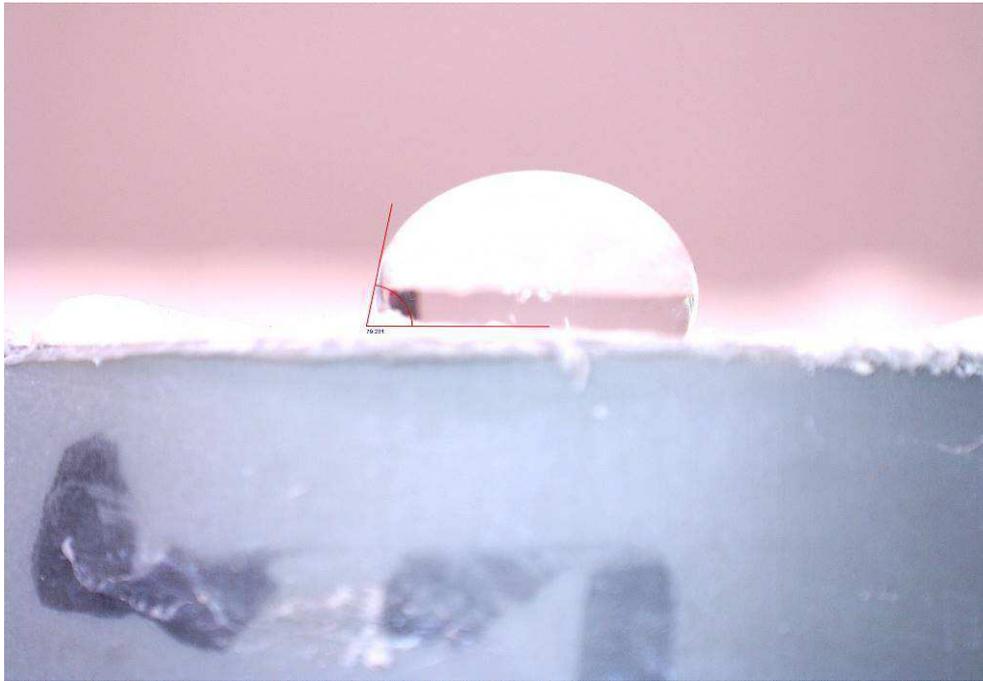
Probe M 2



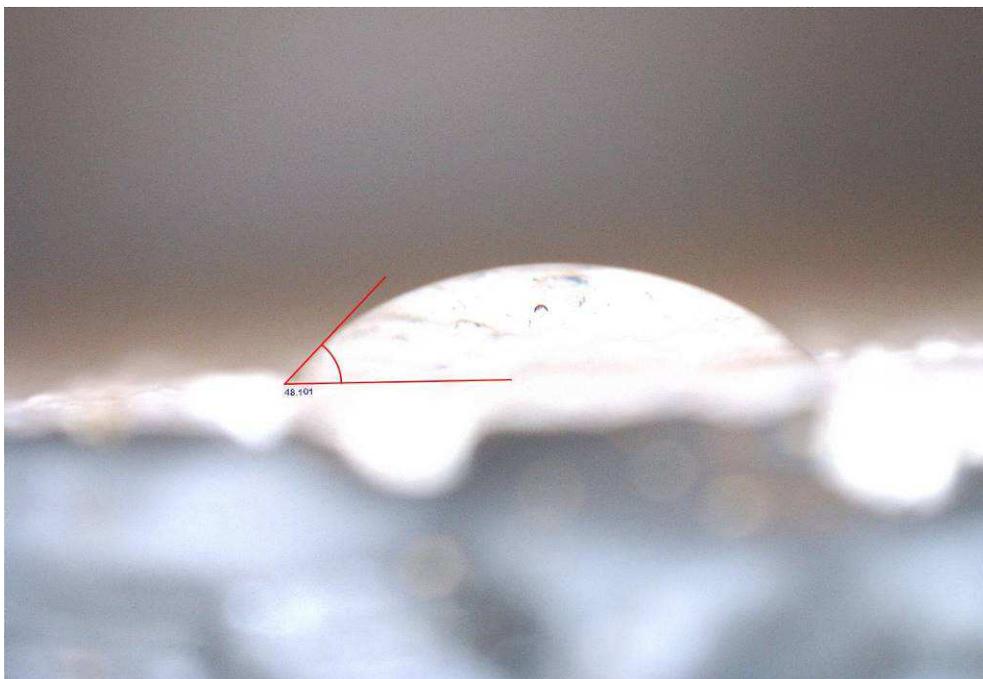
Probe M 3



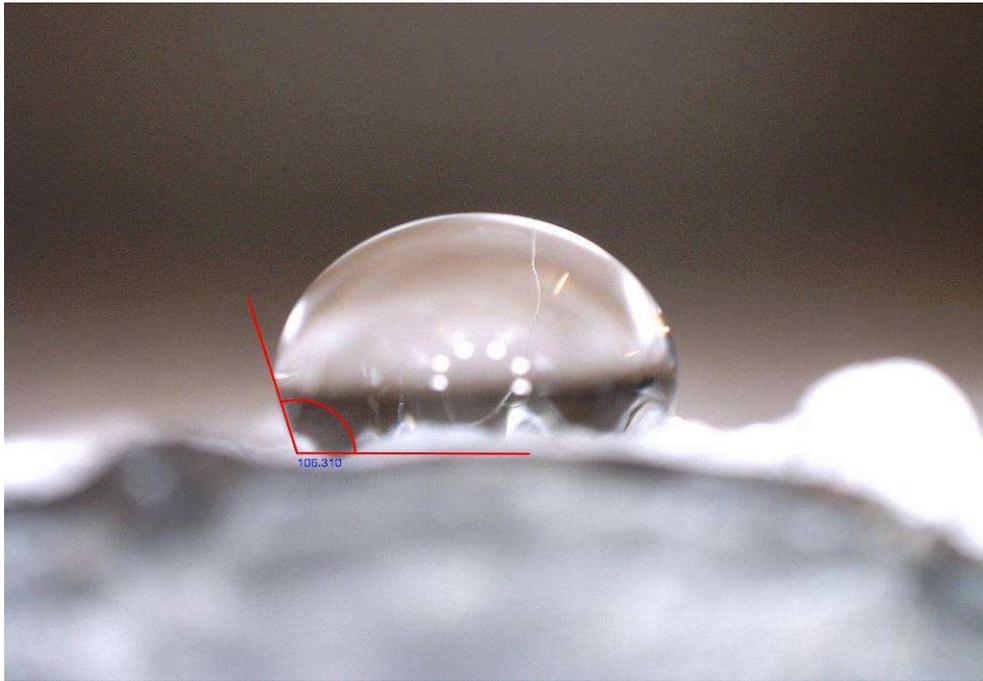
Probe M 4



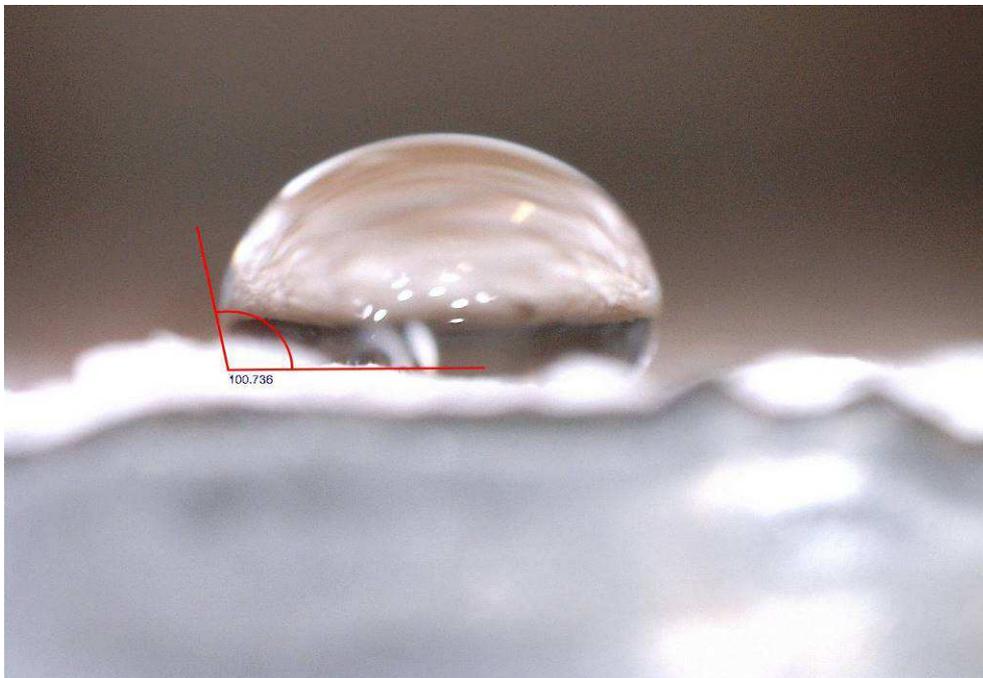
Probe M 5



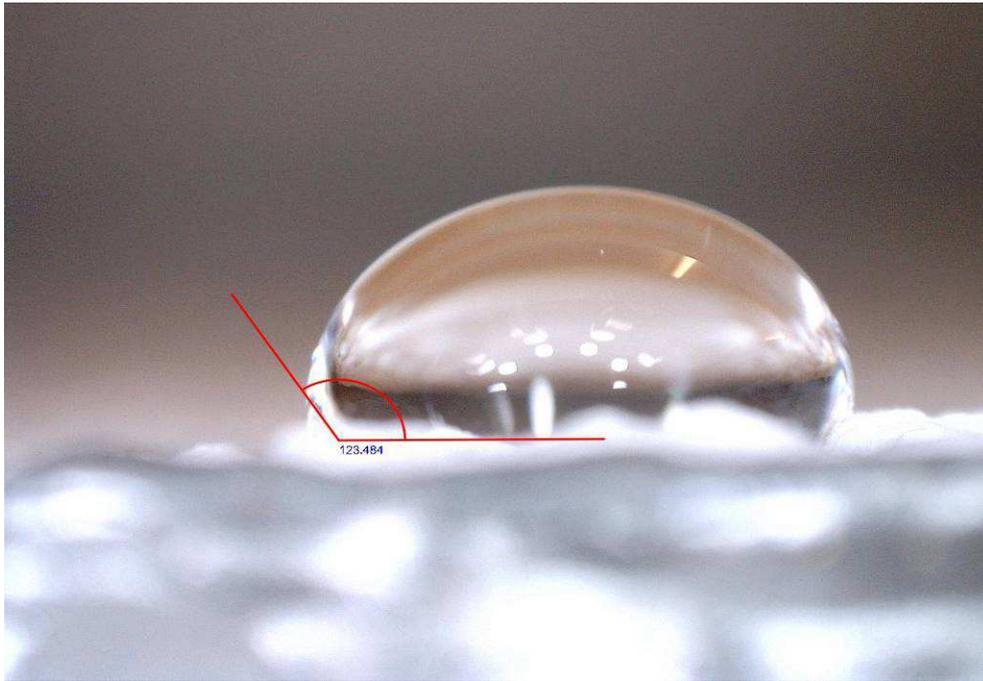
Probe M 6



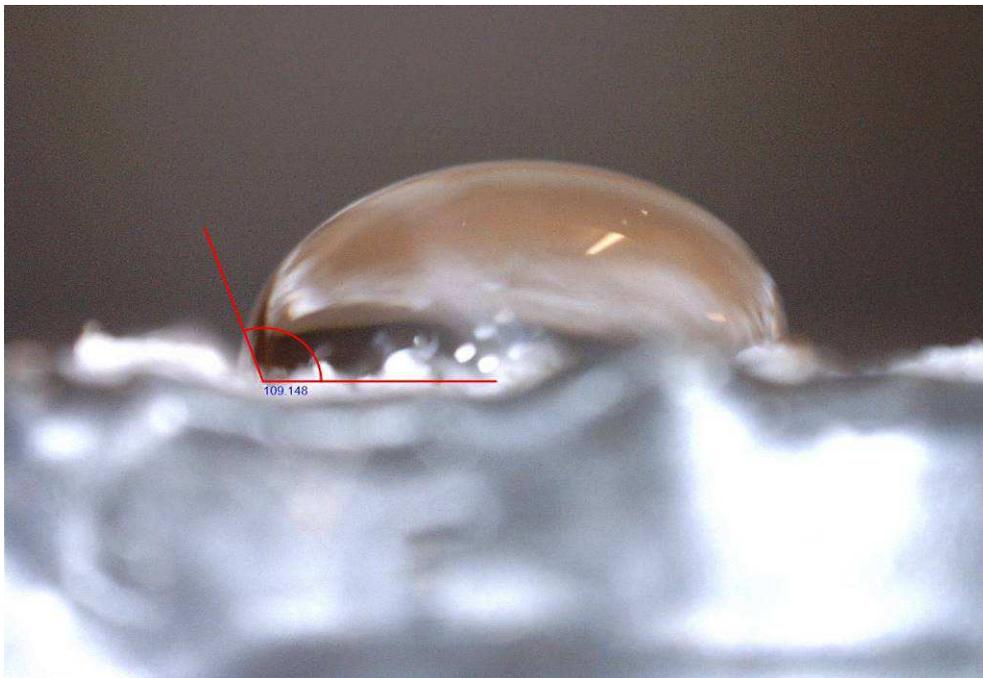
Probe O 1



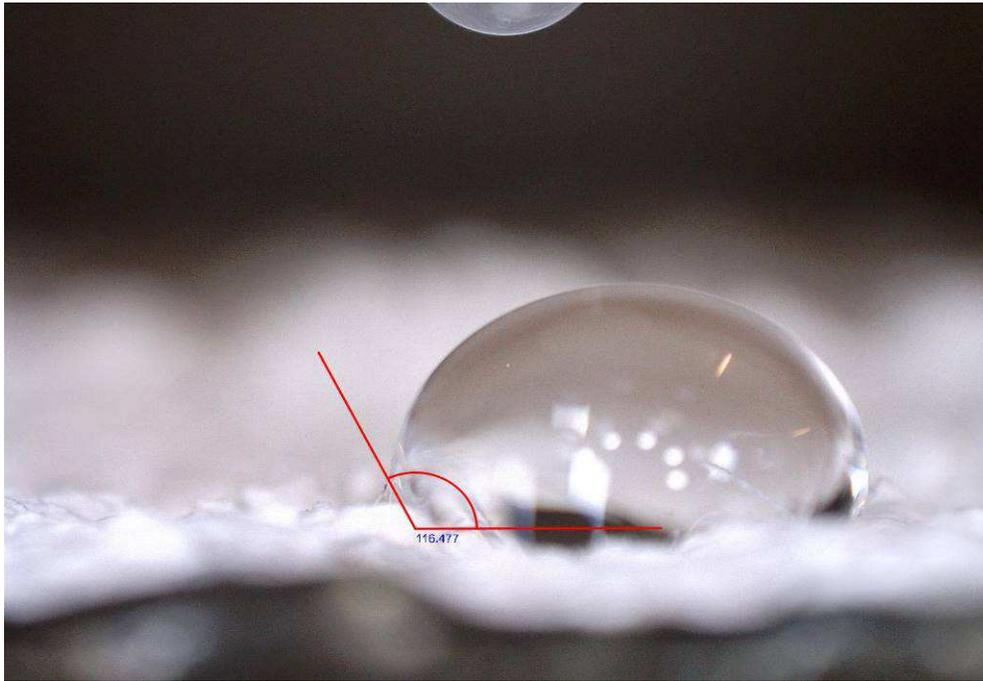
