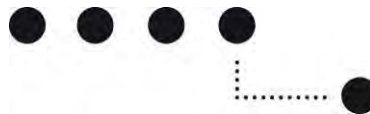


Holzfassaden Reinigung

Massnahmen zum Unterhalt von unbehandelten Holzfassaden

Forschungsbericht

Berner Fachhochschule
Architektur, Holz und Bau



Bericht Nr.	2754-SB-WH
Auftrag Nr.	2754.DWH
Klassifizierung	Öffentlich
Datum	31.08.2010
Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Sektion Wald Herr Gautschi 3003 Bern
Adresse der Forschungsstelle	Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau Abteilung F+E, Werkstoff und Holztechnologie Solithurnstrasse 102, CH-2504 Biel Tel / Fax +41 (0)32 344 0 341 / 391 www.ahb.bfh.ch
Verfasser	Christelle Ganne-Chédeville, Thomas Volkmer
Projektverantwortlicher	Bernhard Letsch
Abteilungsleiter	René Graf

ABSTRACT

In der gegenwärtigen Architektur werden wieder zunehmend Holzfassaden verwendet. Unbehandelten Holzfassaden können aber nach einer gewissen Zeit ästhetische Mängel zeigen, die durch natürliche Bewitterung und Umwelteinflüsse verursacht werden. Meistens handelt es sich hierbei um Vergrauen, Verschmutzen durch Partikel oder um Verfärbungen, die auf den Abbau von Holzbestandteilen zurückzuführen sind. Dieser Abbau findet während sukzessiven Expositionszyklen unter Einfluss von UV Licht, Regenwasser, Verschmutzungen und Mikroorganismen (z.B. Schimmel) statt. In diesem Projekt wurden unterschiedliche, unbehandelte Fassaden mit verschiedenen Verfahrensparametern mit dem Hochdruckreiniger behandelt. Die Fassaden bestanden aus unterschiedlichen Holzarten, hatten unterschiedliche Konstruktionen und waren unterschiedlichen Bewitterungen ausgesetzt. Die variierten Verfahrensparameter waren in Wesentlichen Wasserdruck, Wassertemperatur, Anzahl der Reinigungsdurchgänge und verschiedene Vorbehandlungsarten u.a. mit Reinigungsmitteln. An den Fassaden wurden Farbbestimmungen und Probenahmen für die mikroskopische Analyse vor und nach der Reinigung durchgeführt. Die

Resultate zeigen, dass es möglich ist mit angepassten Parametern und ohne die Verwendung von Reinigungsmitteln eine gute Homogenisierung der Farbe an der Fassade zu erreichen. Vergraute Fassaden werden deutlich aufgehellt und erhalten wieder eine gelb-rote Tönung. Die erreichte Farbe ist oft leicht unterschiedlich zum ursprünglichen Farbton der Fassade. Inhomogene südexponierte Fassaden werden homogenisiert und ihre starke Rottönung reduziert. Die mikroskopischen Untersuchungen zeigen, dass die Oberfläche nach der Reinigung fast keine Verschmutzungen, Sporen, Faserreste oder Staubpartikeln mehr enthalten. Die abgebauten parazellularen Stoffe (besonders Lignin) wurden abgewaschen und es bleiben an der Oberfläche getrennte, saubere Fasern zurück. Dies führt zu einem leicht wolligen Effekt der Oberfläche. In zukünftigen Arbeiten sollte die Dauerhaftigkeit dieses Verfahrens weiter untersucht werden so wie der Einfluss der Feuchtigkeit bzw. die Risiken beim Eindringen von Wasser auf die Funktionalität der Wand.

