



Auswirkung von deionisiertem Wasser auf PV-Module

Projektarbeit

zur Erlangung eines Leistungsnachweises
Projektarbeit 7.Semester

vorgelegt am
23.06.2010

Jochen, Allgayer
73998
Hagäcker 3, 88326 Aulendorf

Betreuer: Prof. Dr. Gerhard Winter, Hochschule Albstadt-Sigmaringen

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Verschiedene Wasseraufbereitungssysteme	2
1.2	Umkehrosmose	2
1.3	Deionisation.....	2
1.4	Destillation	3
1.5	Wasseraufbereitung mit einem Stangensystem	3
1.6	Messverfahren von Oberflächenveränderungen	4
1.7	Glanzmessgerät	4
1.8	Schichtdickenmessung	6
2	Material und Methoden	8
2.1	PV-Module	8
2.2	Reinigungsgerät/Ionenaustauscher.....	8
2.3	Weitere Hilfsmittel	8
2.4	Messgeräte.....	9
2.5	Aufbau des Versuchs.....	9
2.6	Allgemeiner Versuchsaufbau und Festlegung der Messpunkte.....	12
3	Ergebnisse	14
3.1	Mikroskopische Dokumentation.....	14
3.1.1	Ausgangszustand zum Zeitpunkt t_0	14
3.1.2	Mikroskopische Dokumentation nach 22 Reinigungen zum Zeitpunkt t_1	23
3.1.3	Mikroskopische Dokumentation nach 45 Reinigungen zum Zeitpunkt t_2	32
3.2	Glanzmessung.....	41
3.3	Schichtdickenmessung	43
4	Diskussion.....	45
4.1	Mikroskopische Aufnahmen	45
4.2	Glanzmessung.....	47
4.3	Schichtdickenmessung	48

4.4	Fazit	48
5	Literaturverzeichnis	51

1 Einleitung

Eine Leistungsabnahme von PV-Modulen ist bei einwandfreier Technik zum größten Teil der Verschmutzung zuzuschreiben. PV-Module verunreinigen durch Einflüsse von Emissionen oder durch den Aufbau einer Art Biofilm. Zur Leistungssteigerung wird daher bei Bedarf eine Reinigung empfohlen, welche die Verschmutzungen entfernt, ohne irreversible Schäden an der PV-Anlage zu hinterlassen. Die Reinigung von PV-Modulen wird in der Praxis mit verschiedenen Verfahren durchgeführt: mittels Hochdruckreiniger und Brauchwasser, mittels Zusatz von chemischen Reinigungsmitteln und Bürsten oder mit dem Einsatz von deionisiertem Wasser, welches mit einem Stangensystem aufgebracht wird. Die Reinigung mit deionisiertem Wasser wird bisher als das geeignete Verfahren angesehen, da bei Brauchwasser Kalkrückstände auftreten können und bei der Zuhilfenahme von chemischen Reinigungsmitteln eventuell Rückstandsfilme verbleiben. Die Reinigung mit deionisiertem Wasser hat den Vorteil, dass die Verunreinigung mit geringem Einsatz von Mechanik entfernt wird und ein Verkratzen der PV-Module minimiert wird. Dieser Effekt tritt ein, da deionisiertes Wasser das Bestreben nach einer Bindung mit Mineralien aufweist. Aufgrund dieser Eigenschaft wird deionisiertes Wasser auch kritisch angesehen, da vermutet wird, dass nicht nur die Verunreinigung entfernt wird, sondern auch die PV-Module angegriffen werden.

In der vorliegenden Untersuchung wurde unter praktischen Bedingungen die Reinigung mit deionisiertem Wasser über einen längeren Zeitraum hinweg simuliert und mit verschiedenen Messmethoden dokumentiert, ob und in welchem Umfang dabei Veränderungen an den Oberflächen der PV-Module eingetreten sind. [1]

1.1 Verschiedene Wasseraufbereitungssysteme

Rohwasser kann als verdünnte Salzlösung angesehen werden. Der Gehalt und die Art der Salze bestimmt, wie gut das Wasser elektrischen Strom leitet. Diese Eigenschaft wird als Leitfähigkeit bezeichnet und bei geringen Leitfähigkeiten in der Einheit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] angegeben (normal in [S/m]). Die Leitfähigkeit ist demnach ein Maß für den Gehalt an Salzen im Wasser. Rohwasser besitzt eine Leitfähigkeit von ca. $700\mu\text{S}/\text{cm}$. Ziel eines Wasseraufbereitungssystems ist die Leitfähigkeit zu verringern, indem die im Wasser enthaltenen Salze entfernt werden. Im Folgenden sind verschiedene Wasseraufbereitungssysteme zur Entsalzung von Wasser nach dem Reinheitsgrad aufgeführt. [2]

1.2 Umkehrosmose

Bei der Umkehrosmose wird Wasser mit einer Leitfähigkeit von ca. $5\text{-}30\mu\text{S}/\text{cm}$ erzeugt. Die Umkehrosmose ist die bisher feinste bekannte Filtration. Hierbei wird das Brauchwasser mit Druck durch eine semipermeable Membran geleitet, welche als eine Art Filter fungiert. Die Salze werden durch die semipermeable Membran zurückgehalten und das reine Wasser kann hindurch fließen. [3]

1.3 Deionisation

Die Deionisation ist ein Prozess, bei dem spezielle Ionenaustauscher verwendet werden, welche die Ionen der Salze aus dem Wasser entfernen. In der Theorie ist es möglich, 100 % der Salze aus dem Wasser zu entfernen. Bei der Deionisation werden die gelösten elektrisch geladenen Was-

serinhaltsstoffe an Kationen- oder Anionentauscherharze gebunden. Dieser Prozess findet in einem Behälter statt, der mit Harzen befüllt ist. Das zu behandelnde Wasser wird durch den Behälter mit den Harzen geleitet, wo der Ionenaustausch stattfindet. Der Ionenaustausch kann in verschiedenen Anwendungssystemen zur Herstellung von deionisiertem Wasser genutzt werden. Die Reinheit des Wassers ist vergleichbar mit der Qualität der Destillation. Die Leitfähigkeit beträgt bei Mischbettionenaustauschern ca. $0,1-0,055\mu\text{S}/\text{cm}$. [3, 4]

1.4 Destillation

Die Destillation ist mit der natürlichen Verdunstung vergleichbar. Verfahrenstechnisch wird in einem Destillierapparat Rohwasser verdampft und in einem Kondensator wieder zu Wasser verflüssigt. Gelöste Inhaltsstoffe wie Salze verbleiben im Verdampfungskessel während das Wasser diesen in Form von Dampf verlässt. Neben den Salzen kann das Rohwasser jedoch flüchtige Stoffe wie z.B. Alkohole enthalten, die wie Wasser verdampfen und kondensieren. Destillierapparate von hoher Qualität können selektiv allein Wasser neben vorhandenen Inhaltsstoffen destillieren. Ein Übertritt von flüchtigen Substanzen und geringen Mengen nichtflüchtiger Inhaltsstoffe kann jedoch durch Platzen von Wasserblasen nicht vollständig vermieden werden. Die Leitfähigkeit von destilliertem Wasser beträgt ca. $0,04\mu\text{S}/\text{cm}$. [2, 3]

1.5 Wasseraufbereitung mit einem Stangensystem

Die Funktionsweise basiert auf dem Verfahren des Ionenaustausches. Das Gerät ist mit einem Tank ausgerüstet, der mit einem Harzmischbett in

Form von kleinen Kugeln (Ionenaustauschharz) ausgestattet ist. Leistungswasser wird im System durch das Mischbett geleitet und dadurch deionisiert. Über ein Pumpsystem wird das deionisierte Wasser zum Sprühkopf mit integrierter Reinigungsbürste transportiert. Mit dem verlängerbaren Stangensystem, das mit Carbonfasern verstärkt ist, ist auch eine Reinigung von unzugänglichen Stellen in der Höhe möglich. Ursprünglich werden diese Geräte zur Reinigung von Fassaden und zur Fensterreinigung eingesetzt. Begrenzt ist diese Technik durch den Einfluss der Temperatur. Die Temperatur des gesamten Systems sollte nicht weniger als 1 °C und nicht mehr als 50 °C betragen. [5]

1.6 Messverfahren von Oberflächenveränderungen

Mögliche Veränderung an der Oberfläche sollen bei der Versuchsdurchführung erkannt werden. Für die Messung der Glanzeigenschaft wird ein Glanzmessgerät zur Hilfe genommen. Ein Schichtdickenmessgerät dient zur Bestimmung der Beschichtungsdicke auf einer Oberfläche.

1.7 Glanzmessgerät

Unter Glanz ist eine visuelle Wahrnehmung, die bei der Betrachtung von Oberflächen entsteht, zu verstehen. Je gerichteter ein Licht reflektiert wird, desto stärker ist die Glanzwahrnehmung. Zur Messung von Glanz wird ein Reflektometer eingesetzt, das die Intensität der gerichteten Reflektion in einem schmalen Bereich des Reflektionswinkels detektiert. Die Intensität der Reflektion wird durch das Oberflächenmaterial und den Einstrahlwinkel bestimmt. Die Kalibrierung erfolgt deshalb mit einem schwarzen Glasstandard, dem der Messwert 100 zugeteilt wird und nicht mit der

eingestrahlenen Lichtmenge. Die Messung von Glanz erfolgt in 3 normierten Kategorien, die durch den Einstrahlwinkel definiert sind:

- Mattglanz 85° Geometrie
- Mittelglanz 60° Geometrie
- Hochglanz 20° Geometrie

Diese 3 Normgeometrien sichern, dass die Messgeometrie mit dem optischen Eindruck übereinstimmen.

[6]

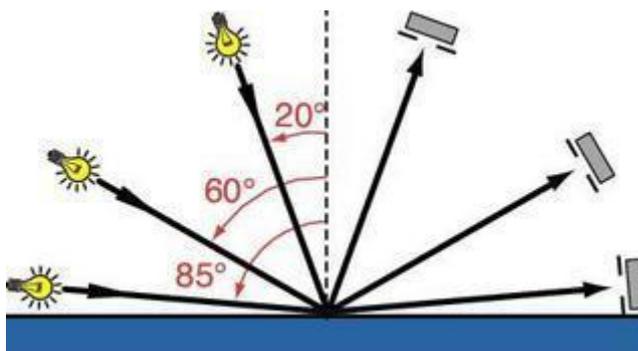


Abbildung 1: Gezeigt wird das Funktionsprinzip eines Reflektometers. Von jeder Strahlungsquelle wird die Intensität der Reflektion detektiert.[6]

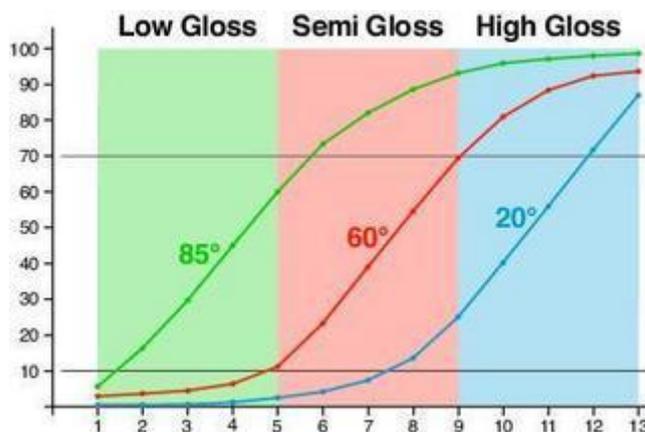


Abbildung 2: In den steilen Kurvenabschnitten kann eindeutig zwischen den Proben differenziert werden. In den flachen Abschnitten stimmt die Messgeometrie nicht mehr mit dem optischen Eindruck überein. Diese Abbildung begründet die Anwendung der 3 Normgeometrien. [6]

1.8 Schichtdickenmessung

Das Messprinzip der Schichtdickenbestimmung hängt vom Grundmetall der Oberfläche ab. Bei nicht-leitenden Schichten (NFe) auf nicht-ferromagnetischen Grundmaterial (NFe) wie z.B. Aluminium, wird die Wirbelstrom-Messmethode angewendet. Das Prinzip der Wirbelstrommessung beruht auf der elektromagnetischen Induktion. Ein hochfrequenter Wechselstrom führt in einer Spule zu einem Magnetfeld, das seine Richtung entsprechend dem angelegten Wechselstrom ändert. Die dadurch entstehenden Wirbelströme wirken dann auf das Magnetfeld der Spule zurück. Die Schichtdicke ist der Abstand zwischen Sonde und Untergrund. Die Größe der rückwirkenden Wirbelströme ist abhängig von diesem Abstand und ermöglicht die Schichtdickenbestimmung.[7]



Abbildung 3: Gezeigt wird ein Schichtdickenmessgerät im Einsatz bei der Messung der Lackdicke eines Autos. Dieses Gerät wurde auch zur Messung der Eloxal beschichteten Aluminiumrahmen verwendet. [7]

UV-Strahlung ist eine Form elektromagnetischer Strahlung. Ihr Wellenspektrum befindet sich außerhalb des für den Menschen sichtbaren Bereich des Lichts und weist Wellenlängen zwischen 10 und 400 nm auf.

UV Licht wird natürlich von der Sonne erzeugt, kann aber auch künstlich von UV-Lampen erzeugt werden. Die Auswirkung der natürlichen UV-Strahlung auf die Reinigung mit deionisiertem Wasser wird im Versuch mittels einer UV Röhre mit einer Wellenlänge von 254 nm simuliert.

[8]

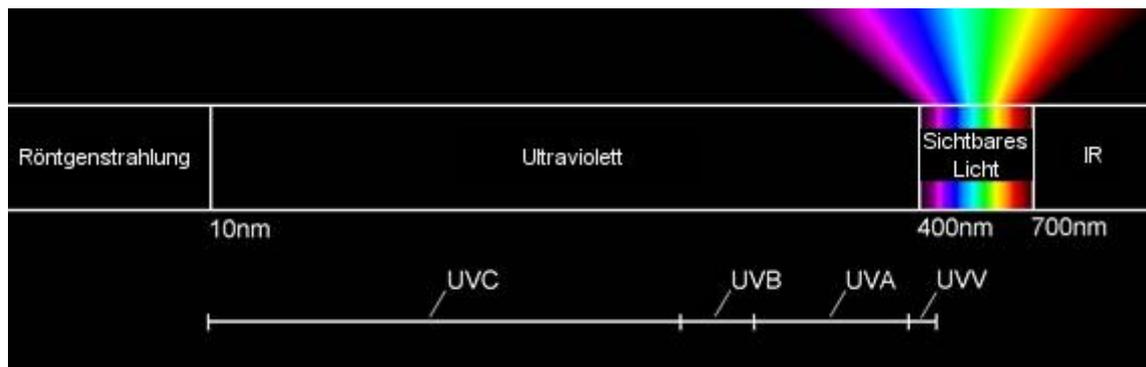


Abbildung 4: Beschreibt die Wellenlänge von UV-Strahlung Strahlungen. Sie ist kürzer als die von sichtbarem Licht und länger als die der Röntgenstrahlung. UV-Licht wird unterteilt in UVV, UVA, UVB, und UVC Licht. Der Unterschied besteht in der Wellenlänge welche bei UV-Licht zwischen 10 und 400nm liegt. [8]

2 Material und Methoden

2.1 PV-Module

2 Solarmodule polykristallin aleo S_16

Modulnummer *2411027362* und *2411027379*

Leistungsklasse 175-180W [9]

2.2 Reinigungsgerät/Ionenaustauscher

Reinigungsgerät mit Stangensystem der Firma Aqua Qlean; Typ A1 [10]

Das verwendete Mischbettharz, mit welchem direkt vor Ort das deionisierte Wasser erzeugt wird, befindet sich in einer zum Gerät gehörenden Flasche, welche mit gewöhnlichem Leitungswasser beschickt wird. Beim Durchlaufen der Flasche erfolgt die Deionisation des Wassers. Die anteilmäßige Zusammensetzung des Harzes in Bezug auf Anionen- und Kationenaustauschern hängt vom Regenerierprozess ab, der bei der Regenerierung des Harzes angewandt wurde. Ähnliche Abläufe bei den einzelnen Regenerierstationen vorausgesetzt, kann davon ausgegangen werden, dass es sich um Mischungsverhältnisse handelt, die dem in der branchenüblichen Durchschnitt entsprechen.

2.3 Weitere Hilfsmittel

4 Glühbirnen (150W/230V), Typ T 948 (Fa. Osram)

UV-Lampe: Universal-UV-Lampe, Typ 29200 (Fa. Camag), bestückt mit UV-C-Röhre T-8.C (254 nm, 8 W, 288 mm) (Fa. Vilber Lourmat)

2.4 Messgeräte

Digitalmikroskop mit Kamera: VHX-100, Objektiv VH-Z100 (Fa. Keyence)

Schichtdickenmessgerät byko-test MPOR (Fa. BYK-Gardner)

Glanzmessgerät micro-TRI-gloss (Fa. BYK-Gardner)

2.5 Aufbau des Versuchs

Für die Datenerhebung wurden auf den zwei Modulen acht Messpunkte mit unterschiedlichen Einflussfaktoren definiert.