Probe O 2



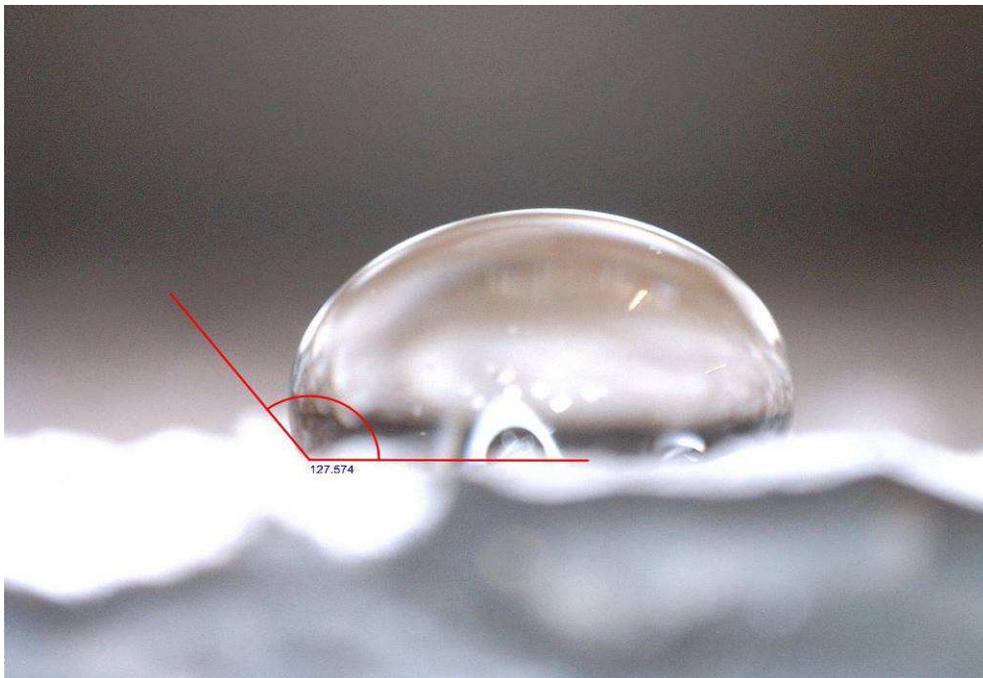
Probe O 3



Probe O 4



Probe O 5



Probe O 6

6.6.5 Materialanalyse

XRF Analyse

Quantitative und Qualitative Analytik mineralische Proben

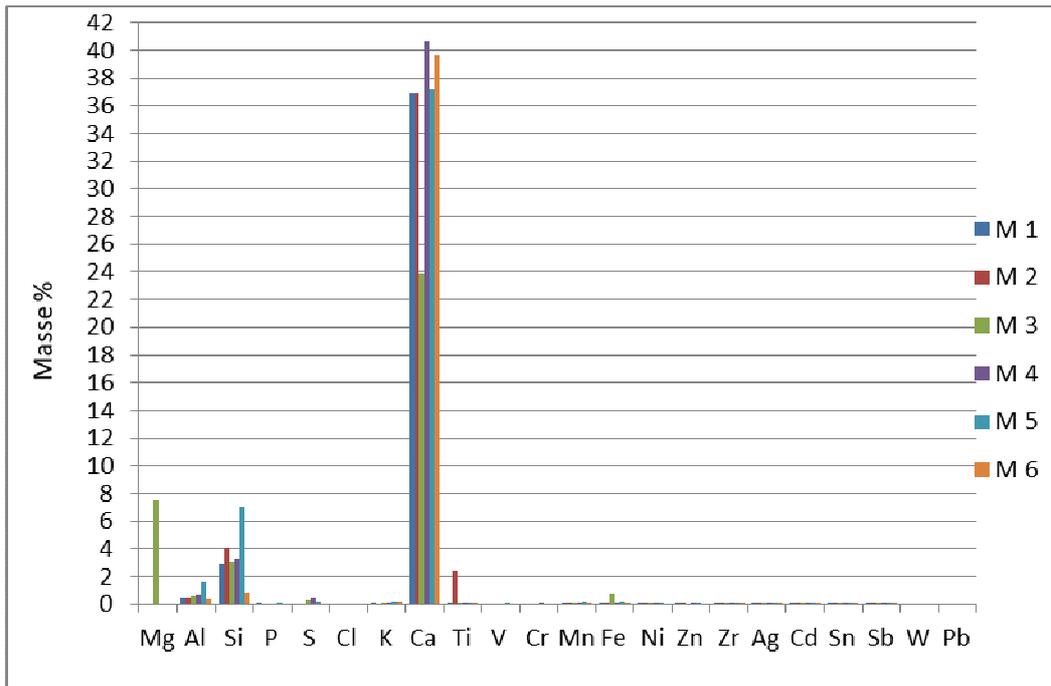


Materialanalyse per Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mit dem Olympus XRF

Sample	weight %																					
	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Zr	Ag	Cd	Sn	Sb	W	Pb
M 1	0	0,46	2,833	0,0759			0,078	36,937	0,062			0,076	0,112	0,0066	0,082	0,005	0,016	0,022	0,025	0,031		
M 2	0	0,46	4,053					36,930	2,38			0,027	0,082	0,008	0,028	0,006	0,016	0,022	0,024	0,031		
M 3	7,500	0,58	3,047		0,261		0,134	23,857	0,079			0,069	0,761	0,006		0,011	0,017	0,021	0,026	0,034		
M 4		0,67	3,247		0,476		0,112	40,643	0,093		0,025	0,034	0,073	0,011	0,048	0,004	0,017	0,026	0,023	0,033		
M 5		1,603	7,047	0,087	0,183		0,216	37,187	0,11	0,038		0,18	0,225	0,008	0,093	0,004	0,017	0,022	0,023	0,032		
M 6		0,39	0,867				0,197	39,630	0,064			0,023	0,043			0,005	0,017	0,023	0,021	0,03		0,002