Keywords: unbehandelte Holzfassaden, Unterhalt, Bewitterung, Farbe Homogenisierung, Hochdruckreinigung, ästhetische Mängel

INHALTSÜBERSICHT

1	AUSGANGSLAGE	7
2	PROBLEMATIK	7
3	ZIEL	7
4	PROJEKT MITARBEITENDE	8
5	MATERIAL UND METHODEN	8
6	ERGEBNISSE	14
7	VORSICHTSMASSNAHMEN UND ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS	24
8	SCHLUSSFOLGERUNG	25
9	BESTIMMUNGEN ZUM VORLIEGENDEN BERICHT	25
10	VERZEICHNISSE	26
	ANHANG A: MERKBLATT	28

INHALTSVERZEICHNIS

1	AUSGANGSLAGE	7
2	PROBLEMATIK	7
3	ZIEL	7
4	PROJEKT MITARBEITENDE	8
5	MATERIAL UND METHODEN	8
5.1	Fassaden.....	8
5.2	Reinigungsgerät und Zubehör.....	8
5.3	Chemikalien.....	9
5.4	Reinigungsmethoden und Versuchspläne	9
5.5	Beurteilung der Oberflächenqualität.....	13
5.6	Farbmessungen.....	13
5.7	Raster Elektron Mikroskopie	14
6	ERGEBNISSE	14
6.1	Einfluss der Reinigung auf die Farbe	14
6.1.1	Änderung der Farbe bei Robinien- und Eichen - Fassaden.....	14
6.1.2	Änderung der Farbe bei Fichten- und Lärchenfassaden.	16
6.2	Einfluss der Behandlungsparameter und der Holzart auf die Oberflächenqualität.	18
6.2.1	Robinie	18
6.2.2	Fichte und Lärche.....	19
6.3	Behandlung von Proben mit verschiedenem Alterungsgrad.	20
6.4	Einfluss der Behandlung auf verschiedene Arten von Verfärbungen.	21
6.5	Einfluss einer chemischen Reinigung auf die Homogenisierung der Farbe.	22
7	VORSICHTSMASSNAHMEN UND ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS	24
8	SCHLUSSFOLGERUNG	25
9	BESTIMMUNGEN ZUM VORLIEGENDEN BERICHT	25
9.1	Umfang des Berichts	25
10	VERZEICHNISSE	26
10.1	Tabellenverzeichnis.....	26
10.2	Abbildungsverzeichnis.....	26
10.3	Literaturverzeichnis	27
ANHANG A:	MERKBLATT	28

1 AUSGANGSLAGE

Holzfassaden sind in zunehmenden Mass ein wesentliches Gestaltungselement moderner Architektur. Ein erheblicher Teil dieser Fassaden sind unbehandelte Holzfassaden. Tatsächlich ermöglicht die natürliche Dauerhaftigkeit von bestimmten Holzarten diesen Werkstoff ohne Schädigungsrisiko für Aussenanwendungen zu verwenden. Dennoch haben diese Fassaden häufig ästhetische Mängel, die durch die natürliche Verwitterung verursacht werden. So kommt es im Wesentlichen zu Farbunterschieden, die durch unterschiedliche Faktoren wie zum Beispiel die geografische Exposition, das vorherrschende Klima, die Baukonstruktion, die Fassadengestaltung und andere Einflüsse verursacht werden (Erler 2000, Schöftner 1989). Die Verfärbung des Holzes wird durch den photochemischen Abbau der Holzkomponenten (Hemicellulose und Lignin) verursacht. Dieser Abbau findet während sukzessiven Expositionszyklen unter Einfluss von UV Licht, Regenwasser, Verschmutzungen und Mikroorganismen (z.B. Schimmel) statt (Feist und Hohn 1984, Fengel und Wegener 2000). Mit einer Oberflächenbehandlung der Fassade lassen sich diese Verfärbungen vermeiden, da die Beschichtungen das Eindringen der UV Strahlung in den Werkstoff verhindert (Lignatec 2001). Für unbehandelte Fassaden gibt es heute nur die Möglichkeit vorvergrautes Holz einzusetzen um so eine farblich homogene Fassade zu erreichen. Daraus folgt, dass es ein grosses Interesse gibt, eine Technologie zu entwickeln, die unbehandelte, farblich homogene Holzfassaden ermöglichen.