	Aluminium- rahmen	Glas- oberfläche	150 W Glühbirne	UV- Licht	waagrechte Aufstellung	Aufstellung 45° Winkel
Messpunkt 1	x				x	
Messpunkt 2		x			x	
Messpunkt 3	x		x	x	x	
Messpunkt 4		x	x	x	x	
Messpunkt 5	x					x
Messpunkt 6		x				x
Messpunkt 7	x		x	x		x
Messpunkt 8		x	x	x		x

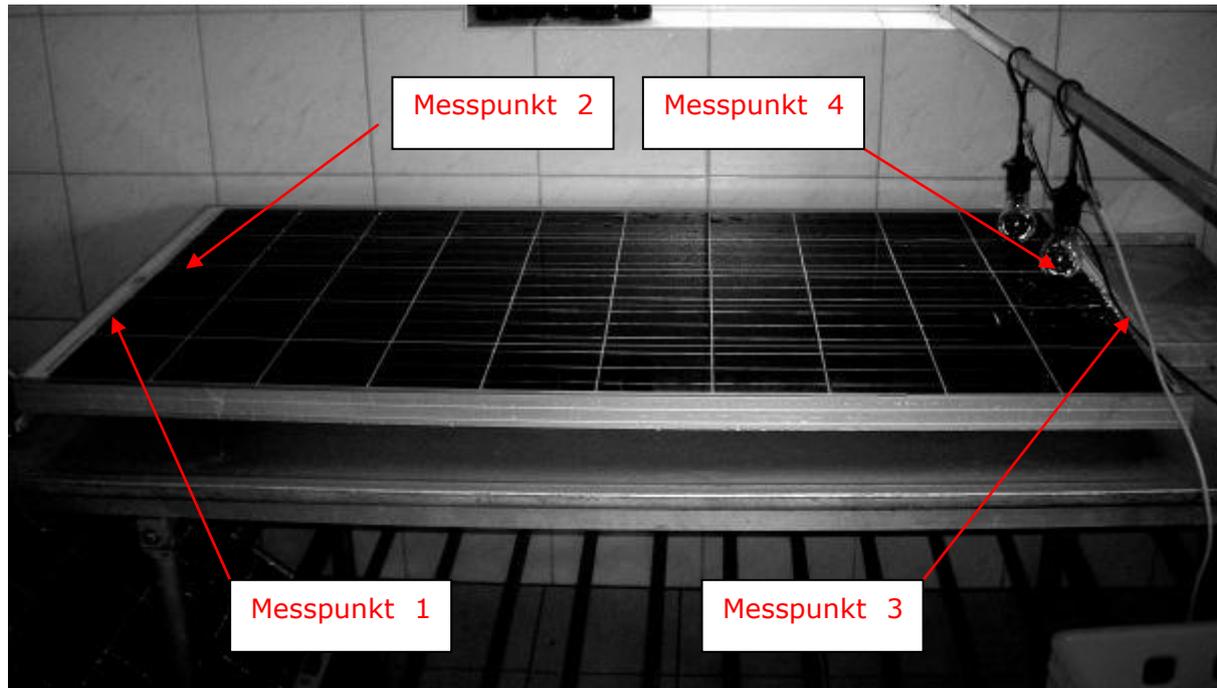


Abbildung 5: Gezeigt sind die Messpunkte, welche auf dem waagrechten Modul *2411027362* definiert wurden. Auf der rechten Bildseite sind zwei der vier Glühbirnen installiert. An dieser Stelle wurde auch die UV-Lampe angebracht.

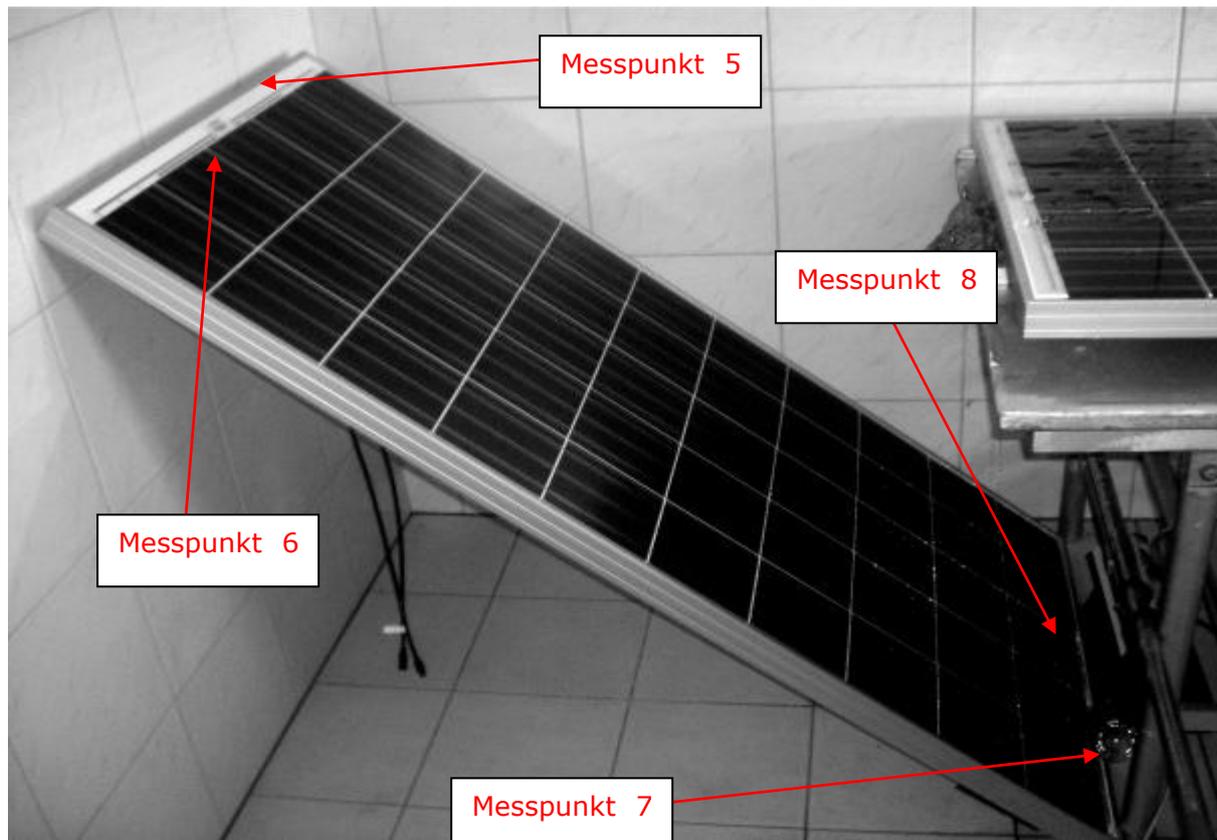


Abbildung 6: Gezeigt sind die Messpunkte, welche auf dem Modul *2411027379* angebracht wurden. In der rechten unteren Bildecke sind zwei Glühbirnen und die UV-Lampe installiert.

2.6 Allgemeiner Versuchsaufbau und Festlegung der Messpunkte

Ein PV-Modul wurde waagrecht, das andere bei ca. 45° aufgestellt. Über einen Zeitraum von 45 Tagen wurden die Module einmal täglich mit deionisiertem Wasser beaufschlagt. Beim waagrechten Modul wurde solange aufgetragen, bis das deionisierte Wasser auf dem Modul ganzflächig stand. Das in 45° geneigte Modul wurde ca. zwei Minuten lang gleichmäßig mit der Reinigungsbürste abgefahren.

Die Datenerhebung erfolgte zu drei Zeitpunkten. Der Zeitpunkt t_0 als Anfangszustand, der Zeitpunkt t_1 , der erste Veränderungen nach 22 Tagen erfassen sollte, und der Zeitpunkt t_2 , der Veränderungen nach weiteren 23 Tagen erfassen sollte. Die 150-W-Glühlampen wurden an den Messpunkten 3, 4, 7 und 8 installiert, um erhöhte Temperaturen durch Sonneneinstrahlung zu simulieren. Die UV-Lampe wurde 22 Tage an den Messpunkten 3 und 4 und 23 Tage an den Messpunkten 7 und 8 eingesetzt, um die UV-Licht-Einwirkung mehrerer Jahre in kurzer Zeit zu simulieren. Die Messpunkte 1; 3; 5; 7 befanden sich in der direkten Umgebung jeweils eines gezielt angebrachten Kratzers auf dem Modulrahmen. Die schützende Oxidschicht des Eloxals wurde durch diesen Kratzer zerstört und mögliche Veränderungen können dadurch noch deutlicher erkannt werden. Außerdem wurde dadurch sichergestellt, dass die Messungen mit dem Mikroskop immer an denselben Stellen stattfinden. Die Messpunkte 2, 4, 6 und 8 befinden sich auf der Glasoberfläche. Durch die Anordnung der Siliziumleiter auf den Platten waren die jeweiligen Messstellen identifizierbar und ermöglichten somit ebenfalls wiederholte Messungen an denselben Stellen.

Von jedem Messpunkt wurden je Messung zwei Mikroskopbilder unterschiedlicher Vergrößerung gemacht, um die möglichen Veränderungen zu visualisieren. Zusätzlich wurden von der direkten Umgebung jedes Mess-

punktes eine Glanzmessung (Mittelwert aus fünf Messungen) und eine Schichtdickenmessung (Mittelwert aus fünf Messungen) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Von jedem Messpunkt sind je Messung zwei mikroskopische Aufnahmen gezeigt, eine mit ca. 30-facher und eine mit ca. 100-facher Vergrößerung. Die Aufnahmen der Eloxal-Oberflächen sind mit einer Beschädigung des Eloxals (=Kratzer) versehen. Die umgebende Fläche ist unbeschadet. Der Kratzer dient zur Identifizierung der Messpunkte. Bei den Aufnahmen der Glasoberfläche sind teilweise schwarze Punkte und Schlieren zu erkennen, welche als Verunreinigungen zu deuten sind. Die Krater und blasenartigen Vertiefungen zeigen die Struktur des Glases, welche durch die mikroskopische Vergrößerung zu erkennen ist.

3.1 Mikroskopische Dokumentation

3.1.1 Ausgangszustand zum Zeitpunkt t_0

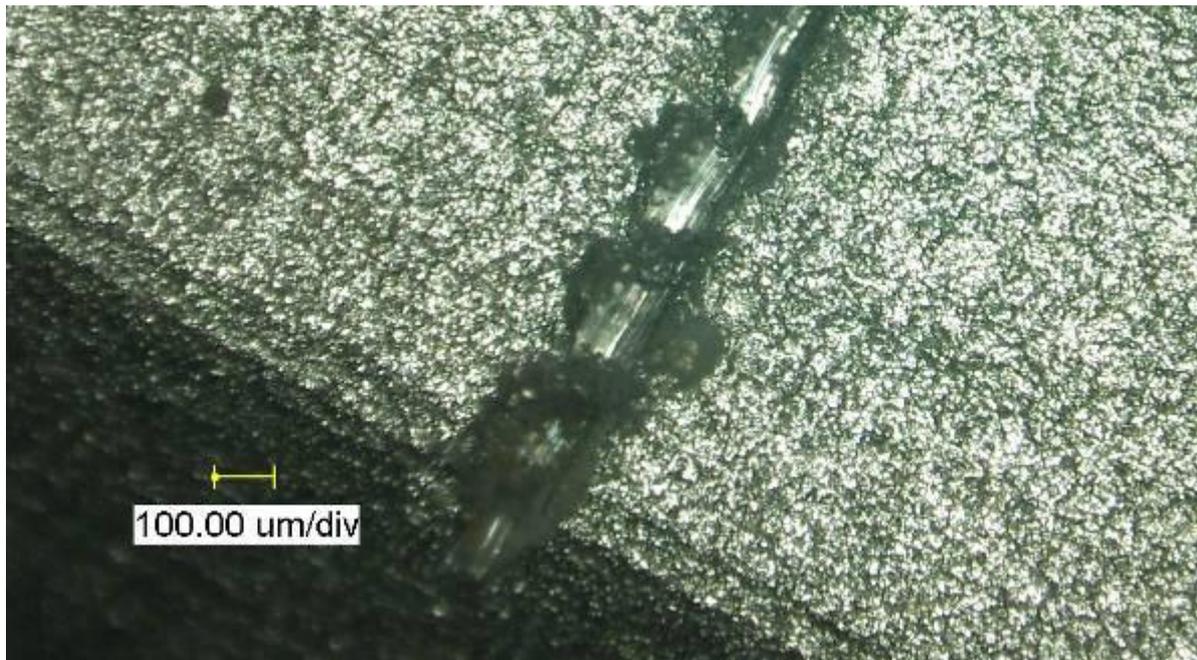


Abbildung 7: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . In der oberen Bildhälfte ist der zur Identifizierung des Messpunkts angebrachte Kratzer zu erkennen, die umgebende Fläche blieb unbeschadet. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 8: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 7. Vergrößerung ca. 100 x.

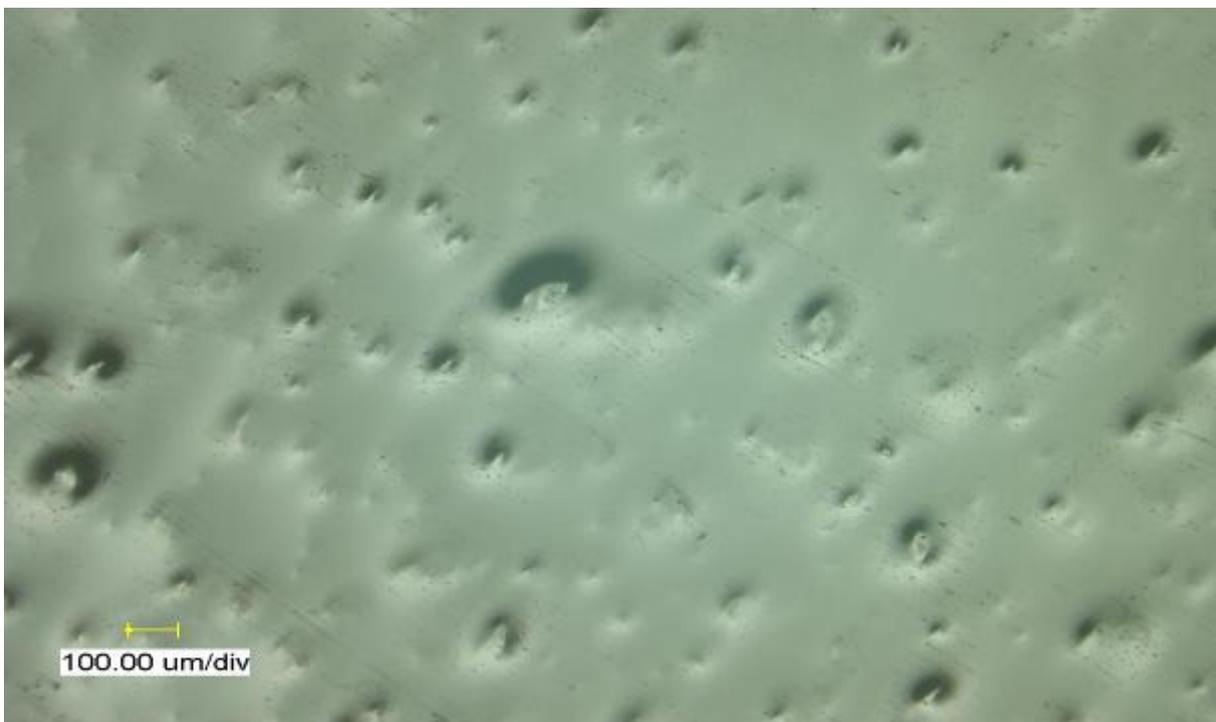


Abbildung 9: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist eine Aufnahme der unbeschädigten Glasoberfläche. Die erkennbaren Schlieren sind als Verunreinigungen zu deuten. Die Vertiefungen zeigen die Struktur des Glases. Vergrößerung ca. 30 x.

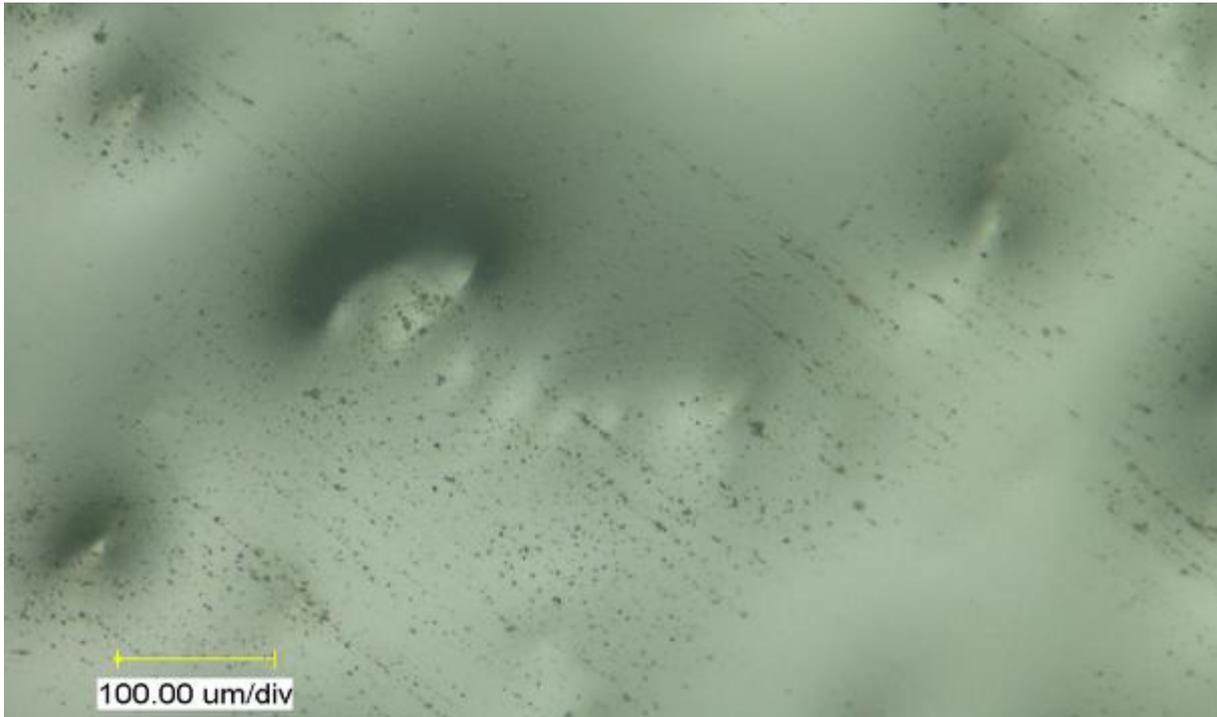


Abbildung 10: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 9. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 11: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . In der oberen Bildhälfte ist der zur Identifizierung des Messpunkts angebrachte Kratzer zu erkennen, die umgebende Fläche blieb unbeschadet. Vergrößerung ca. 30 x.