Mineralische Proben M 1 – M 6

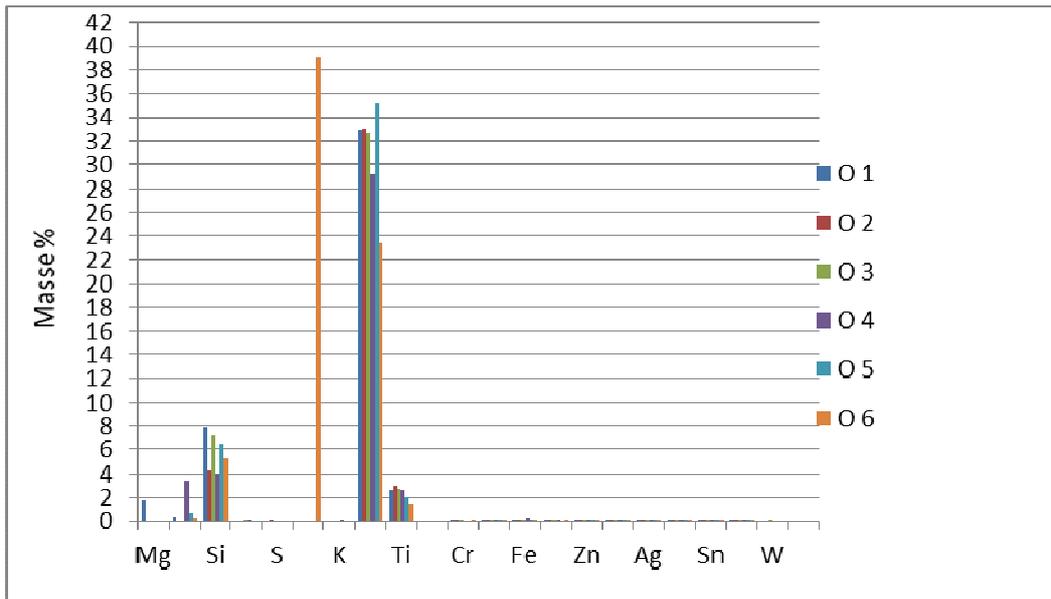




Analytik mineralische Proben

Sample	weight %																					
	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Ni	Zn	Zr	Ag	Cd	Sn	Sb	W	Pb
O 1	1,78	0,36	7,875					32,920	2,631		0,019	0,03	0,053	0,006	0,038	0,016	0,017	0,023	0,026	0,032		
O 2			4,205		0,0431			32,995	2,93		0,013	0,0282	0,0542	0,0074	0,03703	0,0164	0,0164	0,0221	0,0245	0,0326		
O 3			7,165	0,0611				32,683	2,735		0,014	0,029	0,05	0,008	0,053	0,015	0,017	0,023	0,025	0,033	0,0068	
O 4		3,373	4,052	0,0964			0,145	29,223	2,642			0,03	0,2	0,007	0,056	0,004	0,015	0,021	0,022	0,031		
O 5		0,648	6,395					35,190	2,107			0,064	0,125		0,063	0,016	0,016	0,022	0,023	0,031		
O 6		0,177	5,185			39,003		23,466	1,453		0,009	0,016	0,052	0,005	0,009	0,008	0,01	0,014	0,015	0,019		