2 PROBLEMATIK

Das sichtbare Licht mit einer Wellenlänge von 400-780nm trifft während der Freilandnutzung von Holz auf dessen Oberfläche auf und dringt ca. 200µm in das Substrat ein, wo es in erster Linie von Holzinhaltsstoffen absorbiert wird. Die energiereiche, nicht sichtbare UVA-Strahlung des Sonnenlichtes (320-400nm) dringt nur ca. 75 µm, in das Holz ein (Hon 1991). Dort wird die Strahlung speziell durch das Lignin und phenolische Holzinhaltsstoffe absorbiert. Dabei kommt es zur Bildung hochreaktiver freier Radikale, welche entweder mit Sauerstoff zu wasserlöslichen Oxidanten reagieren, über eine Kettenreaktion weitere Polymere spalten oder zu neutralen Molekülen rekombinieren (Feist und Hon 1984). Infolgedessen werden einerseits chromophore Gruppen im Holz aufgelöst und andererseits neue aufgebaut (Schöftner 1989), wodurch in einer ersten Bewitterungsphase (ca. 3-4 Monate) die Oberfläche nachdunkelt. Die wasserlöslichen Reaktionsprodukte, vor allem organische Säuren, wie Vanillin und Syringaldehyd (Feist und Hon 1984) werden im weiteren Verlauf der Bewitterung durch die Umgebungsfeuchte ausgewaschen. Das führt prinzipiell zu einem Abbau von Lignin speziell in der Mittellamelle, wodurch die einzelnen Zellen (meist Tracheiden) freigelegt werden (Singh und Dawson 2003). An der Oberfläche des Holzes bleibt die Zellulose zurück, dadurch nähert sich die farbliche Erscheinung der Fassade dem natürlichen Aussehen der Zellulose (siber-grau) an. Im weiteren Verlauf der Bewitterung kommt es zur Ablagerung von Schmutzpartikeln und zur Besiedlung durch Schimmel- und Bläuepilzen, wodurch das typische graue Erscheinungsbild von verwittertem Holz entsteht. Williams et al. (2001) konnten nachweisen, dass infolge dieser Bewitterungsabläufe und in Abhängigkeit der Holzeinschnittmuster mit einem Holzabbau von ca. 1mm in 10 Jahren gerechnet werden kann. Aus kundenspezifischer und ästhetischer Sicht wird es häufig als störend empfunden, dass derartig verwitterte Flächen bei starker Feuchteaufnahme nahezu schwarz wirken. Weiter ist anzumerken, dass dieser Verwitterungsprozess an der Oberfläche sehr ungleichmässig verlaufen kann und somit zu einem inhomogenen Erscheinungsbild der Fassade führt.

3 ZIEL

Das Ziel des Projektes besteht darin, eine auf unbehandelten Holzfassaden angepasste Unterhaltsmethode zu entwickeln um eine dauerhafte Homogenisierung der Holzfarbe zu erreichen. Die Reinigung mit dem Hochdruckreiniger und heissem Wasser scheint eine zweckvolle Lösung zu sein um die abgebauten Holzbestandteile und Verschmutzungspartikel zu entfernen.

- In einem ersten Schritt werden die Einflüsse der Maschinenparameter (Druck, Temperatur, Düsentyp etc.) auf verschiedenen Substrateigenschaften (Holzart, Baujahr, Ausrichtung der Lamellen, Exposition, Typ von Verschmutzungen, etc.) definiert. Die Evaluationskriterien sind: der Farbeunterschied vor und nach der Behandlung, der Farbeunterschied zur Originalfarbe, die Homogenität der Behandlung und die Oberflächenqualität. Anderen Kriterien, wie die Handhabung und die Ergonomie werden ebenfalls definiert sowie auch die Kosten. Das Ergebnis soll eine optimale Unterhaltsmethode für unbehandelte Holzfassaden sein. Die Studie wird auch die Konsequenzen der Reinigung auf die natürliche Wiederverwitterung der Fassade umfassen.
- In einem zweiten Schritt wird mit dem Reinigen einer Fassade an einem bzw. mehreren bestehenden Gebäuden die entwickelte(n) Methode(n) validiert.