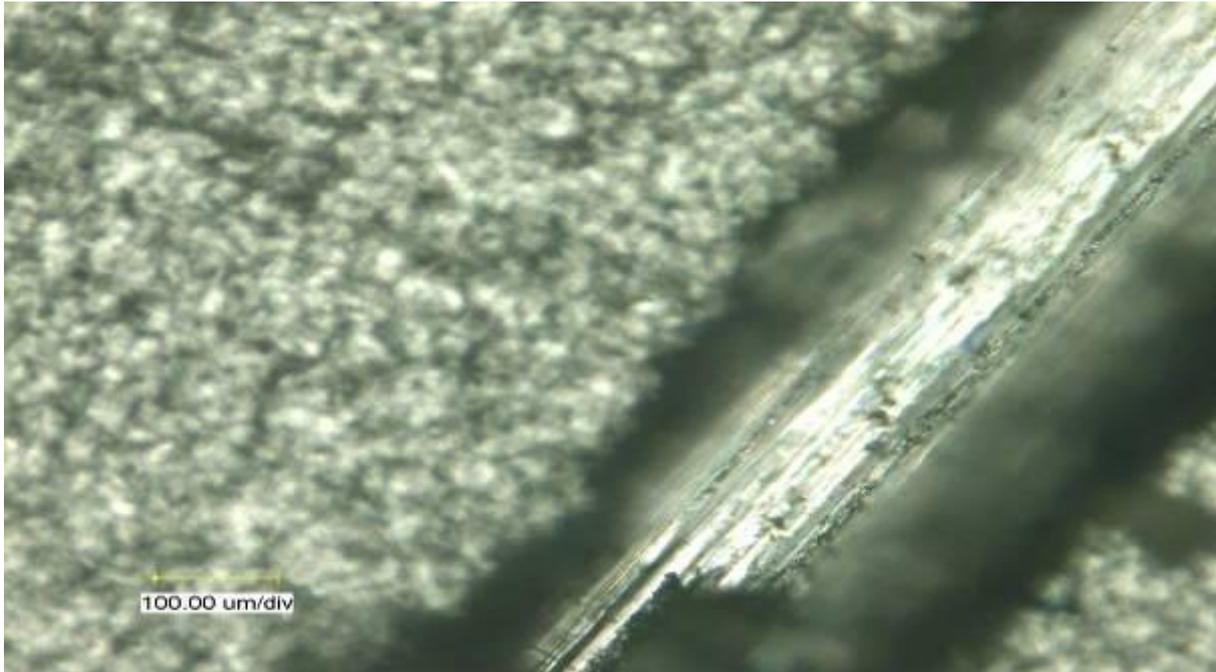


Abbildung 12: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 11. Vergrößerung 100 x.

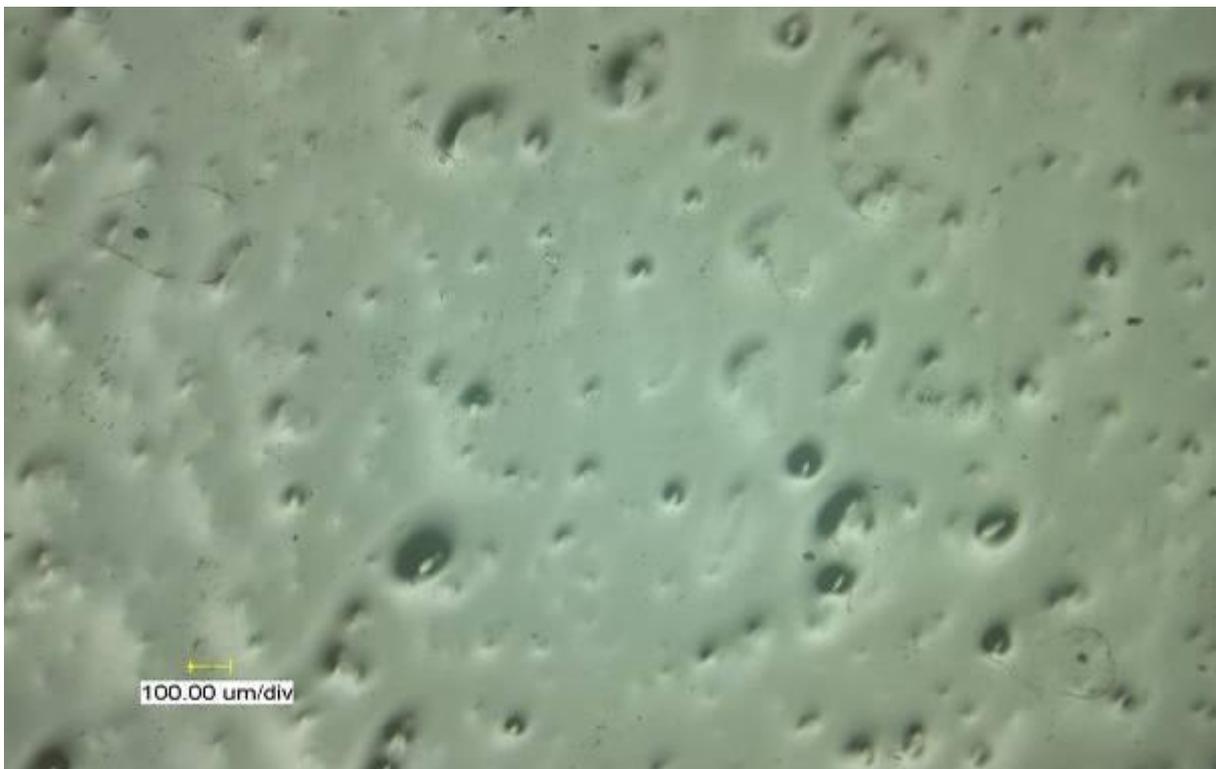


Abbildung 13: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist eine Aufnahme der unbeschädigten Glasoberfläche. Die erkennbaren Punkte sind als Verunreinigungen zu deuten. Die Vertiefungen zeigen sie Struktur des Glases. Vergrößerung ca. 30 x.

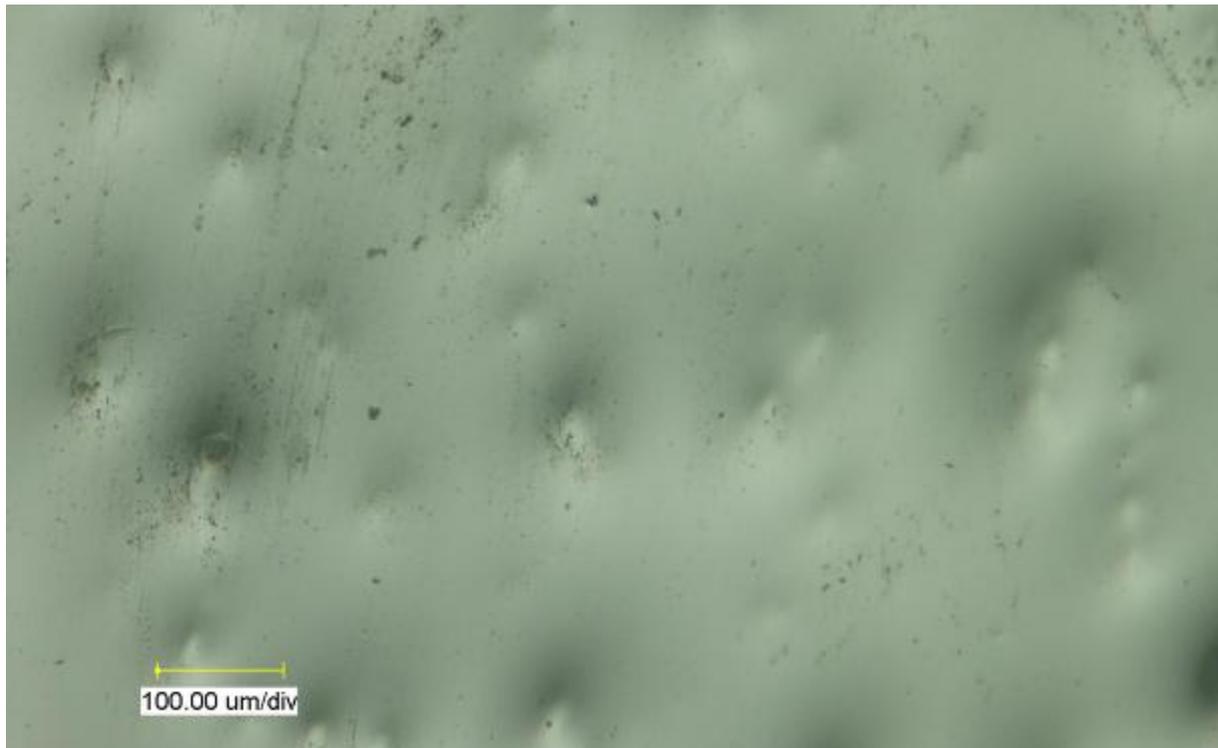


Abbildung 14: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 13. Vergrößerung 100 x.

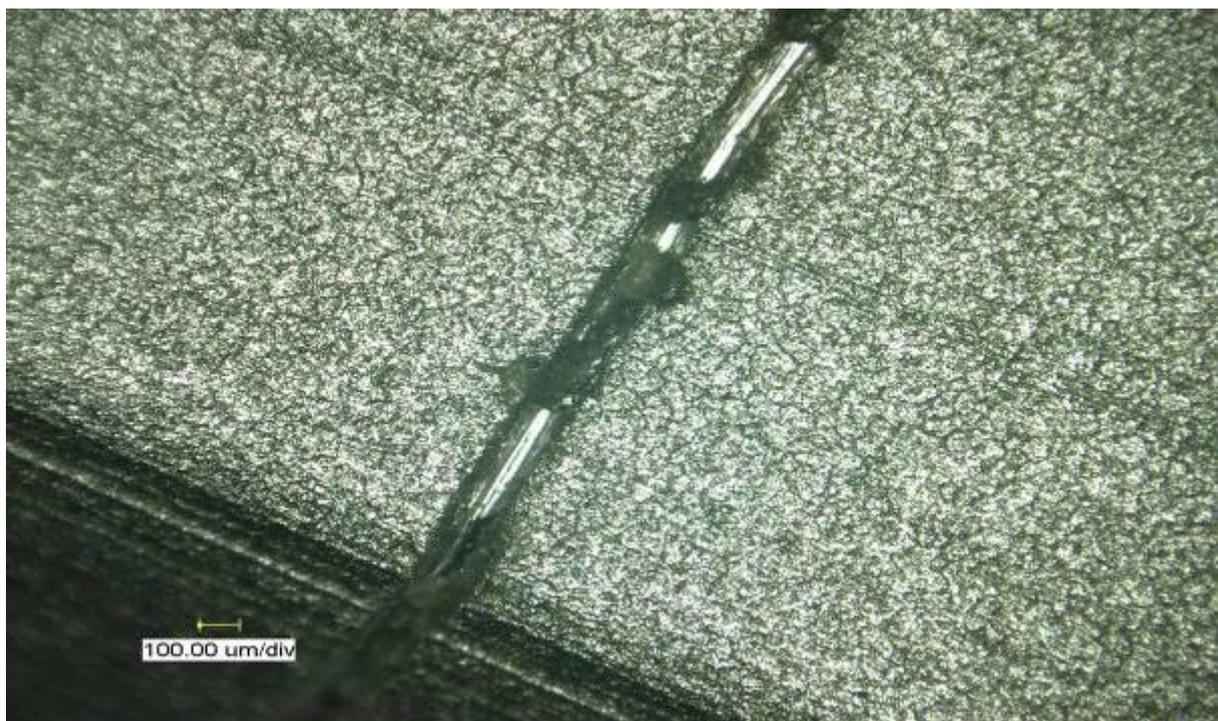


Abbildung 15: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . In der oberen Bildhälfte ist der zur Identifizierung des Messpunkts angebrachte Kratzer zu erkennen, die umgebende Fläche blieb unbeschadet. Vergrößerung ca. 30 x.

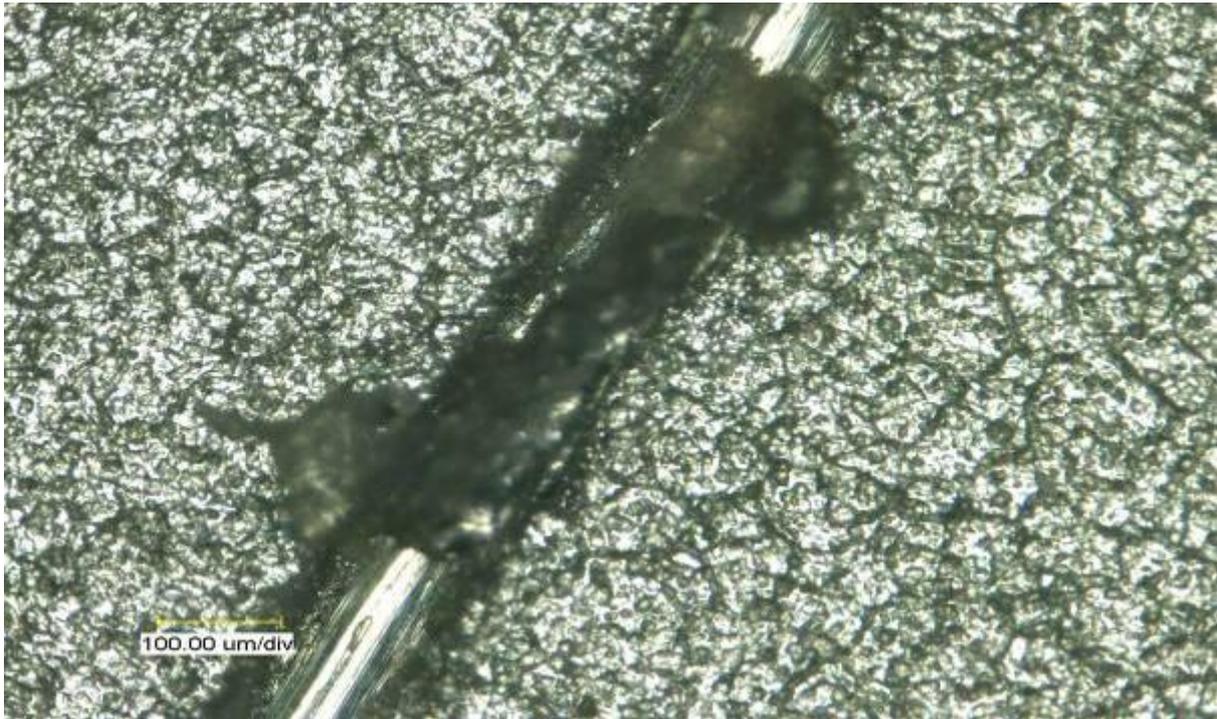


Abbildung 16: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 15. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 17: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist eine Aufnahme der unbeschädigten Glasoberfläche. Die schwarzen Punkte sind als Verunreinigungen zu deuten. Die Vertiefungen zeigen die Struktur des Glases. Vergrößerung ca. 30 x.

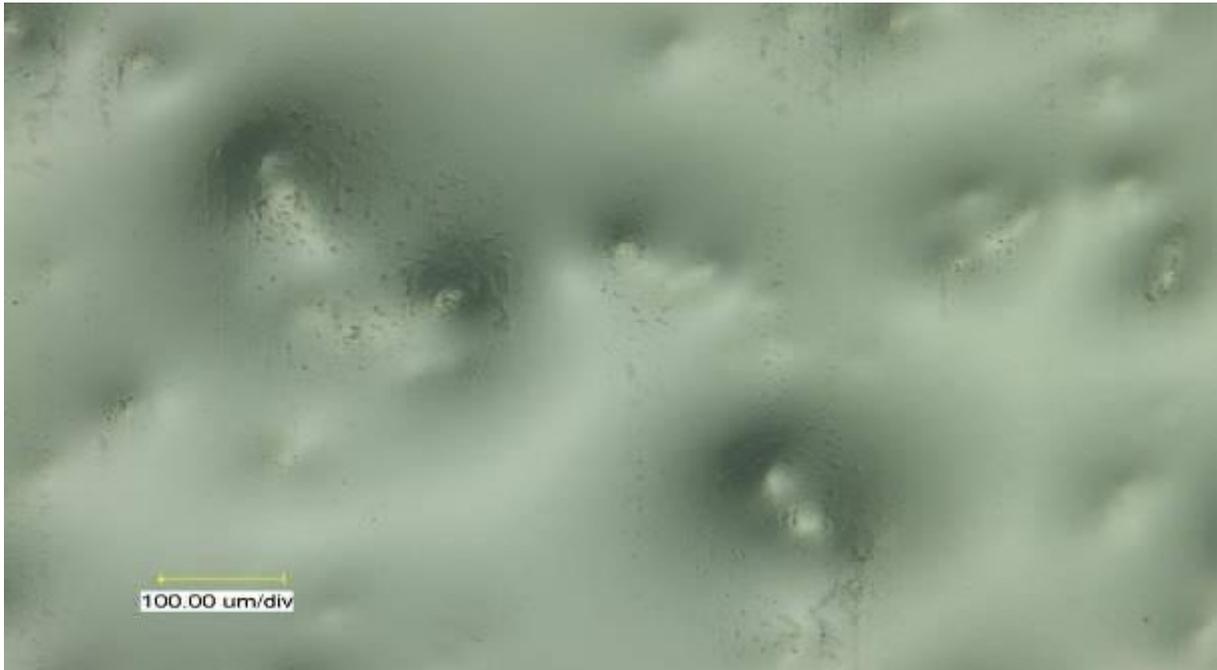


Abbildung 18: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 17. Vergrößerung ca. 100 x.

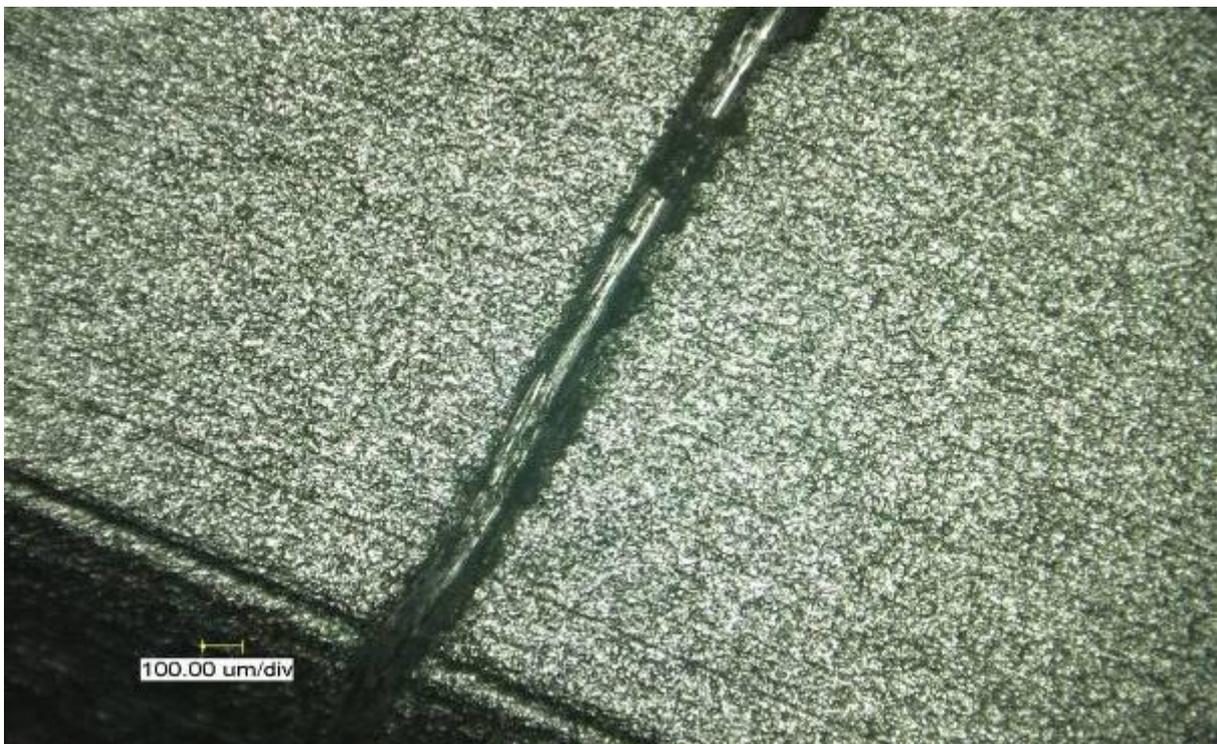


Abbildung 19: Messpunkt 7 (Eloxal); Zeitpunkt t_0 . In der oberen Bildhälfte ist der zur Identifizierung des Messpunkts angebrachte Kratzer zu erkennen, die umgebende Fläche blieb unbeschadet. Vergrößerung ca. 30 x.