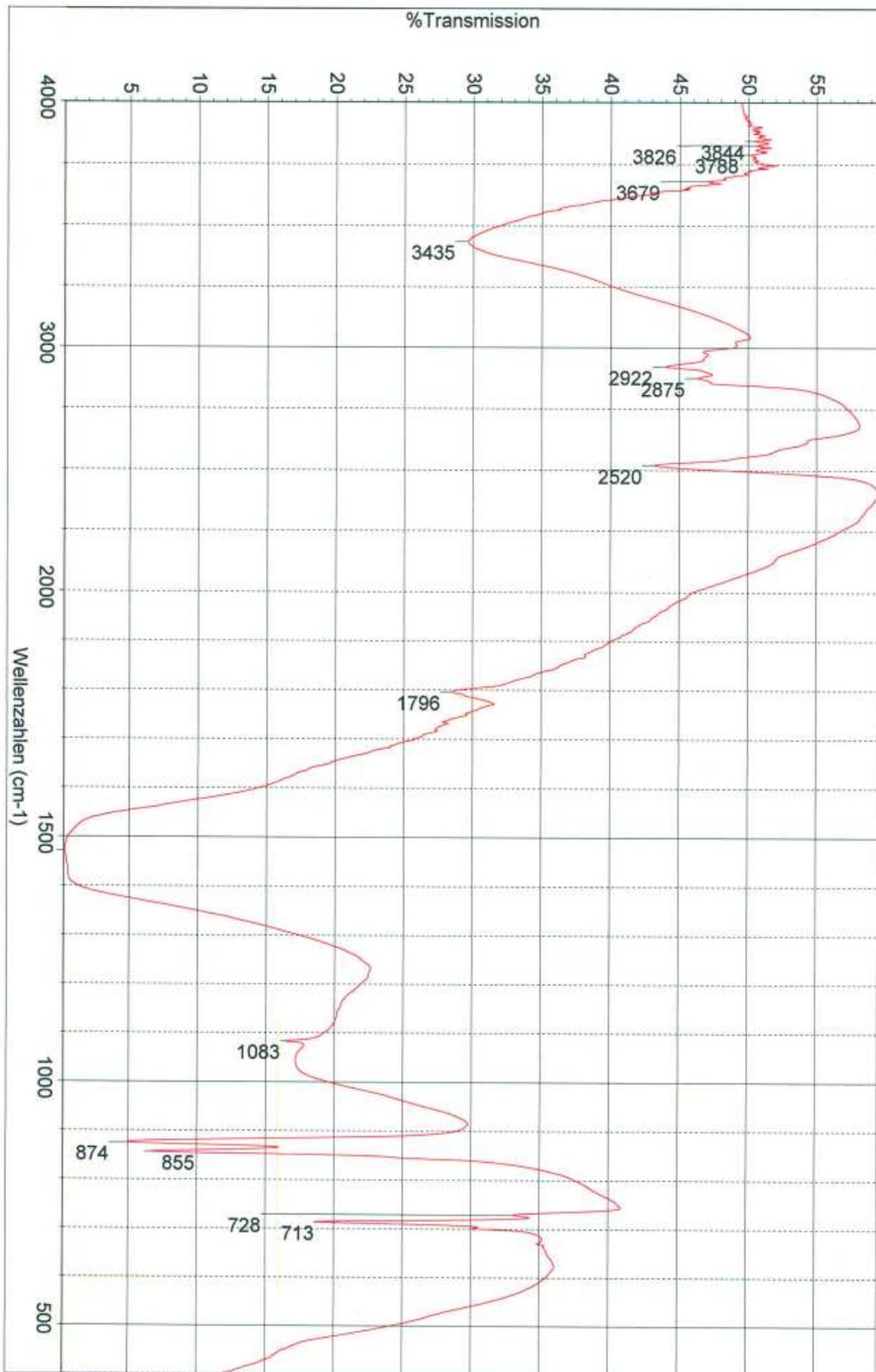
Analytik organische Proben

Infrarotspektroskopie



Materialanalyse per IR Spektroskopie, Thermo-Fisher-FTIR-Spektrometer, Typ Nicolet iS10