4 PROJEKT MITARBEITENDE

Projektverantwortlicher: Bernhard Letsch (BFH AHB)

Projektleiterin : Christelle Ganne-Chédeville (BFH AHB)

Interner Experte : Thomas Volkmer (BFH AHB)

Praktikanten: Christoph Hagmann, Adrian Hirt, Samuel Gresch (BFH AHB)

Validierung und gewerbliche Expertise: Martin Fankhauser (Schilliger AG, Haltikon)

Expertise für die Geräte und deren Handhabung: Beat Nussbaum (Kärcher SA, Dällikon)

5 MATERIAL UND METHODEN

5.1 Fassaden

In der nachfolgenden Tabelle sind die vier Fassaden und die Verwitterungsproben beschrieben, die für die Versuche benutzt wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Eingesetzte Fassaden und Verwitterungsproben für die verschiedenen Versuche der Studie.

Objekt	Gebäude, Adresse	Alter der Gebäude	Holzart	Orientierung/Neigung	Orientierung der Lamellen	Bemerkungen
Fassade 1	BFH AHB, Gebäude D Soothurnstrasse 102, 2502 Biel/Bienne	10 Jahre	Robinie	West/90°	Horizontal	Stark vergraut
Fassade 2	BFH AHB Gebäude D Soothurnstrasse 102, 2502 Biel/Bienne	10 Jahre	Robinie	Ost/90°	Horizontal	Unter kleinem Vordach: sehr heterogene Verfärbung
Fassade 3	BFH AHB Gebäude A Soothurnstrasse 102, 2502 Biel/Bienne	10 Jahre	Eiche	Süd/90°	Vertikal	Sehr heterogene Verfärbung
Fassade 4	Einfamilienhaus Péry	4 Jahre	Fichte	West/90°	Vertikal	?
Fassade 5	Einfamilienhaus Péry	4 Jahre	Lärche	Ost/90°	Vertikal	?
Bewitterte Proben	Soothurnstrasse 102, 2502 Biel/Bienne	Von 3 bis 72 Wochen	Eiche, Lärche, Fichte	Süd/45°	Vertikal	Standard Dimensionen für EN 927-3 Versuche

5.2 Reinigungsgerät und Zubehör

Kärcher Typ HDS 10/20-4MX mit den folgenden möglichen Einstellungen:

- Wasser Temperatur von 20 bis 80°C oder Dampf (95°C)
- Düsen typ: rotierende Bürste (natürliche oder Nylonborsten), verschiedene Düsen, Dampfdüsen (Typ 70 oder 80).
- Wasserdruck 44 bis 148 bar gemessen am Gerät (zum Einstellen mit Düsentyp und Geräteeinstellungen)

5.3 Chemikalien

In Abweichung zum ursprünglichen Forschungsplan wurde neben dem Einsatz von Wasser zusätzlich auch noch verschiedene Chemikalien eingesetzt. Diese wurden direkt vor der Reinigung mit dem Hochdruckreiniger mit einer handelsüblichen Sprühflasche an die Fassade gesprüht. Eine Einwirkungszeit von ungefähr einer Stunde wurde beachtet. Folgenden Chemikalien wurden benützt als Reinigungs- oder Bleichmittel (Tabelle 2):

Tabelle 2: Liste der Chemikalien für die Versuche.