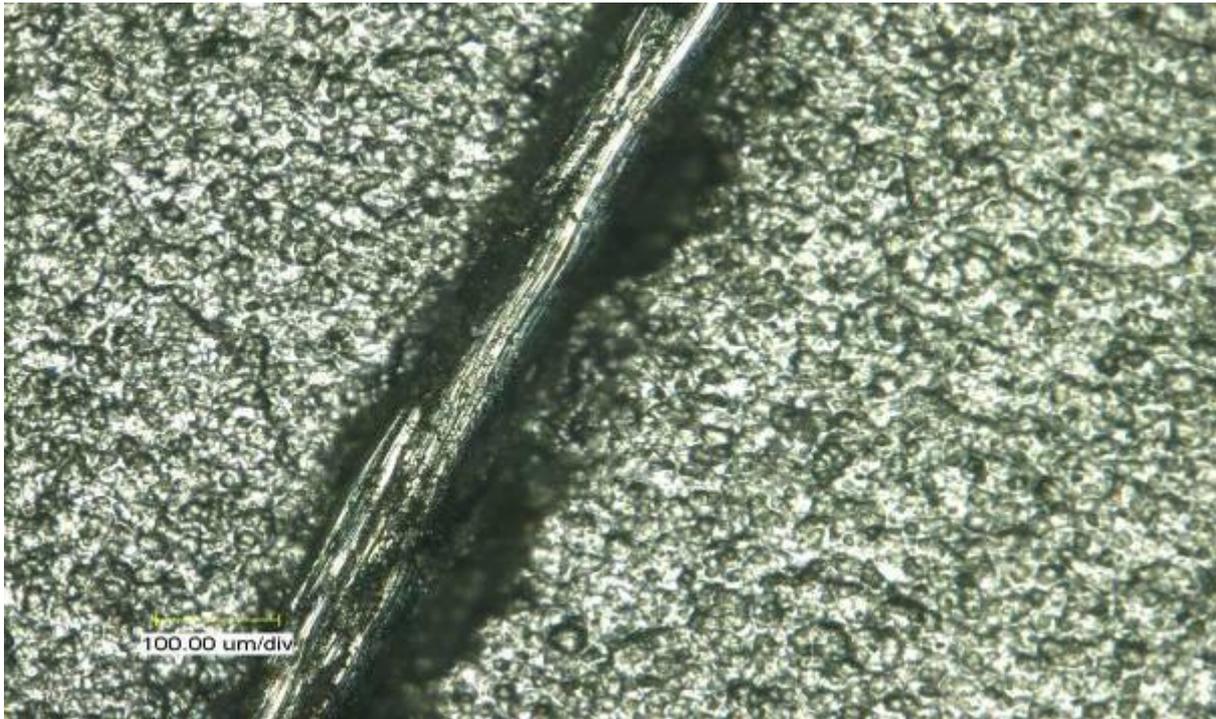


Abbildung 20: Messpunkt 7; Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist ein vergrößerter Ausschnitt aus Abb. 19. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 21: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist die unbeschädigte Glasoberfläche. Die Vertiefungen zeigen die Struktur des Glases. Vergrößerung ca. 30 x.

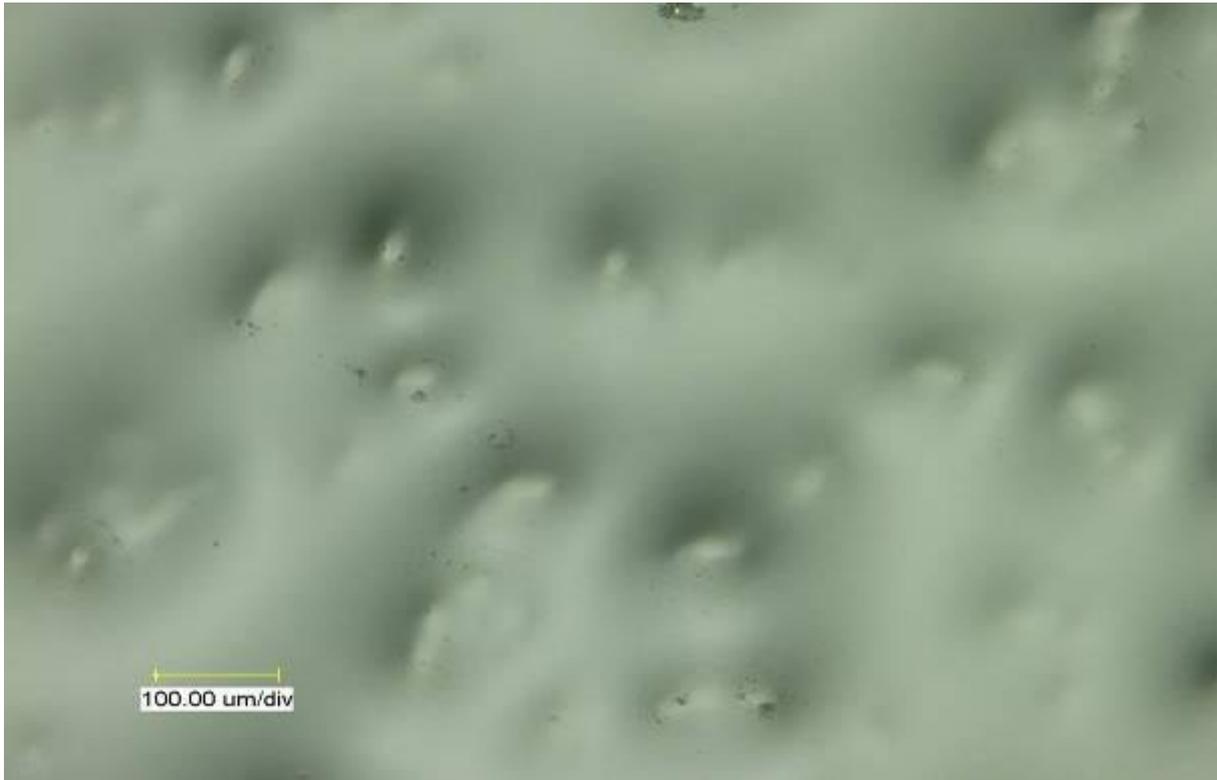


Abbildung 22: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_0 . Gezeigt ist eine Vergrößerung der Abb. 21. Vergrößerung ca. 100 x.

3.1.2 Mikroskopische Dokumentation nach 22 Reinigungen zum Zeitpunkt t_1

Die Aufnahmen zum Zeitpunkt t_1 sollen mögliche Veränderungen des Kratzers, der unbeschädigten Umgebung und der Glasoberfläche aufzeigen.

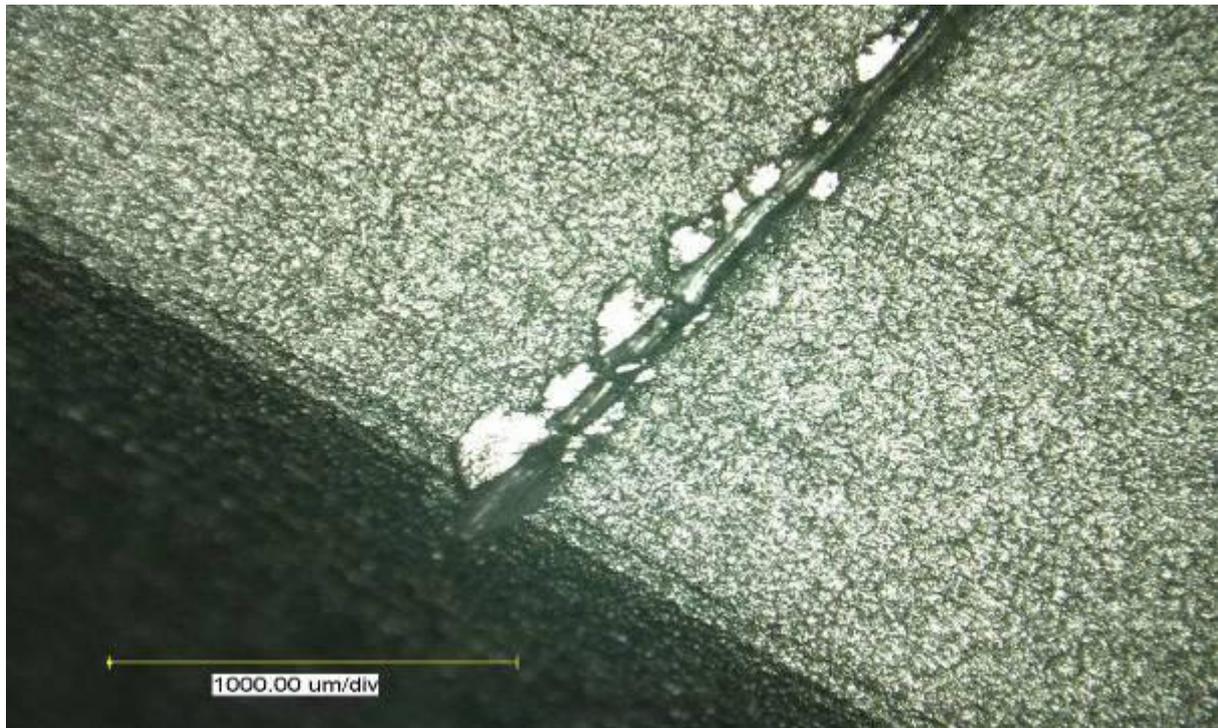


Abbildung 23: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

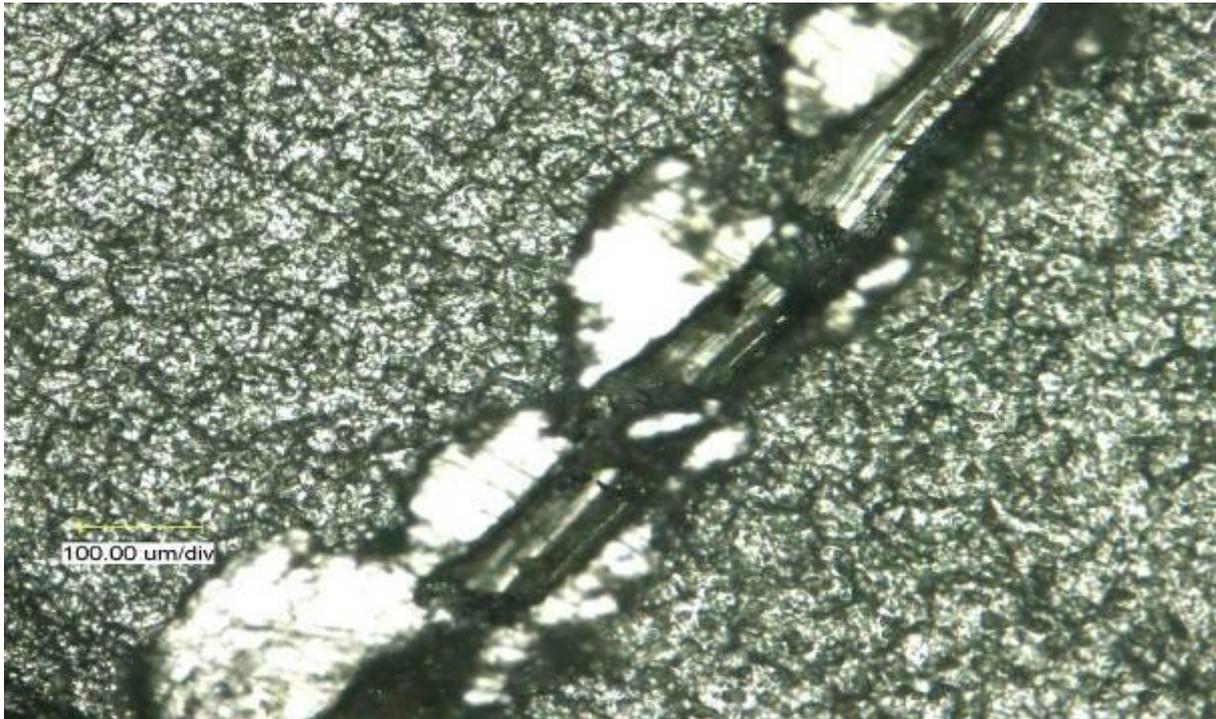


Abbildung 24: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 23 lässt keine Veränderungen am Kratzer und der Umgebung erkennen. Vergrößerung 100 x.



Abbildung 25: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 26: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 25 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

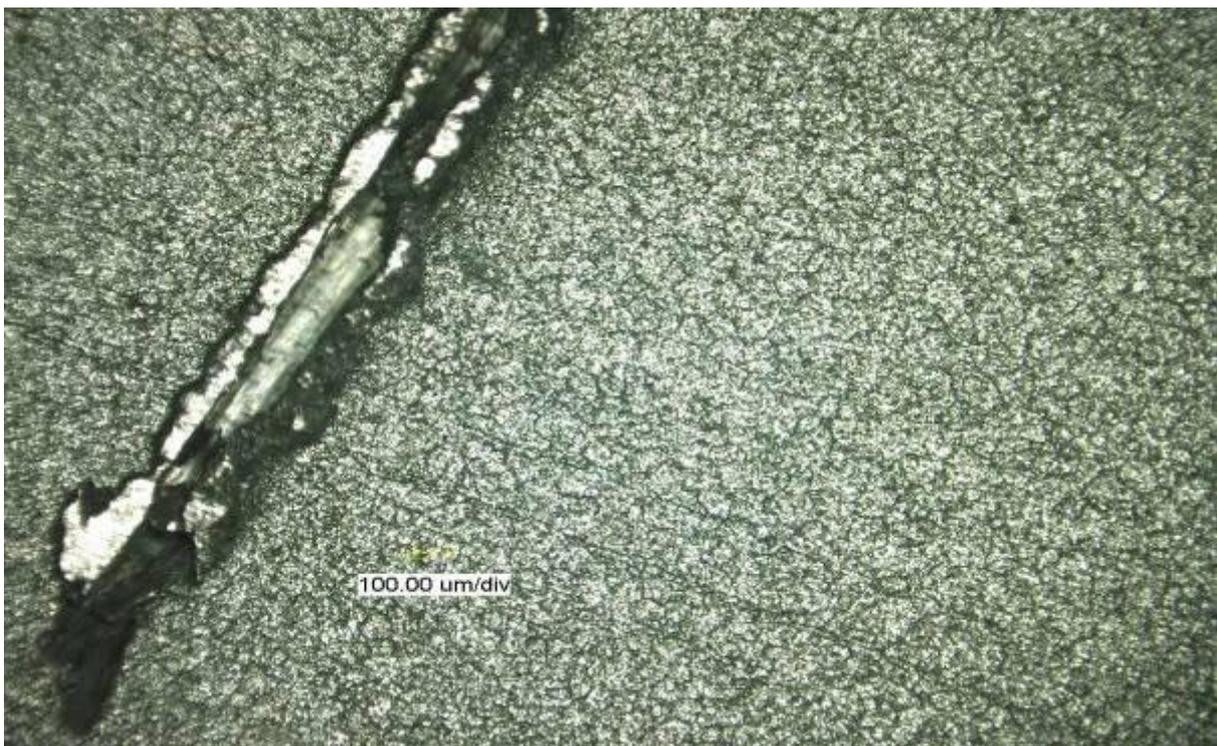


Abbildung 27: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Der Kratzer und die Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

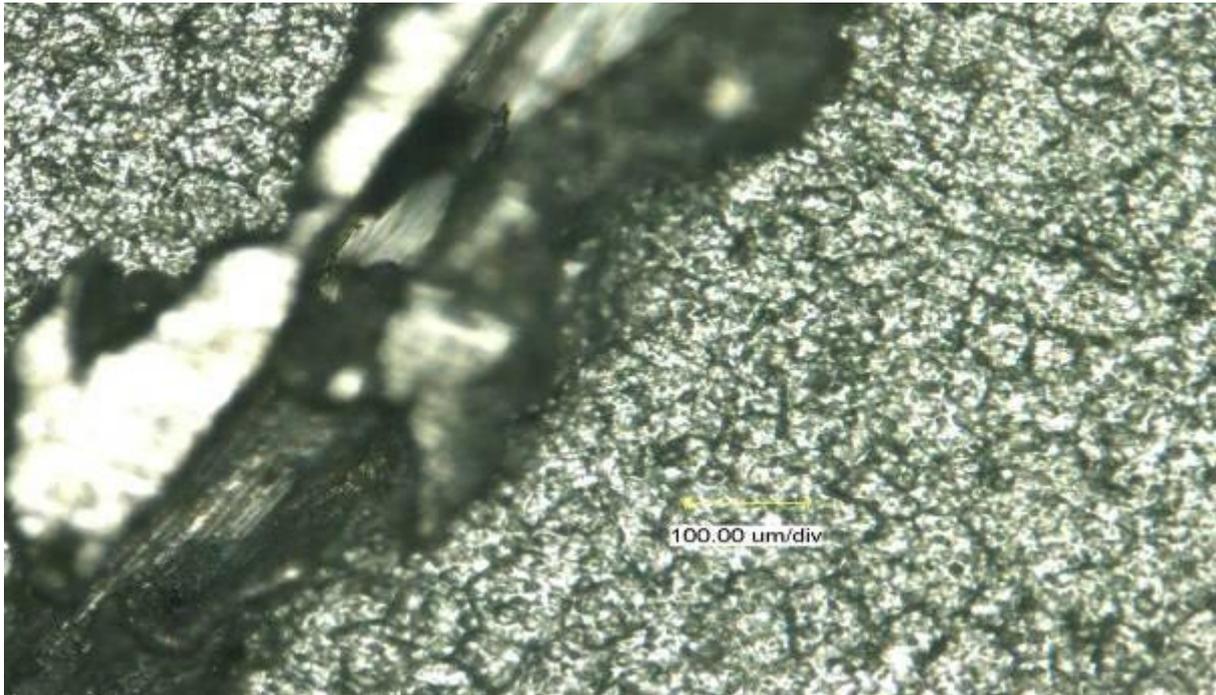


Abbildung 28: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 27 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