0811_1 M1 Original in KBr

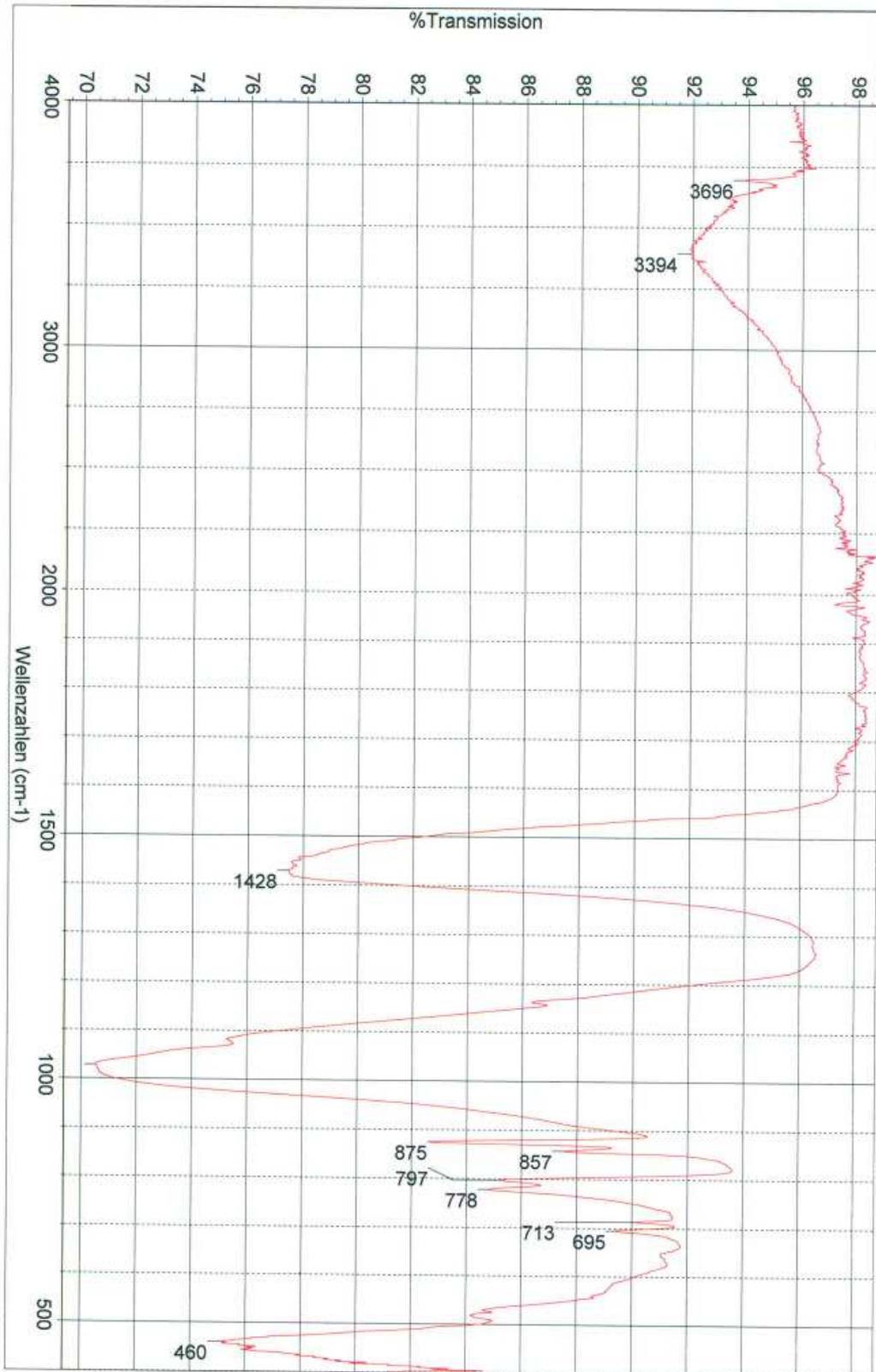


Do Mai 17 13:32:58 2018 (GMT+02:00)

Probe M 1

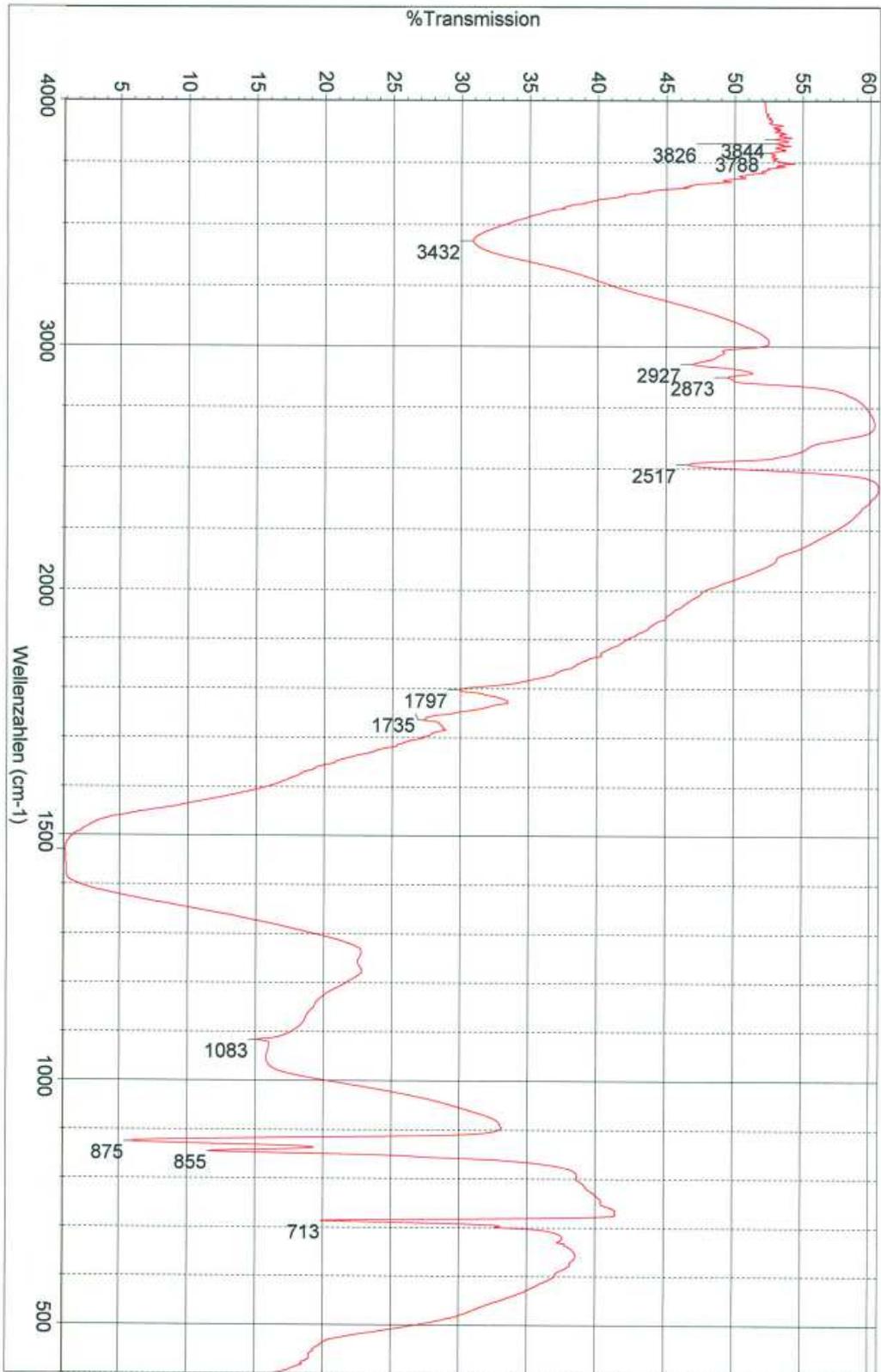
0948_3 Muster M3, ATR

Mo Sep 03 12:31:18 2018 (GMT+02:00)



Probe M 3

0811_2_M5 Original in KBr



Do Mai 17 13:43:06 2018 (GMT+02:00)

Probe M 5

0948_1 Muster O1, ATR



Mo Sep 03 09:47:49 2018 (GMT+02:00)

Probe O 1

0948_2 Muster 06 ATR



Mo Sep 03 12:14:06 2018 (GMT+02:00)

Probe O 6

Auszug aus Bericht 0811

Analyse Ihrer Proben M1 und M5 / Peaktabellen Unsere Analysen-Nr. 0811

Sehr geehrter Herr Steffgen,

wunschgemäß erhalten Sie nachfolgend Peaktabellen zu o.g. Analysenbericht. Nicht alle Peaks konnten definierten Verbindungen oder Schwingungstypen zugeordnet werden (insbesondere teilweise im „Fingerprint“-Bereich zwischen 400 und ca. 1400 cm^{-1} sowie bei den stark verrauschten IR-Spektren).