Name	Komposition	Hersteller
Jet Clean	Natrium-Hyperchlorit mit Additive	Böhme
RM 81 ASF Aktiv-Wäsche Konzentrat	5% anionischen Tensiden, 5 – 15% nichtionischen Tensiden, Komplexbildnern und Duftstoffen	Kärcher
Natronlauge	0.01 molare Natriumhydroxid-Lösung	Fulka
Javelwasser	wässrige Natriumhypochloritlösung	
Wasserstoffperoxid-Lösung	30, 20, 5 oder 3%-tige Wasserstoffperoxidlösung	Knuchel Farben AG

5.4 Reinigungsmethoden und Versuchspläne

Versuchsflächen von jeweils ungefähr 1m^2 wurden abgegrenzt auf den Fassaden. Das Vorgehen wurde mit den folgenden Angaben spezifiziert:

- Im Falle des Einsatzes von Chemikalien werden diese vorher aufgesprüht
- Winkel des Wasserstrahls zur Oberfläche: ca. 25°
- Bewegung (Durchgang) bei der Reinigung der Faserrichtung folgend und linear
- Geschwindigkeit des Durchgangs: ca. 45 s m^{-2}
- Anzahl Durchgänge: 2 oder 4
- Distanz zwischen Düse und Oberfläche : 20, 25 oder 40 cm

Die Kombinationen der verschiedenen Parameter wurden für jedes Objekt in verschiedenen Versuchsplänen formuliert (Tabelle 3 bis Tabelle 9).

Tabelle 3: Legende der Abkürzungen zu den im Versuchsplan aufgeführten Einstellungsparametern

Symbol	Parameter
B1	Naturhaarkreisbürste
B2	Nylonkreisbürste
D1	Düsengrösse 54, (>150 bar für PDMAX)
D2	Düsengrösse 70, (109 bar für PDMAX)
D3	Düsengrösse 100, (53 bar für PDMAX)
D4	Düsengrösse 110, (44 bar für PDMAX)
DD1	Dampfdüse Grösse 70
DD2	Dampfdüse Grösse 80
PDMIN	Pumpdruck minimal 500l/h
PDMAX	Pumpdruck maximal 1000l/h
S	Ohne Druck: nur spülen

Tabelle 4: Versuchsplan Fassade 1 (Robinien)

Fassade 1 Feld nr.	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reinigungs- vorgänge	Reinigungsmittel
1	B1	80	PDMAX	2	keines
2	B1	80	PDMAX	4	keines
3	D1	20	PDMAX	2	keines
4	D1	20	PDMAX	4	keines
5	D1	60	PDMAX	2	keines
6	D1	60	PDMAX	4	keines
7	D1	80	PDMAX	2	keines
8	D1	80	PDMAX	4	keines
9	DD1	95	PDMIN	2	keines
10	B2	80	PDMAX	2	keines
11	B2	80	PDMAX	4	keines
12	D2	20	PDMAX	2	keines
13	D2	20	PDMAX	4	keines
14	D2	60	PDMAX	2	keines
15	D2	60	PDMAX	4	keines
16	D2	80	PDMAX	2	keines
17	D2	80	PDMAX	4	keines
18	DD1	95	PDMIN	4	keines
19	DD2	95	PDMIN	2	keines
20	DD2	95	PDMIN	4	keines
21	D3	20	PDMAX	2	keines
22	D3	20	PDMAX	4	keines
23	D3	60	PDMAX	2	keines
24	D3	60	PDMAX	4	keines
25	D3	80	PDMAX	2	keines
26	D3	80	PDMAX	4	keines

Tabelle 5: Versuchsplan Fassade 2 (Robinien)

Fassade 2 Feld nr.	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reini- gungsvorgänge	Reinigungsmittel
1	S	20	PDMIN	2	Jet Clean
2	D4	60	PDMAX	2	RM81 ASF Aktiv- Wäschekonzentrat
3	S	20	PDMIN	2	Javelwasser
4	D4	60	PDMAX	2	Wasserstoffperoxid (3%)
5	S	20	PDMIN	2	Jet Clean
6	S	20	PDMIN	2	RM81 ASF Aktiv- Wäschekonzentrat
7	S	20	PDMIN	2	Natronlauge
8	S	20	PDMIN	2	Wasserstoffperoxid (3%)
9	D4	60	PDMAX	2	-
10	D4	80	PDMAX	2	-
11	D4	60	PDMAX	2	Natronlauge
12	D4	60	PDMAX	2	Javelwasser