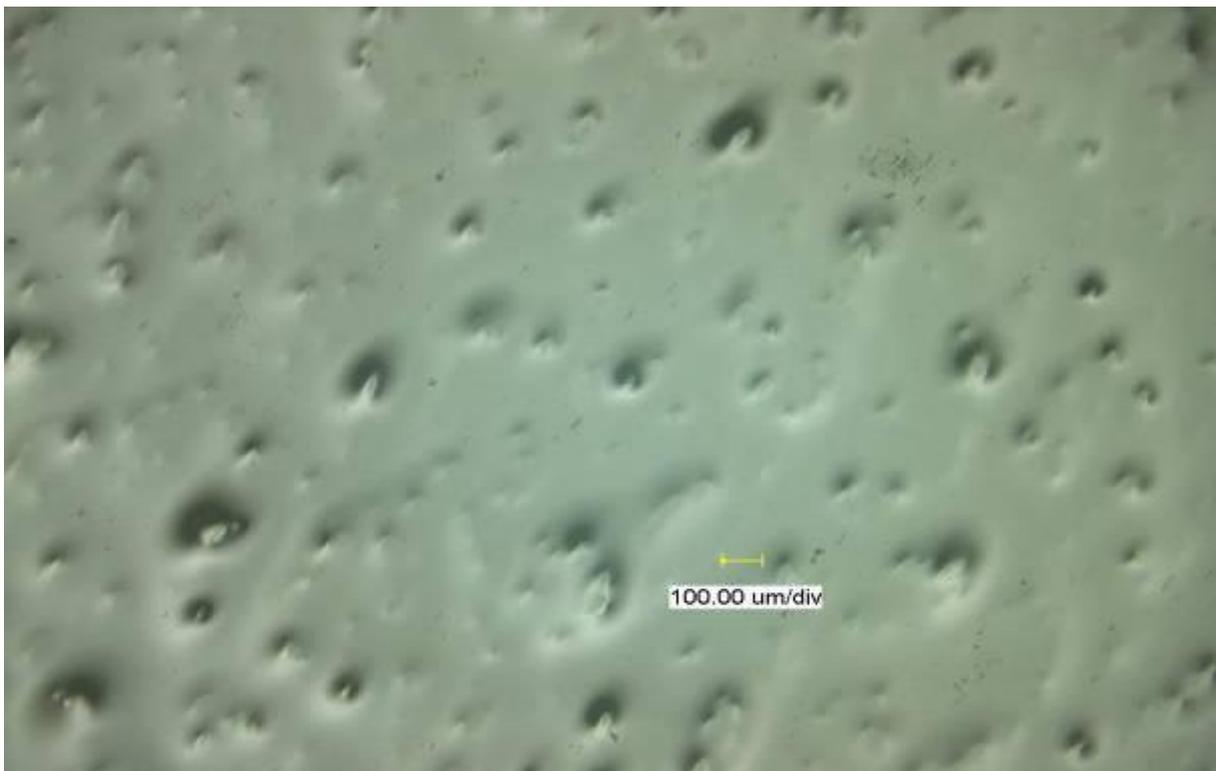


Abbildung 29: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Glasoberfläche weist keine Veränderung auf. Die Punkte sind als Verschmutzungen zu deuten. Vergrößerung ca. 100 x.

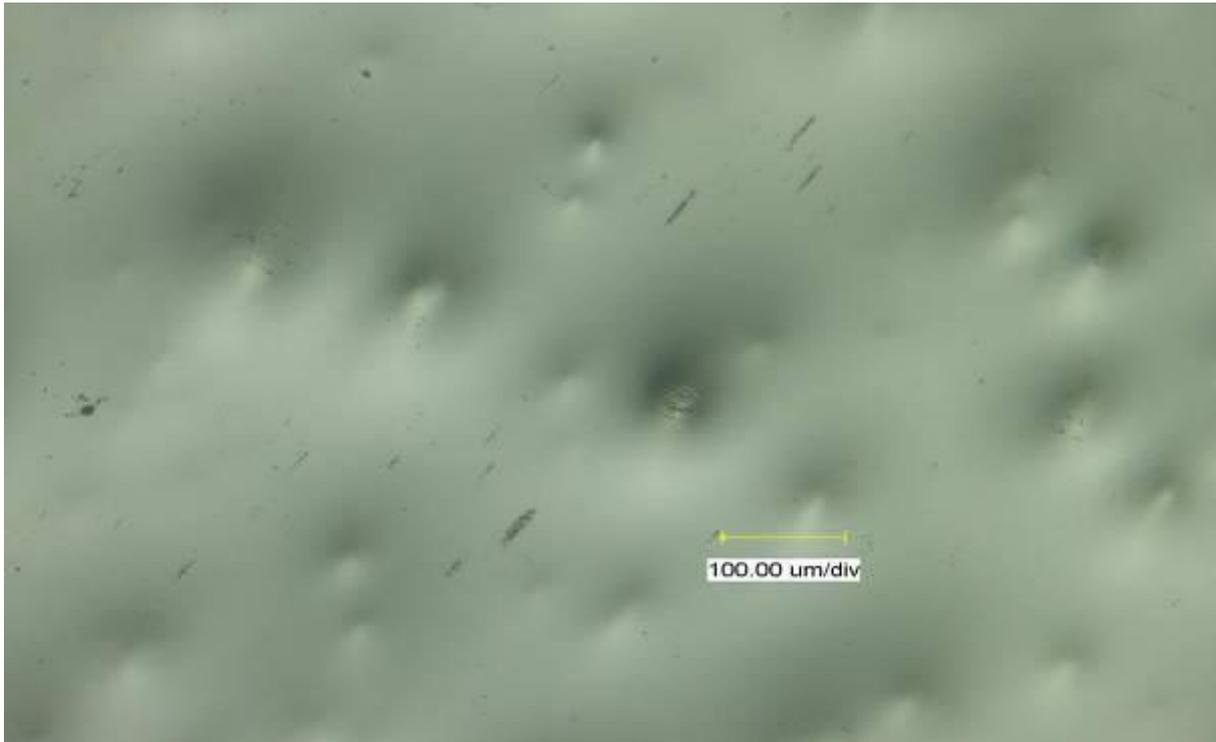


Abbildung 30: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 29 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

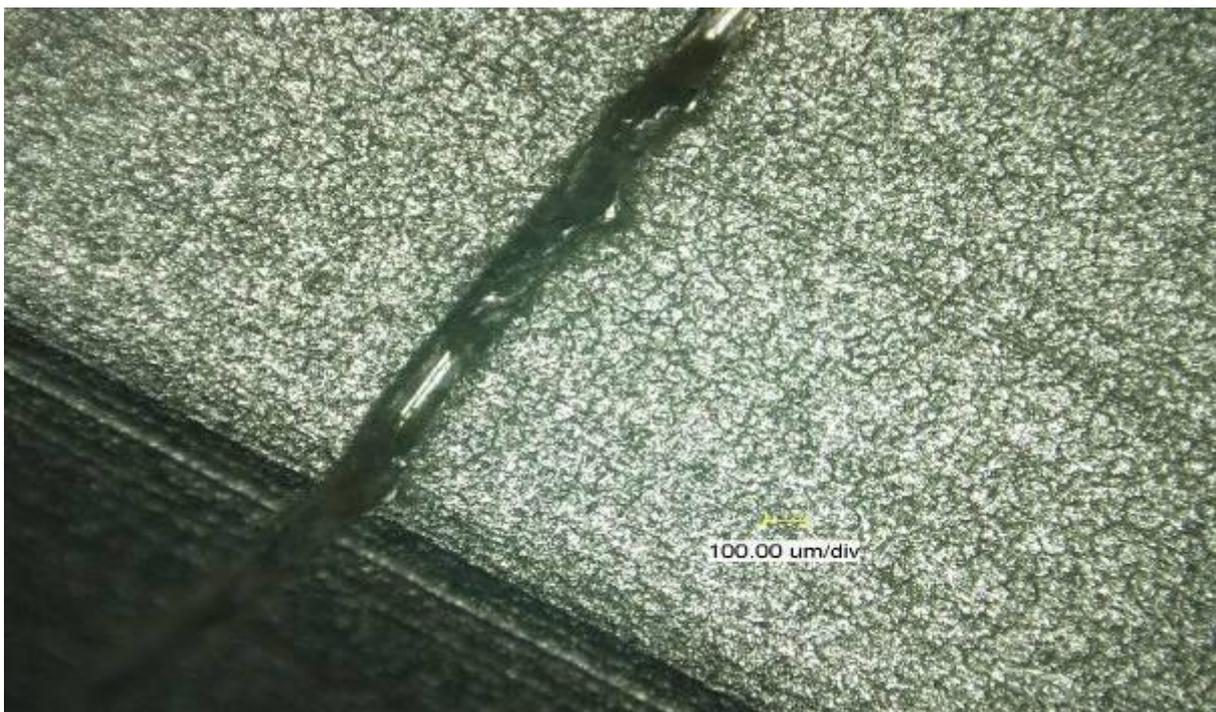


Abbildung 31: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderung auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 32: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 31. lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

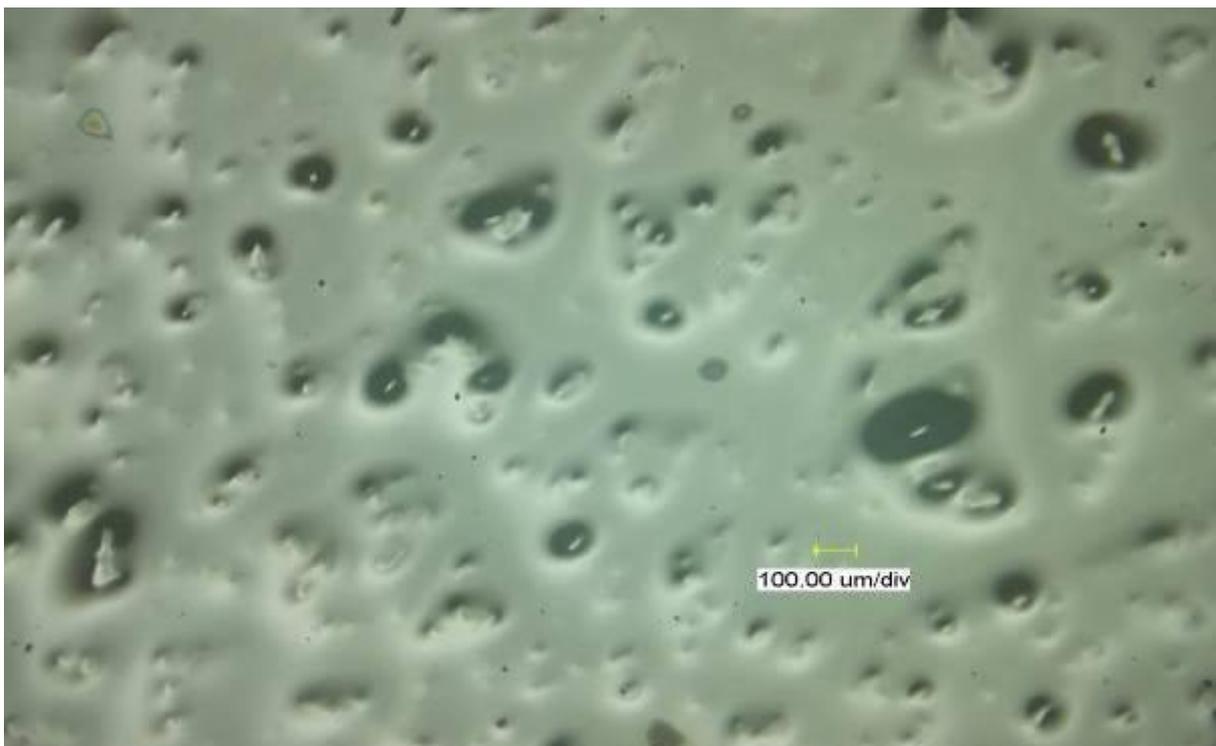


Abbildung 33: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Schwarze Punkte sind als Verschmutzungen zu deuten. Vergrößerung ca. 30 x.

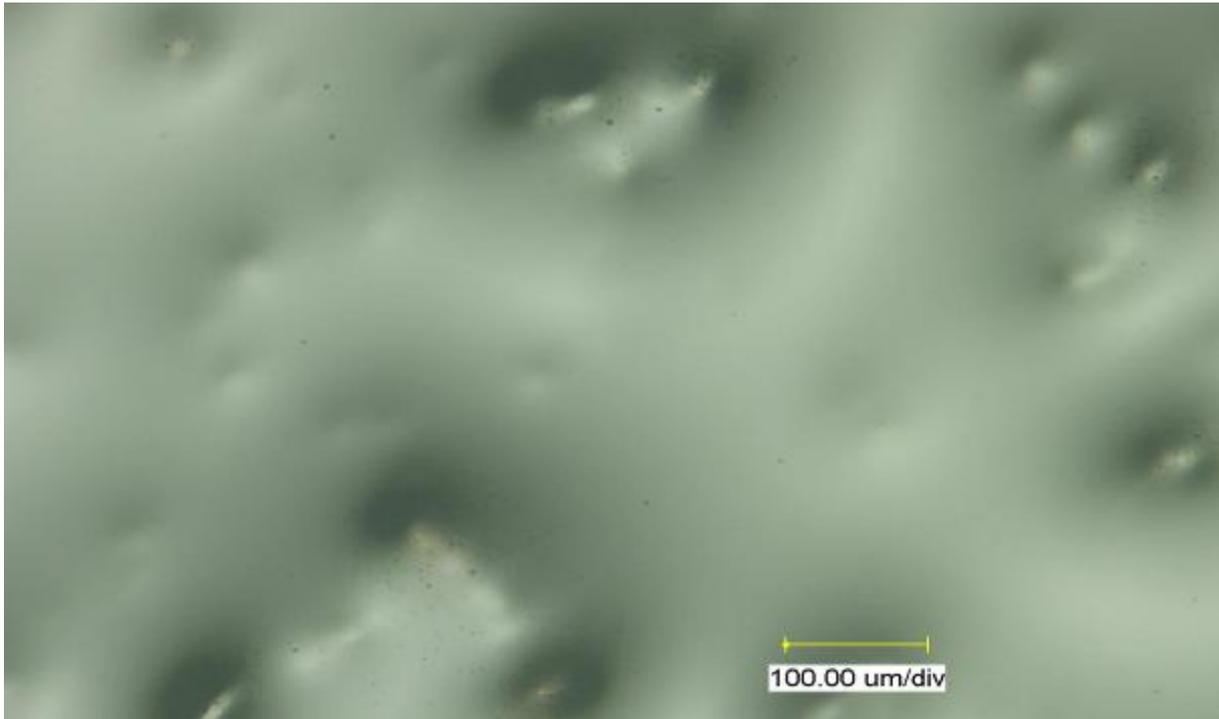


Abbildung 34: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 33 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

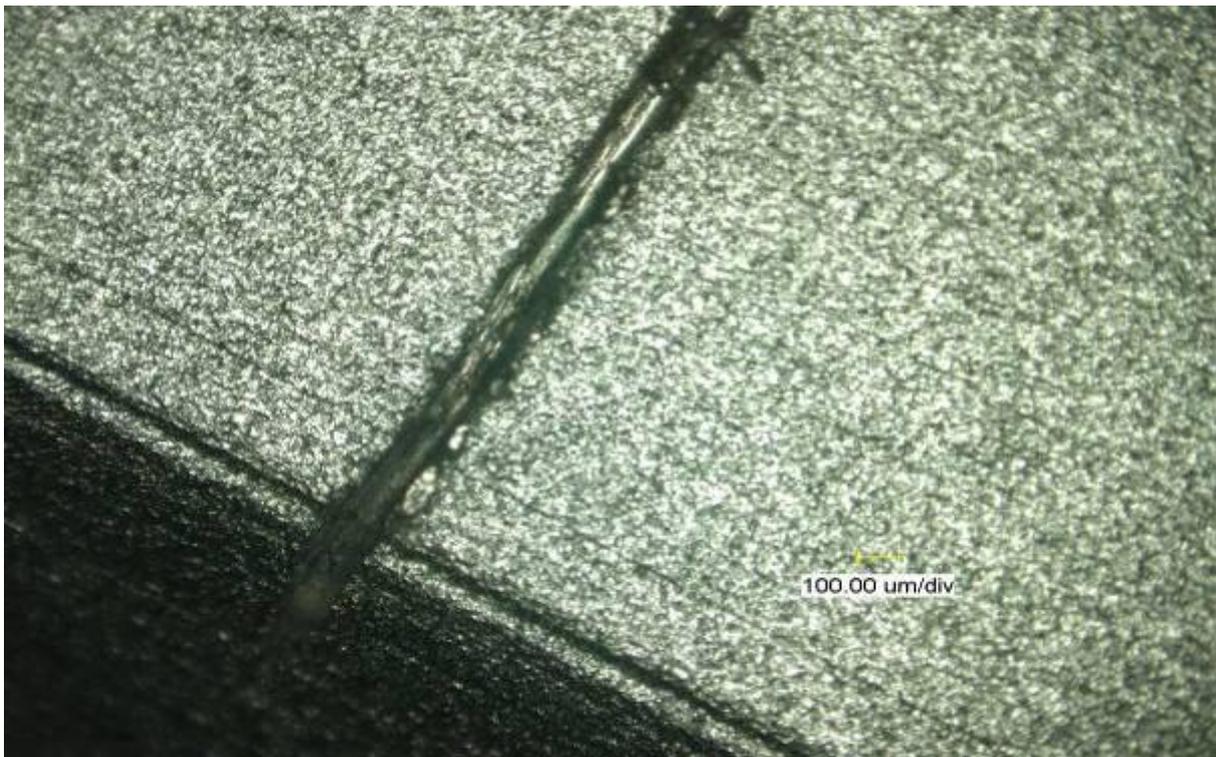


Abbildung 35: Messpunkt 7 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 36: Messpunkt 7 (Eloxal); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 35 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