Peak(s) [cm^{-1}]	Zuordnung
Probe M1 Original	
3435	OH (Wasser)
2922, 2875	CH, CH_2 + CH_3 (aliphatisch)
2520, 1796, ca. 1460, 1083, 874, 855, 713	CaCO_3
ca. 1040	Si-O (Silikat)
Probe M5 Original	
3432	OH (Wasser)
2927, 2873	CH, CH_2 + CH_3 (aliphatisch)
2517, 1797, ca. 1460, 1083, 875, 855, 713	CaCO_3
1735	C=O (Karbonsäureester)
ca. 1040	Si-O (Silikat)
Probe M1 Pyrolyse-Kondensat	
3377	OH (Wasser, Alkohole)
3049	CH (aromatisch)
2924, 2848	CH, CH_2 + CH_3 (aliphatisch)
1598, 1513, 1497	aromatische Ringschwingung
1465	CH_2 , CH_3 (aliphatisch)
1378	CH_3

..12

Peak(s) [cm ⁻¹]	Zuordnung
Probe M5 Pyrolyse-Kondensat	
3382	OH (Wasser, Alkohole, Phenole)
3049	CH (aromatisch)
2924, 2853	CH, CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
1601	aromatische Ringschwingung
1454	CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
1376	CH ₃
878, 813, 747	aromatische Strukturen (evtl. Phenole (unsicher))
Probe M1 Toluol-Extrakt	
2924, 2854	CH, CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
schwache Schulter bei ca. 1728	C=O Phthalsäureester
1712	C=O (Karbonsäure)
1464	CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
1378	CH ₃
1273, 1119, 1072	Phthalsäureester
721	Methylenketten > (CH ₂) ₄ - „Paraffinketten“, z. B. aus Paraffinwachs oder Fettsäuren
Probe M5 Toluol-Extrakt	
3445	OH (Wasser, Alkohol)
2924, 2851	CH, CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
1738	C=O (Karbonsäureester)
1715	C=O (Karbonsäure)
1463	CH ₂ , CH ₃ (aliphatisch)
1377	CH ₃
1260, 802	Silikone auf Basis Polydimethylsiloxan
1165	aliphatischer Karbonsäureester
1114	C-O (vermutlich Alkohol, Glykol oder Ethoxyaddukt)
720	Methylenketten > (CH ₂) ₄ - „Paraffinketten“, z. B. aus Paraffinwachs oder Fettsäuren

Auszug aus Bericht 0948

Analyse Ihrer Proben O1, O6 und M3 Unsere Analysen-Nr. 0948

Sehr geehrter Herr Steffgen,

wir danken für Ihren o.g. Auftrag, dessen Eingang wir hiermit bestätigen. Folgende Werte wurden ermittelt:

1. Probe O1

Die Probe besteht aus einem Gemisch aus Calciumcarbonat (überwiegende Hauptkomponente), einem Silikat und geringen Mengen eines Karbonsäureesters (vermutlich ein Polyacryl- oder -methacrylsäureester (unsicher)).

2. Probe O6

Die Probe besteht aus einem Gemisch aus Calciumcarbonat (überwiegende Hauptkomponente), einem Silikat und sehr geringen Mengen einer organischen Verbindung, die aufgrund der geringen Konzentration nicht näher zugeordnet werden konnte. Verbindungen mit Esterstrukturen sind nicht nachweisbar.

3. Probe M3

Die Probe besteht aus einem Gemisch aus anorganischen Silikaten (Hauptbestandteil) und deutlichen Mengen Calciumcarbonat. Organische Verbindungen sind nicht nachweisbar.

Peak(s) [cm ⁻¹]	Zuordnung
Probe O1	
Peakbereich zwischen ca. 2830 + 2958 2520, 1795, ca. 1410, 873, 855, 712 1735 ca. 1080	CH, CH ₂ + CH ₃ (aliphatisch) CaCO ₃ C=O (Karbonsäureester (Acrylat? Unsicher)) Si-O (Silikat)
Probe O6	
Peakbereich zwischen ca. 2830 + 2919 2512, 1795, ca. 1395, 871, 855, 712 ca. 1080	CH, CH ₂ + CH ₃ (aliphatisch) CaCO ₃ Si-O (Silikat)

Peak(s) [cm ⁻¹]	Zuordnung
Probe M3	
3696 3394 1795, 1428, 875, 857, 713 alle anderen Peaks:	OH (Kristallwasser in Silikaten) OH (Wasser) CaCO ₃ (teil)kristalline Silikate

Beiliegend erhalten Sie die erstellten IR-Spektren. Sollten sich zu Durchführung oder Auswertung der Analyse noch Fragen ergeben, so stehen wir zu deren Beantwortung gerne zur Verfügung. Wir würden uns freuen, wieder von Ihnen zu hören und verbleiben