Tabelle 6: Versuchsplan Fassade 3 (Eiche)

Fassade 3 Feld nr.	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reini- gungsvorgänge	Reinigungsmittel
1	D4	80	PDMAX	4	keines
2	D4	80	PDMAX	4	Natronlauge
3	D4	80	PDMAX	4	Wasserstoffperoxid (5%)
4	D4	80	PDMAX	4	Wasserstoffperoxid (20%)
5	D4	80	PDMAX	4	Wasserstoffperoxid (35%)
6	D4	80	PDMAX	4	Javelwasser
7	D4	100	PDMAX	4	Natronlauge
8	DD1	100	PDMAX	4	Wasserstoffperoxid (20%).
11	D1	80	PDMAX	4	keines
12	D1	40	PDMAX	4	keines

Tabelle 7: Versuchsplan Fassade 4 (Fichte)

Fassade 4 Feld nr.	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reinigungs- vorgänge	Reinigungsmittel
1	D4	60	50 bar	2	Keines
2	D4	60	50 bar	4	Keines
3	D4	80	50 bar	2	Keines
4	D4	80	50 bar	4	Keines
5	D4	60	40 bar	2	Keines
6	D4	80	40 bar	2	Keines
7	D4	60	60 bar	2	Keines
8	D4	80	60 bar	2	Keines

Tabelle 8: Versuchsplan Fassade 5 (Lärche)

Fassade 5 Feld nr.	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reinigungs- vorgänge	Reinigungsmittel
1	D4	60	50 bar	2	Keines
2	D4	60	50 bar	4	Keines
3	D4	80	50 bar	2	Keines
4	D4	80	50 bar	4	Keines
5	D4	60	40 bar	2	Keines
6	D4	80	40 bar	2	Keines
7	D4	60	30 bar	2	Keines
8	D4	80	30 bar	2	Keines

Tabelle 9: Versuchsplan bewitterte Proben (verschiedene Holzarten)

Gewitterte Proben	Typ von Düse	Temperatur (°C)	Pump Druck Einstellung	Anzahl Reinigungs- vorgänge	Reinigungsmittel
Eiche	D4	80	PD MAX	4	Keines
Fichte Serie 1	D4	80	60 bar	4	Keines
Fichte Serie 2	D4	80	40 bar	4	Keines
Lärche	D4	80	50 bar	4	Keines

Die Beispiele an der Fassade 1, 3 und 4 sind in den unten stehenden Abbildungen zu sehen (Abbildung 1 und Abbildung 2).



Abbildung 1: Versuchsfelder und Reinigung an der Fassade 1 (rechts) und der Fassade 4 (links).



Abbildung 2: Vorbehandlung mit Chemikalien (links) und Versuchsfelder (rechts) an der Fassade 3.

5.5 Beurteilung der Oberflächenqualität

Circa 24 Stunden nach dem letzten Reinigungsdurchgang wurde die Qualität der Oberfläche visuell beurteilt nach dem in der Tabelle 10 beschriebenen System.

Tabelle 10: Visuelle Beurteilung der Oberflächenqualität nach der Reinigung.

Wert	Bearbeitungsspuren	Visuelle Beurteilung der Oberfläche	Homogenität der Farbe auf der Versuchsfläche
0	Keine Spuren	Glatte Oberfläche	Sehr homogene Farbe
1	Leichte Spuren	Wollige Oberfläche	Mässig homogene Farbe
2	Deutlich sichtbare Spuren	Sehr wollige Oberfläche	Stark heterogene Farbe