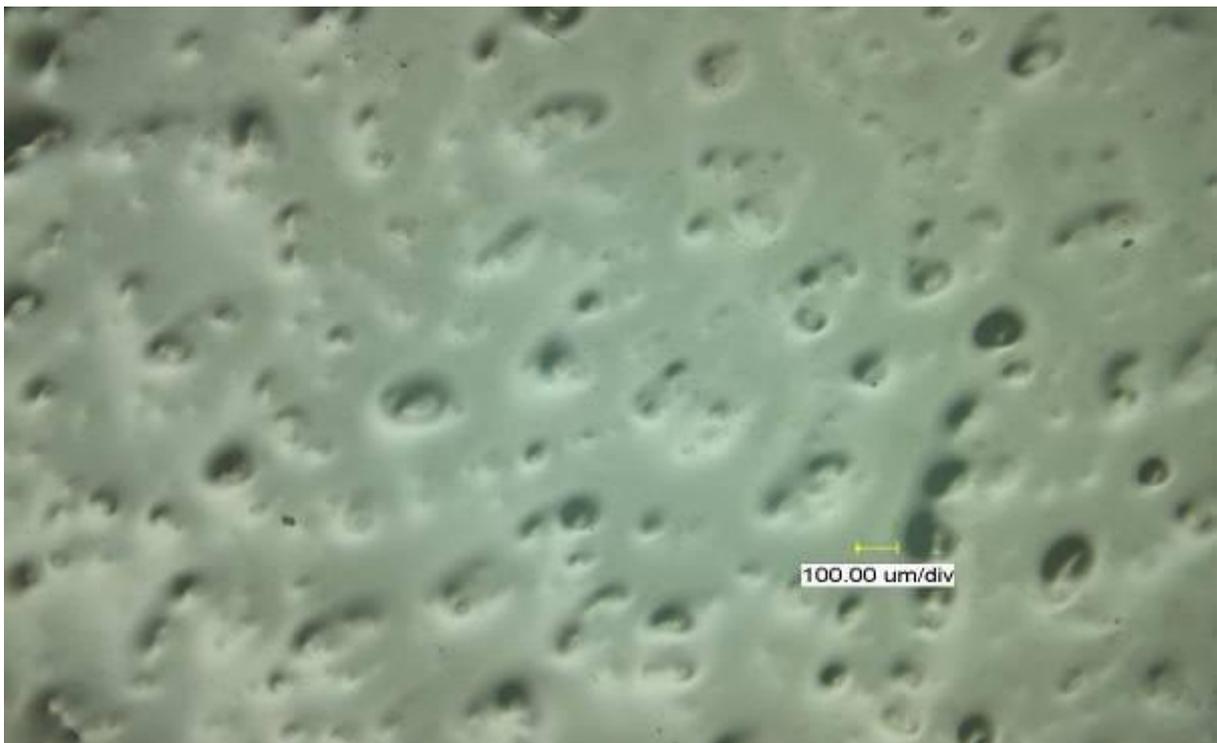


Abbildung 37: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

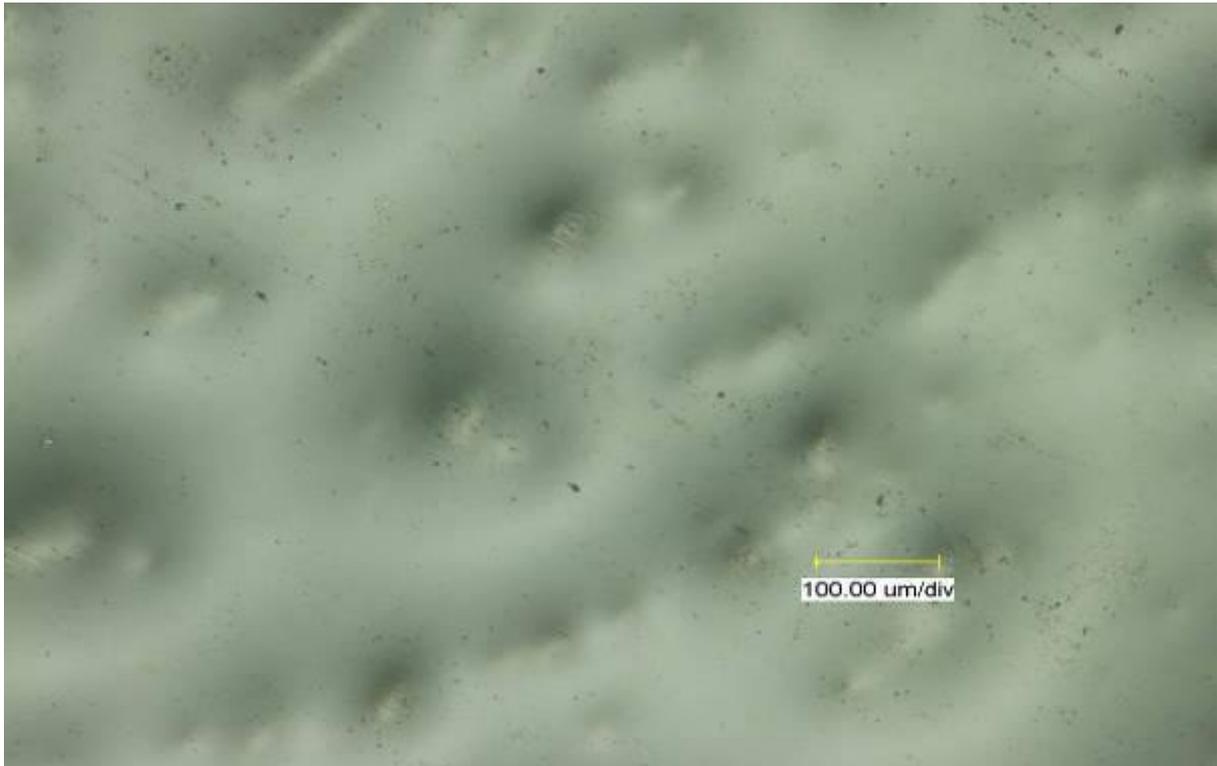


Abbildung 38: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_1 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 37 lässt keine Veränderungen erkennen. Die schwarzen Punkte sind als Verschmutzungen zu deuten. Vergrößerung 100 x.

3.1.3 Mikroskopische Dokumentation nach 45 Reinigungen zum Zeitpunkt t_2

Die Aufnahmen zum Zeitpunkt t_2 sollen mögliche Veränderungen des Kratzers, der unbeschädigten Umgebung und der Glasoberfläche aufzeigen.

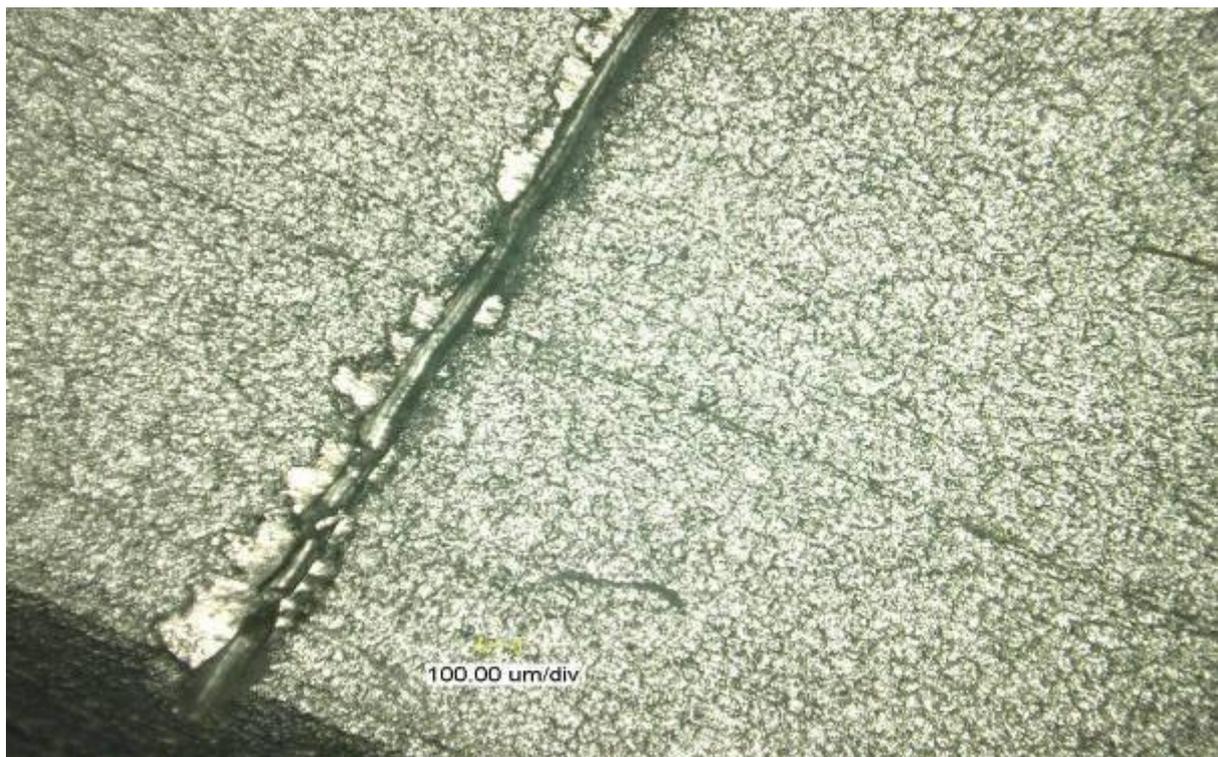


Abbildung 39: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

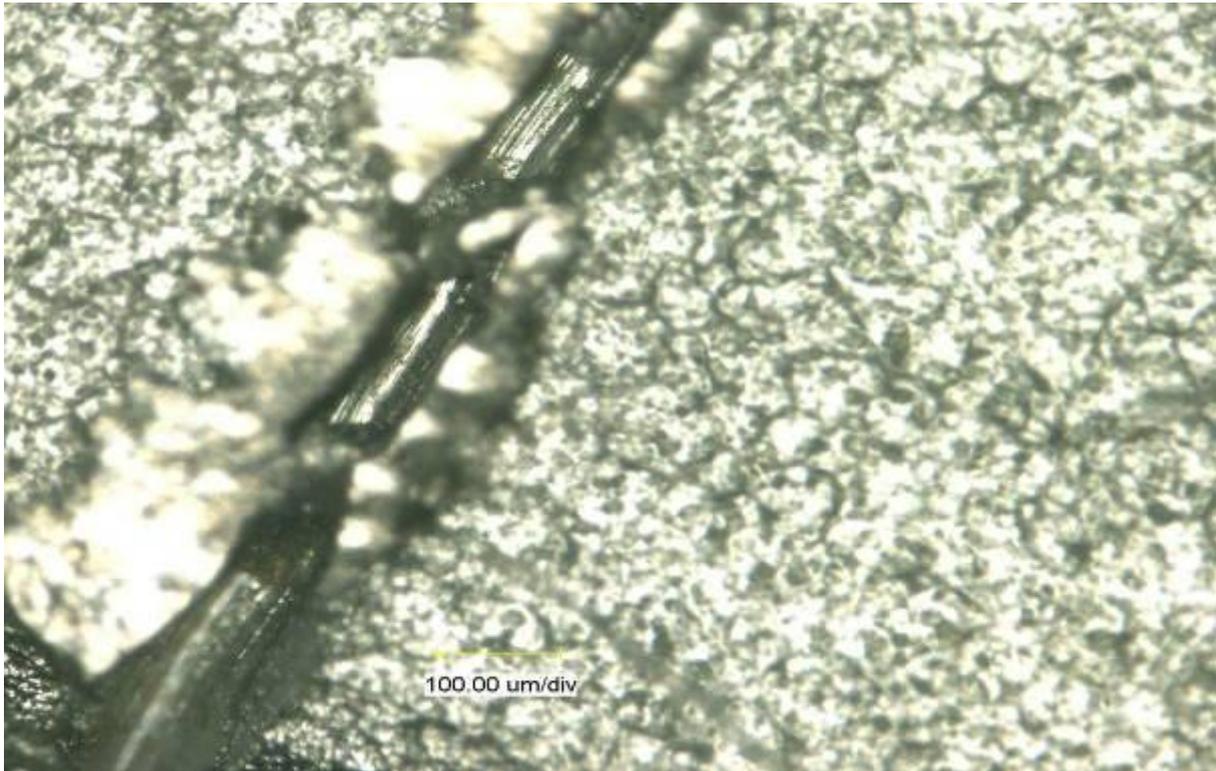


Abbildung 40: Messpunkt 1 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 39 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung 100 x.

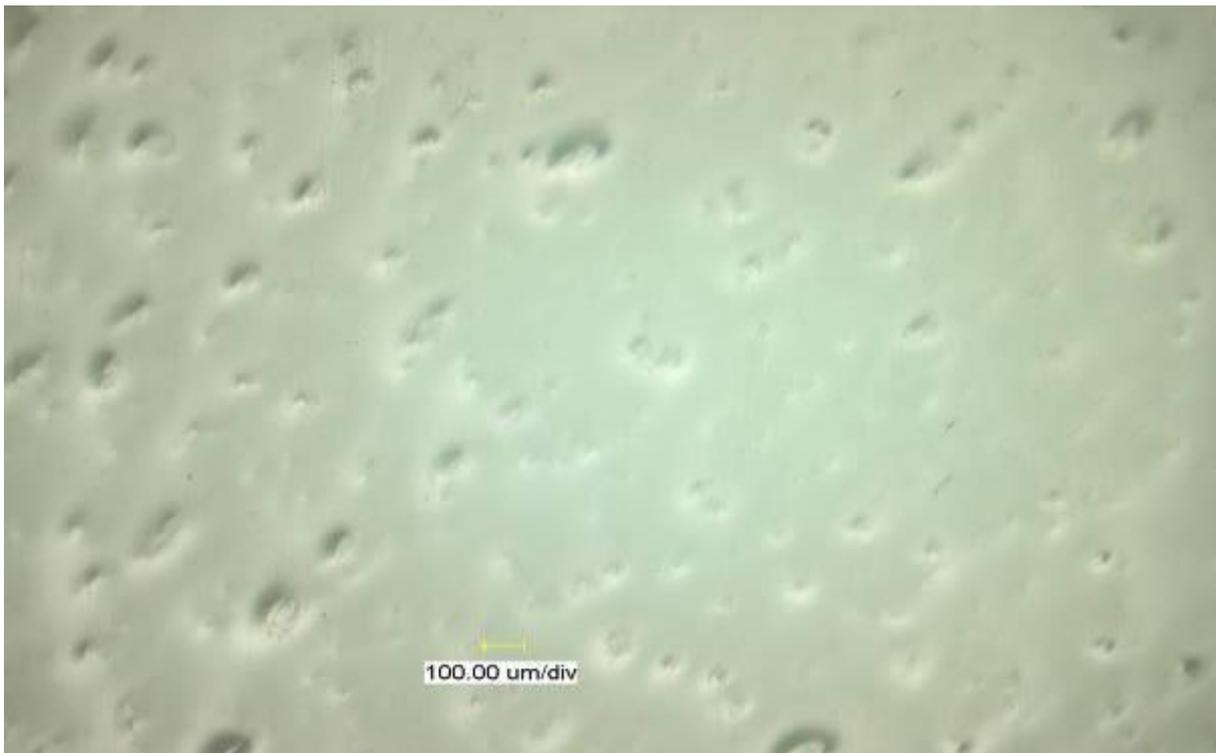


Abbildung 41: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die unbeschädigte Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 42: Messpunkt 2 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 41 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 43: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 44: Messpunkt 3 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 43 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

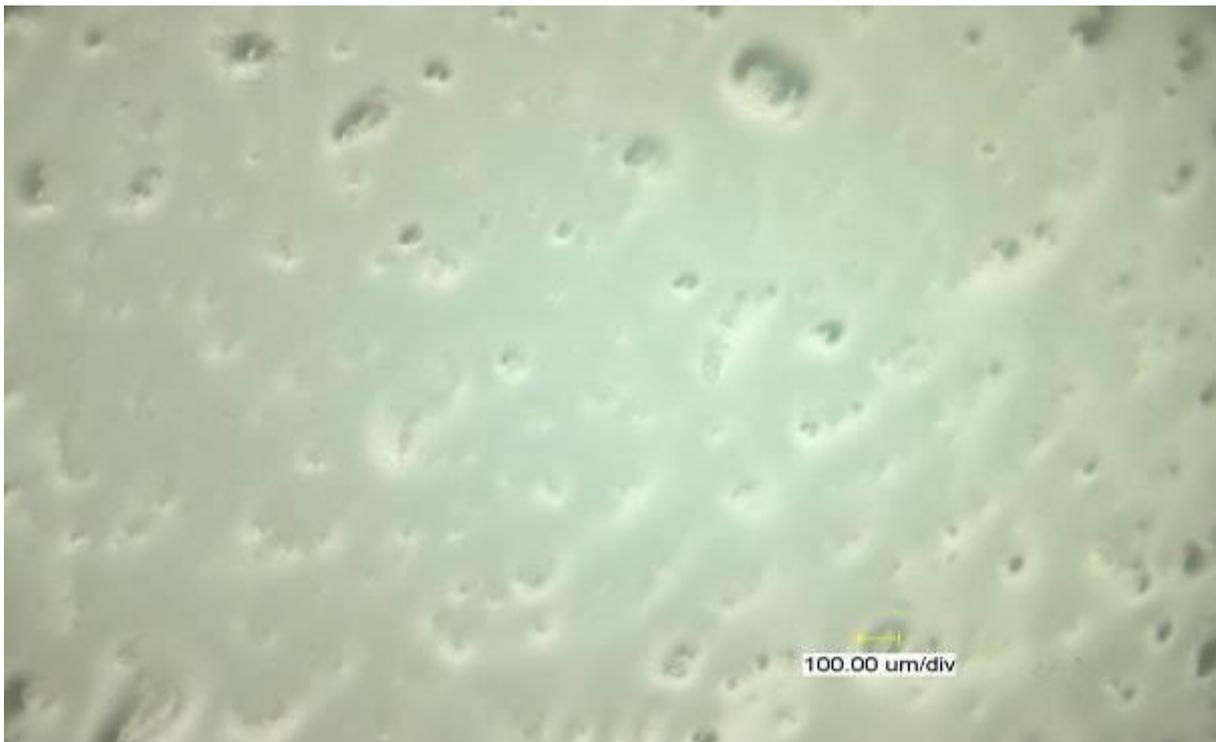


Abbildung 45: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die unbeschädigte Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

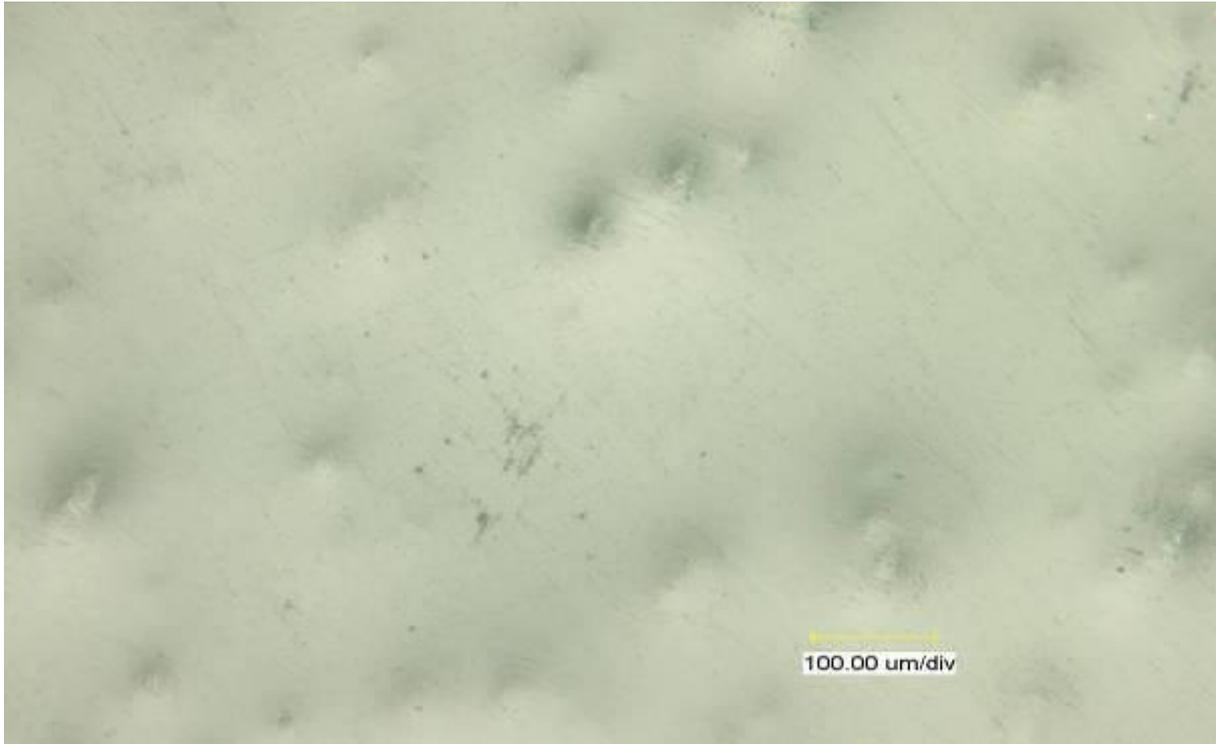


Abbildung 46: Messpunkt 4 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 45 lässt keine Veränderungen erkennen. Die Schlieren und Punkte sind als Verschmutzungen zu deuten. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 47: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Der Kratzer und die unbeschädigte Umgebung weisen keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 48: Messpunkt 5 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 47 lässt keine Veränderungen erkennen. Vergrößerung ca. 100 x.

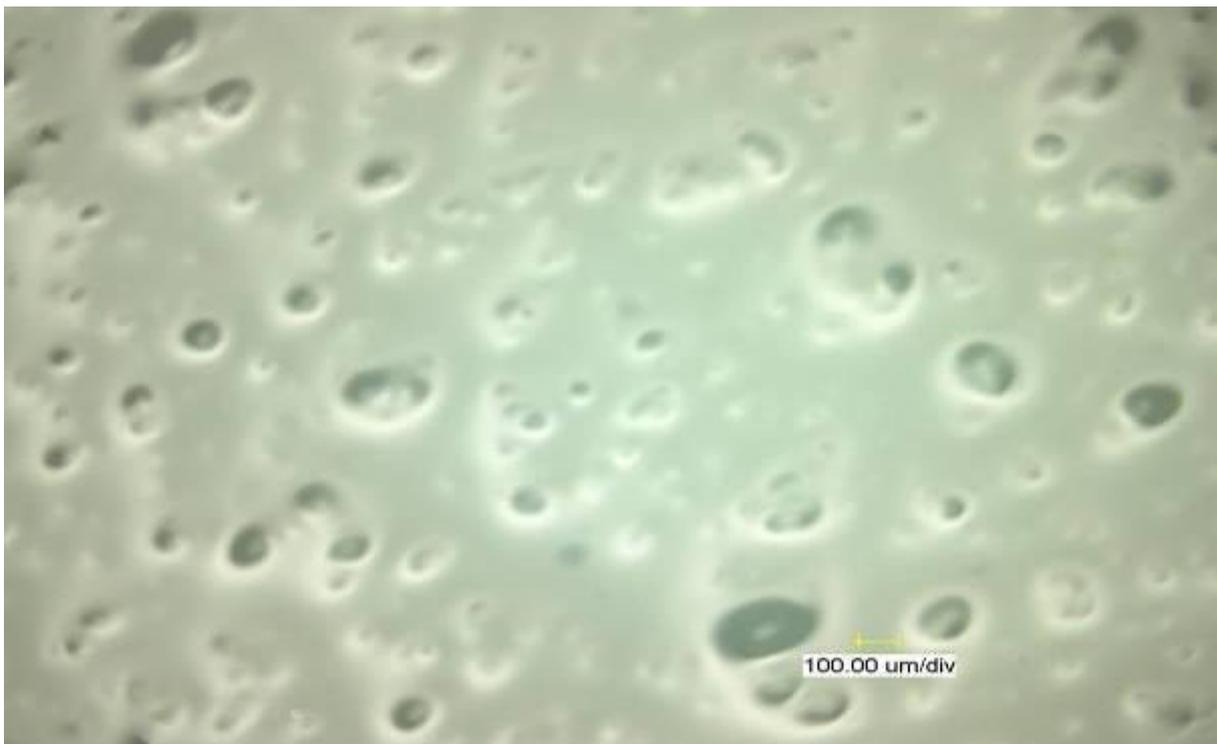


Abbildung 49: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die unbeschädigte Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.

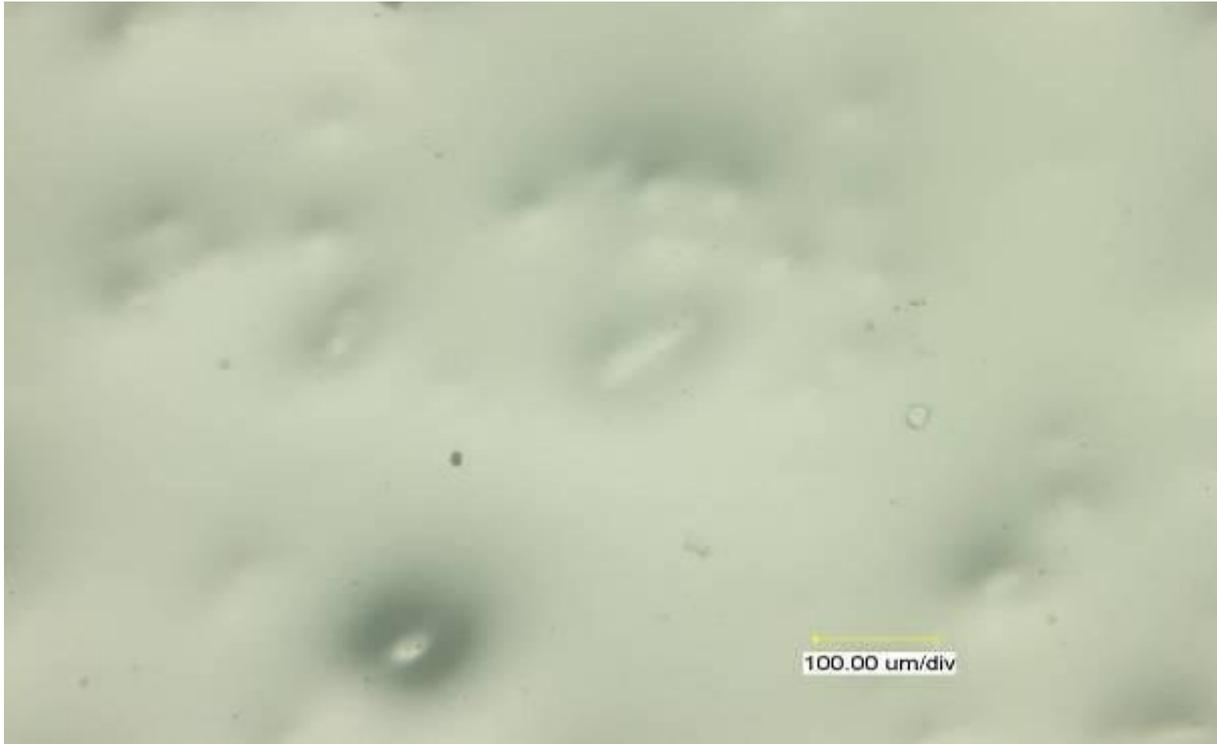


Abbildung 50: Messpunkt 6 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 49 lässt keine Veränderungen erkennen. Der schwarze Punkt in der Bildmitte ist als Verschmutzung zu deuten. Vergrößerung ca. 100 x.

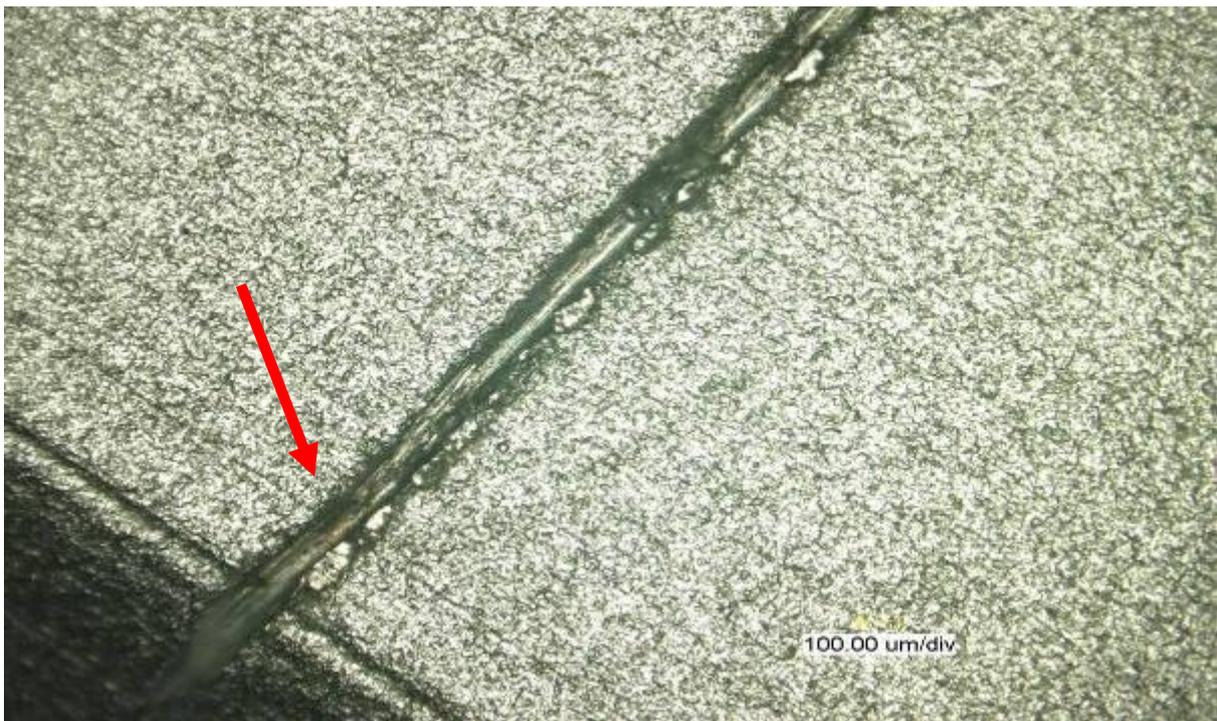


Abbildung 51: Messpunkt 7 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Der Kratzer zeigt in der linken Bildhälfte eine Verfärbung auf (roter Pfeil). Die unbeschädigte Umgebung ist unverändert. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 52: Messpunkt 7 (Eloxal); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 51 lässt die Verfärbung des Kratzers deutlicher erkennen. Die unbeschädigte Umgebung weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 100 x.



Abbildung 53: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die unbeschädigte Glasoberfläche weist keine Veränderungen auf. Vergrößerung ca. 30 x.



Abbildung 54: Messpunkt 8 (Glasoberfläche); Zeitpunkt t_2 . Die Vergrößerung eines Ausschnittes aus Abb. 53 lässt keine Veränderungen erkennen. Die Schlieren sind als Verschmutzungen zu deuten. Vergrößerung ca. 100 x.

In Abb. 51 und Abb. 52 sind Verfärbungen des Kratzers erkennbar. Der dazugehörige Messpunkt 7 besteht aus einem Kratzer auf dem Aluminiumrahmen und dessen direkter Umgebung. Das Modul war in einem Winkel von ca. 45° aufgestellt und von UV-Licht und der Erwärmung durch die Glühlampen beeinflusst. Die Verfärbungen sind nur auf dem Kratzer zum Zeitpunkt t_2 zu erkennen. Die unbeschädigte Umgebung des Kratzers ist unverändert. Weitere Veränderungen an den Oberflächen der einzelnen Messpunkte auf den Modulrahmen konnten mit den eingesetzten Mess- und Dokumentationsverfahren nicht erkannt werden.

Bei den Messpunkten auf der Glasoberfläche konnten auf keiner Abbildung Veränderungen identifiziert werden. Die schwarzen Schlieren und Punkte sind als Verschmutzungen zu deuten, die bei den Reinigungsvorgängen nicht restlos entfernt werden konnten oder sich beim Transport zum Messlabor auf den Modulen abgelagert haben.

3.2 Glanzmessung

Die Ergebnisse der Glanzmessung bilden sich aus dem Mittelwert von fünf Messungen. Die Messungen wurden in der direkten Umgebung der jeweiligen Messstellen durchgeführt.

Tabelle 1: Die Ergebnisse der Glanzmessung sind für jeden Mess- und Zeitpunkt in der Tabelle dargestellt und setzen sich aus fünf Einzelmessungen je Messpunkt zusammen. Aufgeführt sind der Mittelwert, der minimale und maximale Wert und die Standardabweichung.

Sample = geräteinterne Nummerierung der Messungen

n = Anzahl der Proben

Mean = Mittelwert

Min = kleinster Messwert der Messreihe

Max = größter Messwert der Messreihe

StDev = Standardabweichung

Zahlenwerte der Messungen sind in Glanzeinheiten [GE] angegeben

				20°				60°				85°			
Zeitpunkt	Messpunkt	Sample	n	Mean	Min	Max	StDev	Mean	Min	Max	StDev	Mean	Min	Max	StDev
t0	1	SAMPLE 005	5	2,8	2,7	3,1	0,2	8,7	8,6	9,0	0,2	27,6	27,3	28,0	0,3
t1	1	SAMPLE 015	5	2,8	2,7	2,9	0,1	8,8	8,6	9,0	0,2	28,0	27,5	28,6	0,4
t2	1	SAMPLE 027	5	2,9	2,8	2,9	0,0	9,3	9,0	9,5	0,2	27,9	27,4	28,3	0,4
t0	2	SAMPLE 006	5	22,1	17,5	28,5	4,2	60,0	52,4	72,1	7,3	61,4	60,6	62,2	0,6
t1	2	SAMPLE 016	5	18,8	18,0	19,4	0,6	55,3	52,5	62,1	3,6	60,3	59,7	61,1	0,6
t2	2	SAMPLE 028	5	36,3	31,9	41,3	3,4	62,4	61,5	63,3	0,7	53,5	52,9	54,8	0,7
t0	3	SAMPLE 007	5	2,8	2,8	2,9	0,0	8,7	8,6	8,8	0,1	27,1	26,5	27,6	0,4
t1	3	SAMPLE 013	5	2,9	2,8	3,0	0,1	9,1	8,9	9,2	0,1	27,7	26,8	28,0	0,5
t2	3	SAMPLE 029	5	2,8	2,6	3,0	0,2	9,1	9,0	9,2	0,1	27,4	26,1	28,4	1,0
t0	4	SAMPLE 008	5	14,9	13,6	15,6	0,7	47,8	46,5	48,9	1,0	56,2	55,5	56,7	0,5
t1	4	SAMPLE 014	5	18,9	16,1	24,2	3,0	52,8	50,1	56,9	2,7	58,6	58,2	59,3	0,3
t2	4	SAMPLE 030	5	14,2	13,6	14,7	0,5	47,4	45,8	48,4	0,9	55,6	55,3	56,0	0,3

t0	5	SAMPLE 001	5	2,9	2,8	2,9	0,0	8,8	8,7	8,9	0,1	27,5	26,4	29,0	0,9
t1	5	SAMPLE 011	5	2,9	2,8	3,0	0,1	9,6	8,9	10,7	0,7	31,2	27,0	37,5	3,8
t2	5	SAMPLE 031	5	2,8	2,7	2,9	0,1	9,3	8,3	10,8	0,9	29,4	27,3	34,1	2,7
t0	6	SAMPLE 002	5	13,1	10,1	23,6	5,3	44,3	41,4	51,1	3,6	48,4	48,2	48,6	0,1
t1	6	SAMPLE 012	5	10,5	10,0	11,8	0,7	43,1	40,8	45,6	2,0	46,9	46,6	47,3	0,3
t2	6	SAMPLE 035	5	10,0	9,8	10,2	0,2	41,3	41,0	41,6	0,2	47,2	47,0	47,4	0,1
t0	7	SAMPLE 003	5	3,6	3,4	3,8	0,2	9,0	1,8	11,6	3,7	22,8	0,1	28,8	11,3
t1	7	SAMPLE 009	5	3,9	3,4	4,0	0,2	12,5	11,4	13,3	0,6	29,9	29,0	30,4	0,6
t2	7	SAMPLE 036	5	3,5	3,4	3,6	0,1	11,3	11,2	11,5	0,1	28,8	28,0	29,4	0,6
t0	8	SAMPLE 004	5	9,5	9,3	9,8	0,2	41,0	38,9	46,4	2,7	45,5	44,6	46,7	0,7
t1	8	SAMPLE 010	5	9,8	8,4	14,6	2,4	41,3	37,9	44,7	2,8	46,3	45,9	46,5	0,2
t2	8	SAMPLE 037	5	8,0	7,8	8,2	0,1	36,0	35,6	36,6	0,4	44,2	43,6	45,0	0,5

Ein nicht plausibler Messwert ist beim Messpunkt 7, zum Zeitpunkt t_0 , bei einem Einstrahlwinkel von 85° zu erkennen (gelb hinterlegte Fläche), welcher aber als Messfehler (= "Ausreißer") gewertet werden muss (siehe Diskussion).

Die übrigen Messwerte erscheinen plausibel und zeigen keine Auffälligkeiten. Ein deutlicher Trend zur Veränderung des Glanzes ist nicht zu erkennen.