5.6 Farbmessungen

Für jedes Versuchsfeld wurden 9 kleine Flächen von 10 x 10 cm ausgewählt, an denen es keine sichtbaren Defekte wie Äste oder Risse gab. Diese wurden mit einem rostfreien Nagel markiert. Die Farbe von jeder dieser Flächen wurde vor und nach der Reinigung mit dem L*a*b System (Abbildung 3) gemessen (Minolta Spektralphotometer CM-525i). Die ursprüngliche Farbe der Fassade wurde gemessen an einem frisch geschliffenen Feld (Mittelwert von 10 Messungen auf der Fläche von 10 x 10 cm). Der Farbunterschied zur ursprünglichen Farbe ($\Delta E_{u,n}$) oder zur Farbe vor der Behandlung ($\Delta E_{v,n}$) wurde nach ISO 7724-3 als euklidischer Abstand berechnet:

$$\Delta E_{u,n} = \sqrt{(L_n^* - L_u^*)^2 + (a_n^* - a_u^*)^2 + (b_n^* - b_u^*)^2}$$

$$\Delta E_{v,n} = \sqrt{(L_n^* - L_v^*)^2 + (a_n^* - a_v^*)^2 + (b_n^* - b_v^*)^2}$$

Es wurden die Mittelwerte und die Standardabweichung berechnet.

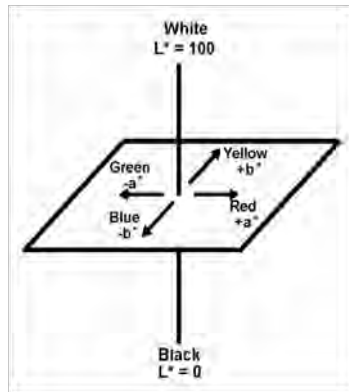


Abbildung 3: $L^*a^*b^*$ Farbsystem.

5.7 Raster Elektronen Mikroskopie

Als Rasterelektronenmikroskop (REM) wurde ein HITACHI Tabletop Microscope TM-100 benutzt (Magnification 20-10,000 X; acceleration voltage 15 kV; resolution 30 nm). Die Proben (Schuppen mit ca. 20 x 5 x 0,1 mm) wurden von den Fassaden vor der Reinigung und 24 Stunden nach der Reinigung mit einem Skalpell herausgeschnitten, gesammelt und während 4 Stunden bei 70°C getrocknet. Anschliessend wurden sie mit dem REM analysiert.

6 ERGEBNISSE

6.1 Einfluss der Reinigung auf die Farbe

6.1.1 Änderung der Farbe bei Robinien- und Eichen - Fassaden.

Bei der vergrauten Fassade 1 (Robinie) wurden die Farbmessungen vor und nach der Reinigung, sowie an einer geschliffenen Fläche als Referenz für die ursprüngliche Farbe durchgeführt. Das $\Delta E_{v,n}$ ergibt Werte im Bereich von 15 bis 30 (Abbildung 4). Das bedeutet, dass die Reinigung eine deutliche Farbveränderung mit sich bringt.