3.3 Schichtdickenmessung

Die Schichtdickenmessung erfolgte nur auf den Rahmen der PV-Module. Die betroffenen Messpunkte sind die Messpunkte 1, 3, 5 und 7. Wie bei der Glanzmessung wurden je Messpunkt 5 Messungen in direkter Umgebung der Messpunkte durchgeführt.

Tabelle 2: Ergebnisse der Schichtdickenmessung der Messpunkte 1, 3, 5 und 7. Die Mittelwerte wurden aus je 5 Messungen in der direkten Umgebung der Messpunkte ermittelt. Messungen wurden zu den Zeitpunkten t_0 , t_1 und t_2 durchgeführt.

n = Anzahl der Messungen

Mean = Mittelwert der Messreihe

StDev = Standardabweichung der Messreihe

Zeitpunkt	Messpunkt	n	Mean [μm]	StDev
t ₀	1	5	17,0	1,18
t ₁	1	5	15,9	0,41
t ₂	1	5	18,4	1,50
t ₀	3	5	16,8	0,93
t ₁	3	5	16,8	1,66
t ₂	3	5	15,9	1,21
t ₀	5	5	13,4	0,92
t ₁	5	5	15,0	1,12
t ₂	5	5	14,8	1,00
t ₀	7	5	18,0	0,72
t ₁	7	5	12,5	0,95
t ₂	7	5	16,5	0,25

Der Messpunkt 1 weist zum Zeitpunkt t_0 einen Mittelwert von 17,0 μm auf. Zum Zeitpunkt t_1 wurde eine Minderung auf 15,9 μm und zum Zeitpunkt t_2 eine Erhöhung auf 18,4 μm gemessen. Die Messpunkte 3, 5 und 7 zeigen ebenfalls nur minimale Veränderungen auf. Ein deutlicher Trend zur Veränderung ist nicht erkennbar. Messpunkt 7 zeigt bei der Messung zum Zeitpunkt t_1 den kleinsten Mittelwert mit 12,5 μm auf. Bei der Messung zum Zeitpunkt t_2 liegt das Messergebnis wieder bei 16,5 μm und damit im Bereich der anderen Messungen.

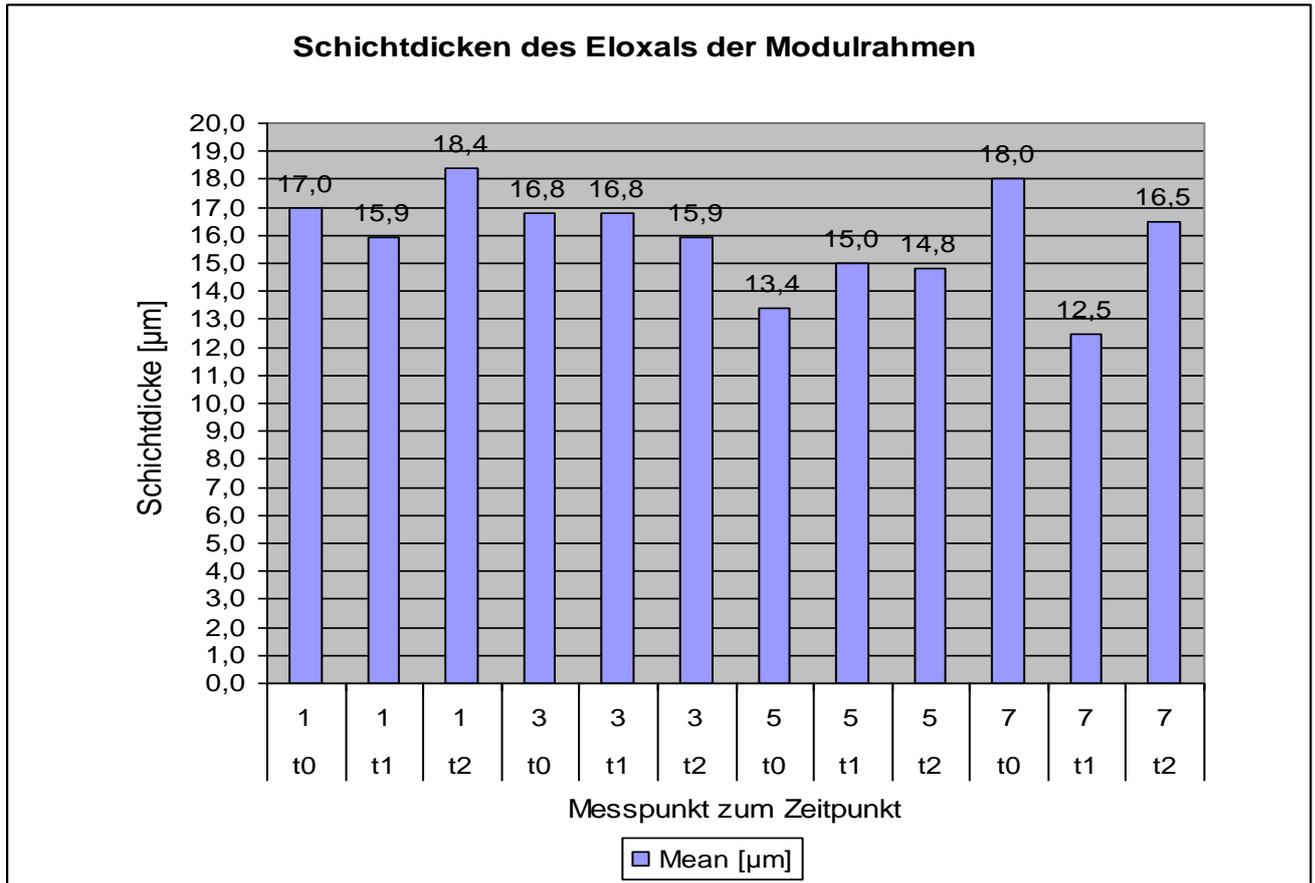


Abbildung 55: Messergebnisse der Schichtdickenmessung. Die Säulen stellen den Mittelwert aus fünf Messungen je Messpunkt dar.

4 Diskussion

Das Aufbringen von deionisiertem Wasser auf die PV-Module erfolgte im Versuch 45 Mal. Das Investitionsprojekt einer PV-Anlage wird normalerweise über einen Zeitraum von zwanzig Jahren geplant. Bei 45 Aufbringungen sind bei einer Laufzeit der Module von 20 Jahren ca. zwei Reinigungen jährlich durchführbar, was bei leichter Verschmutzung ausreichend ist und ein normales Reinigungsintervall darstellt. Zu beachten ist aber, dass die Häufigkeit der Reinigungsvorgänge vom Standort und damit vom Verschmutzungsgrad der Anlage abhängt und dass nur im Bedarfsfall gereinigt werden sollte.

4.1 Mikroskopische Aufnahmen

Die mit dem Digitalmikroskop erzeugten Aufnahmen der Messpunkte auf der unbeschädigten Glasoberfläche lassen keine Veränderungen erkennen. Auch die zusätzliche Einwirkung der UV-Strahlung und Simulation von sommerlichen Temperaturen durch die Glühbirnen konnten keine erkennbaren Veränderungen erzeugen. Die Punkte und Schlieren, die auf manchen Aufnahmen zu erkennen sind, sind als Verschmutzungen zu deuten. Ziel der Untersuchung war nicht, ein besonders sauberes Reinigungsergebnis zu erhalten, sondern die Auswirkung von deionisiertem Wasser auf PV-Module zu beurteilen. Die Qualität der Reinigung darf bei dieser Arbeit und den Aufnahmen nicht bewertet werden. Die Verunreinigungen könnten auch erst beim Transport der Module ins Messlabor entstanden sein, beispielsweise durch Schutzmaßnahmen gegen mechanische Einwirkung, also durch Decken und Tücher.

Die Aufnahmen der unbeschädigten Umgebung der Messpunkte auf dem Modulrahmen zeigen keine erkennbaren Veränderungen. Das deionisierte Wasser hat das Eloxal nicht sichtbar angegriffen. Der Kratzer, der zur Identifizierung der Messpunkte diente, ist in den Abbildungen 51 und 52 kupferfarben angefärbt. Die schützende Eloxalschicht wurde durch das Anbringen des Kratzer beschädigt und das blanke Aluminium kommt zum Vorschein. Die farbliche Veränderung könnte möglicherweise durch Oxidationsprozesse zu erklären sein. Eine genauere Untersuchung der Verfärbung konnte nicht durchgeführt werden. Auf die Funktionalität der Solarmodule wird diese Veränderung der beschädigten Oberfläche sicherlich keinen Einfluss haben, jedoch ist zu beachten, dass bei großflächigeren mechanischen Beschädigungen der eloxierten Oberfläche, wie sie beispielsweise bei unsachgemäßer Handhabung während der Montage entstehen können, auch mit großflächigeren Beeinträchtigungen gerechnet werden muss, die zumindest das optische Erscheinungsbild negativ beeinflussen. Sollten die Verfärbungen tatsächliche Oxidations- oder andere zerstörerische Prozesse zur Ursache haben, wäre dann auch mit einer fortschreitenden Zerstörung der Eloxalrahmen der Module zu rechnen. Bei wenig oder gar nicht beschädigten Eloxaloberflächen sollten aber – basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung – in der normalen Nutzungsdauer einer PV-Anlage keine nennenswerten Schäden (auch optischer Natur) zu erwarten sein.

Zu erwähnen ist generell noch die Chemikalienempfindlichkeit ungeschützten Aluminiums; so führen viele Säuren und v. a. auch Laugen zur Beschädigung des Metalls und damit im harmlosesten Fall zu einer unansehnlichen Optik. Gerade in der Nähe von Stallungen ist mit erhöhten Ammoniakkonzentrationen zu rechnen, welche beim Kondensieren auf Aluminium durch ihre alkalische Wirkung erhebliche Schäden verursachen. In solchen Umgebungen sollte daher dem Schutz des Aluminiums besondere Beachtung geschenkt werden, z. B. durch geeignete Schutzanstriche.

Gegebenenfalls sollte der Verwendung unempfindlicher Materialien für die Rahmengestaltung der Module der Vorzug gegeben werden.

4.2 Glanzmessung

Die Ergebnisse der Glanzmessung erscheinen plausibel. Ein Trend zu einer Veränderung ist nicht zu erkennen. Zu berücksichtigen ist, dass die Mittelwerte aus 5 Messungen bestehen. Die Messungen konnten aus technischen Gründen nicht an denselben Stellen durchgeführt werden, sondern nur in der direkten Umgebung der Messpunkte. Es wurde jedoch versucht, bei allen Messungen das Messgerät möglichst an den gleichen Stellen aufzusetzen, was aber offensichtlich nicht vollständig gelang. Eine Abnahme oder Zunahme des Glanzes müsste bei allen Messungen zu den unterschiedlichen Messzeiten erkennbar sein.

Im Falle des Messpunktes 7 zum Zeitpunkt t_0 (85° -Geometrie) fällt auf, dass einer oder mehrere der fünf Einzelmesswerte, aus denen das Gerät den Mittelwert errechnet hat, sich deutlich von den übrigen Werten abhebt; so wird als Minimalwert 0,1 angegeben, während zu den Zeitpunkten t_1 und t_2 die Minimalwerte 29,0 bzw. 28,0 betragen; die Maximalwerte liegen zwischen 28,8 (t_0) und 30,4 (t_1). Der Maximalwert zum Zeitpunkt t_0 liegt im Bereich der übrigen Messungen und deutet damit schon an, dass beim Minimalwert ein Messfehler vorliegen muss (z. B. zufällige und unbemerkte Messung auf einer verschmutzten Stelle). Voraussetzung für diese Deutung ist die Annahme, dass sich ein möglicher aggressiver Einfluss deionisierten Wassers auf die Eloxaloberfläche eher in einer Abnahme als in einer Zunahme des Glanzes zeigen würde. Handelte es sich bei den gelb hinterlegten Werten nicht um einen Messfehler („Ausreißer“), sondern um eine tatsächliche Veränderung der Oberfläche, sollten demzufolge auch die Glanzwerte der übrigen (Eloxal-) Messpunkte im Laufe des Untersuchungszeitraumes eine Zunahme zeigen, was offenkundig nicht der Fall ist.

4.3 Schichtdickenmessung

Die Messung der Dicke des Eloxals auf den Modulrahmen lässt ebenfalls keinen Trend zu einer Veränderung erkennen. Der größte Mittelwert aus fünf Messungen beträgt an der Messstelle 1 zum Zeitpunkt t_2 18,4 μm . Der kleinste Mittelwert aus fünf Messungen beträgt an der Messstelle 7 zum Zeitpunkt t_1 12,5 μm . Auch hier ist zu bedenken, dass die Messungen nicht an denselben Stellen durchgeführt werden konnten und lediglich versucht wurde, in der direkten Umgebung der Messpunkte das Messgerät möglichst immer an den gleichen Stellen aufzusetzen. Zum Zeitpunkt t_2 beträgt der Mittelwert wieder 16,5 μm . Da ausgeschlossen werden kann, dass im Laufe der Untersuchung die Eloxalschicht an Dicke zugenommen hat, ist es sehr wahrscheinlich, dass auch hier eine „normale“ Streuung der Messwerte vorliegt. Anderenfalls hätte infolge der Einwirkung des deionisierten Wassers zunächst eine Abnahme der Schichtdicke erfolgen müssen, bevor im Anschluss wieder eine Zunahme stattgefunden hätte. Dies erscheint jedoch wenig logisch oder nachvollziehbar.

4.4 Fazit

Die Häufigkeit der Aufbringung von deionisiertem Wasser betrug in der Untersuchung 45 Mal. Dies ist mit der Reinigungshäufigkeit einer PV-Anlage mit normalem Verschmutzungsgrad über ihre gesamte Laufzeit hinweg vergleichbar. Die mikroskopischen Aufnahmen lassen auf der unbeschädigten Glasoberfläche keine Veränderungen erkennen. Teilweise sind Verunreinigungen zu erkennen, die aber nicht als Veränderungen infolge der Einwirkung deionisierten Wassers gedeutet werden dürfen. Die Modulrahmen zeigten keine Veränderungen in der unbeschädigten Umgebung auf. Am Kratzer der Messstelle 7, welcher zur Identifizierung

der Messstelle dient, ist mit der Zeit eine farbliche Veränderung am ungeschützten Aluminium zu erkennen. Vermutet wird eine Oxidation, bei der davon ausgegangen wird, dass sie die PV-Module nicht direkt in ihrer Funktionsfähigkeit beeinflusst. Die Glanzmessung und die Messung der Schichtdicke des Eloxals zeigen keine erkennbaren Trends zu einer Veränderung auf. Unter den hier beschriebenen Versuchsbedingungen konnten also keine nennenswerten negativen Veränderungen an den Oberflächen der untersuchten PV-Module festgestellt werden.

Daraus lässt sich als Schlussfolgerung ableiten, dass unter Praxisbedingungen und bei der hier vorgenommenen Reinigungshäufigkeit keine negativen Folgen durch die Verwendung von deionisiertem Wasser zur Reinigung von PV-Modulen mit Eloxalrahmen zu erwarten sind. Eine Übertragung dieser Beobachtungen und Folgerungen auf Bedingungen, die deutlich von den hier genannten abweichen, ist allerdings nicht ohne Weiteres möglich, allein schon z. B. aufgrund unterschiedlichster Materialeigenschaften oder Fertigungsunterschieden zwischen den Modulen verschiedener Hersteller. Für die Bewertung der Auswirkung deionisierten Wassers auf PV-Module mit anderen Materialzusammensetzungen sind gesonderte Untersuchungen notwendig.

Generell lässt sich noch die Empfehlung abgeben, dass im Zweifelsfall der Verwendung unempfindlicher Rahmenmaterialien der Vorzug gegeben werden sollte bzw. dass empfindliche Materialien durch geeignete Maßnahmen wie Schutzanstriche, Pulverbeschichtungen etc. geschützt werden sollten, wenn sie an Standorten mit erhöhter Belastung durch aggressive Stoffe zum Einsatz kommen sollen.

Die Aggressivität von deionisiertem Wasser ist generell nicht zu unterschätzen, jedoch sollte sie unter Praxisbedingungen beim Einsatz zu Reinigungszwecken kaum nennenswerte Auswirkungen haben: Auf schmutzigen Oberflächen wird das sehr ionenarme Wasser sofort mit den Ionen des aufgenommenen Schmutzes gesättigt, sodass die Aggressivität, die

durch die Ionenarmut bedingt ist, schlagartig aufgehoben wird. Zudem dürfte in der Praxis das Wasser in den wenigsten Fällen längere Zeit auf den zu reinigenden Oberflächen stehen bleiben und damit eine erhöhte Einwirkzeit haben, sondern es wird an den geneigten (Fenster) oder senkrechten (Fassaden) Flächen relativ schnell ablaufen und dadurch eine nur noch geringe Einwirkzeit auf die Oberflächen haben.

5 Literaturverzeichnis

[1]

Häberlein Heinrich, Schärf Philipp; Langzeitverhalten von PV-Anlagen über mehr als 15 Jahre; 25. PV Symposium Staffelstein 2010

[2]

URL:<http://www.chemie-master.de/FrameHandler.php?loc=http://www.chemie-master.de/lex/begriffe/l06.html>. Leitfähigkeit von Salzlösungen. (ohne Datum). URL abgerufen am 09.06.2010.

[3]

URL:<http://www.lenntech.de/anwendungen/prozess/demineralisiert/deionisiertes-demineralisiertes-wasser.htm> (ohne Datum). URL abgerufen am 12.06.2010.

[4]

Mustermann Johann, Stimmelmayer Fritz; Taschenbuch der Wasserversorgung; GWV Fachverlage GmbH , Wiesbaden 2007

[5]

Datenblatt und Anwendungshinweis AquaClean TYP A1

[6]

URL:http://www.byk.com/instruments/applications/de/4_2_DE.php (ohne Datum). URL abgerufen am 25.05.2010.

[7]

URL:http://www.byk.com/instruments/applications/de/53_2_DE.php (ohne Datum). URL abgerufen am 25.05.2010.

[8]

URL:<http://www.gewuv.com/de/content/about-ultraviolet-uv-0> (ohne Datum). URL abgerufen am 08.06.2010.

[9]

URL:http://www.aleosolar.de/images/documents/datenblaetter/datenblaetter_aleo/S16%20175_3%20DE%20DE.pdf (ohne Datum). URL abgerufen am 12.05.2010.

[10]

URL:http://www.aquaqlean.nl/nl/download.php?f=stangensystemen&file=Aquaqlean_productlijst_stangensytemen_2009_NL.pdf (ohne Datum). URL abgerufen am 06.05.2010.