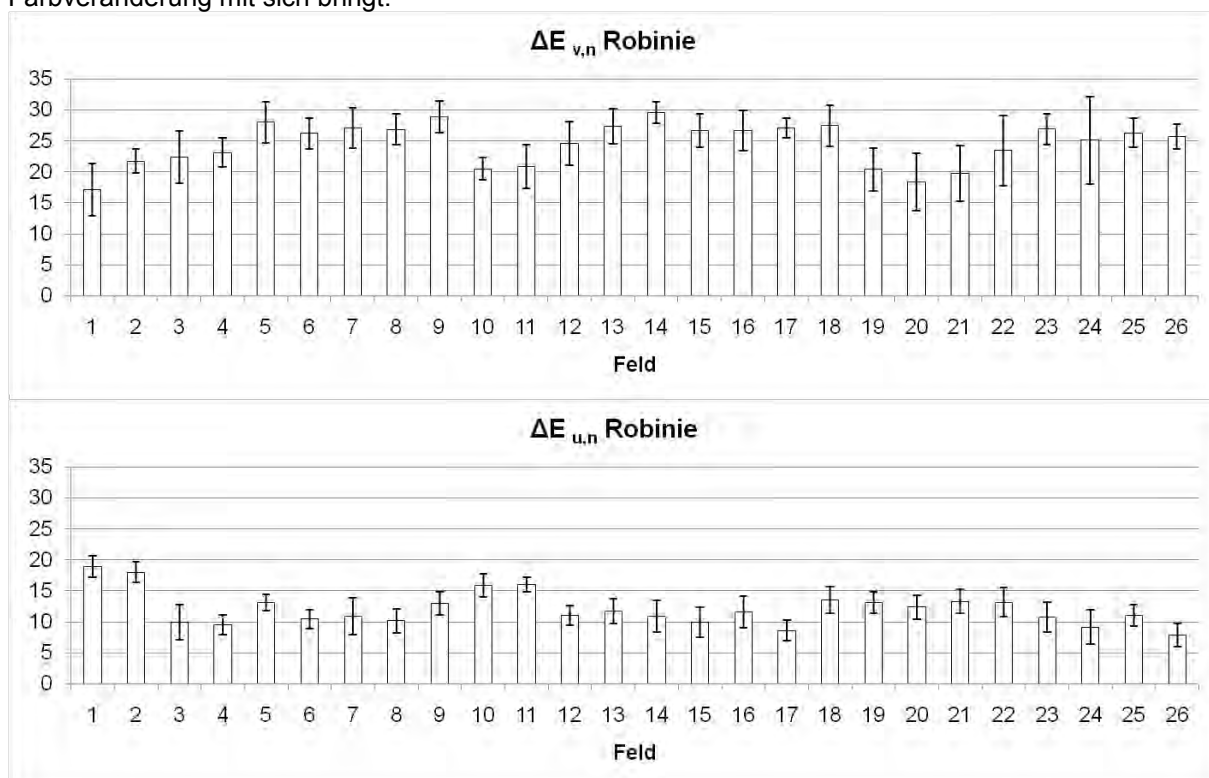


Abbildung 4: Farbänderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 1 (Robinie).

Je geringer der durchschnittliche Farbunterschied ($\Delta E_{u,n}$) ist, desto mehr nähert sich die Farbe der Versuchsfelder der ursprünglichen Farbe an. Wenn ΔE höher als 10 ist, empfindet dies das menschli-

che Auge als unterschiedliche Farben. Bei den Versuchen an der Fassade 1 (Robinie, ergaben sich bei einigen Reinigungsparametern relativ gute $\Delta E_{u,n}$ Werte wie zum Beispiel die Versuche Typ 4, 17, 24 und 26 (Abbildung 4). Für diese Felder nähert sich die Farbe relativ gut der ursprünglichen Farbe an.

Der gemessene L-Wert (weiss) an diesen Versuchsfeldern liegt im gleichen Bereich wie der L-Wert der ursprünglichen Farbe (Abbildung 5). Nur die a-Werte (rot) und b-Werte (gelb) sind geringer wie bei der ursprünglichen Farbe (Abbildung 5), was die Fassade blasser erscheinen lässt im Vergleich zu der ursprünglichen Farbe. Die Anwendung von rotierenden Bürsten (Natur oder Nylon Haare) verursachten einen hohen $\Delta E_{u,n}$ Wert, was die Anwendung von Bürsten ausschliesst. Die Behandlung mit Wasserdampf ergab weniger zufriedenstellende Resultate wie die Behandlungen mit Düsen. Der Wasserdruck ermöglicht einen Abrieb der Schmutzpartikeln und ergab somit bessere Resultate. Bei der a-Wert Messung zeigen die Felder, die mit Dampf behandelt wurden (9, 18, 19, 20) relativ hohe Standardabweichungen. Das zeigt, dass diese Reinigung zu einem weniger homogenen Ergebnis führt wie die Reinigung mit Wasserdruck. Der Temperaturbereich 60-80°C ist ideal für die Robinie mit 2 oder 4 Durchgängen, bei einer Distanz von 20 cm und einem Druck von 50 bis 100 bar. Diese Felder werden zurzeit der natürlichen Bewitterung überlassen um die Entwicklung der Farbe und insbesondere die Dauerhaftigkeit der Behandlung beurteilen zu können.

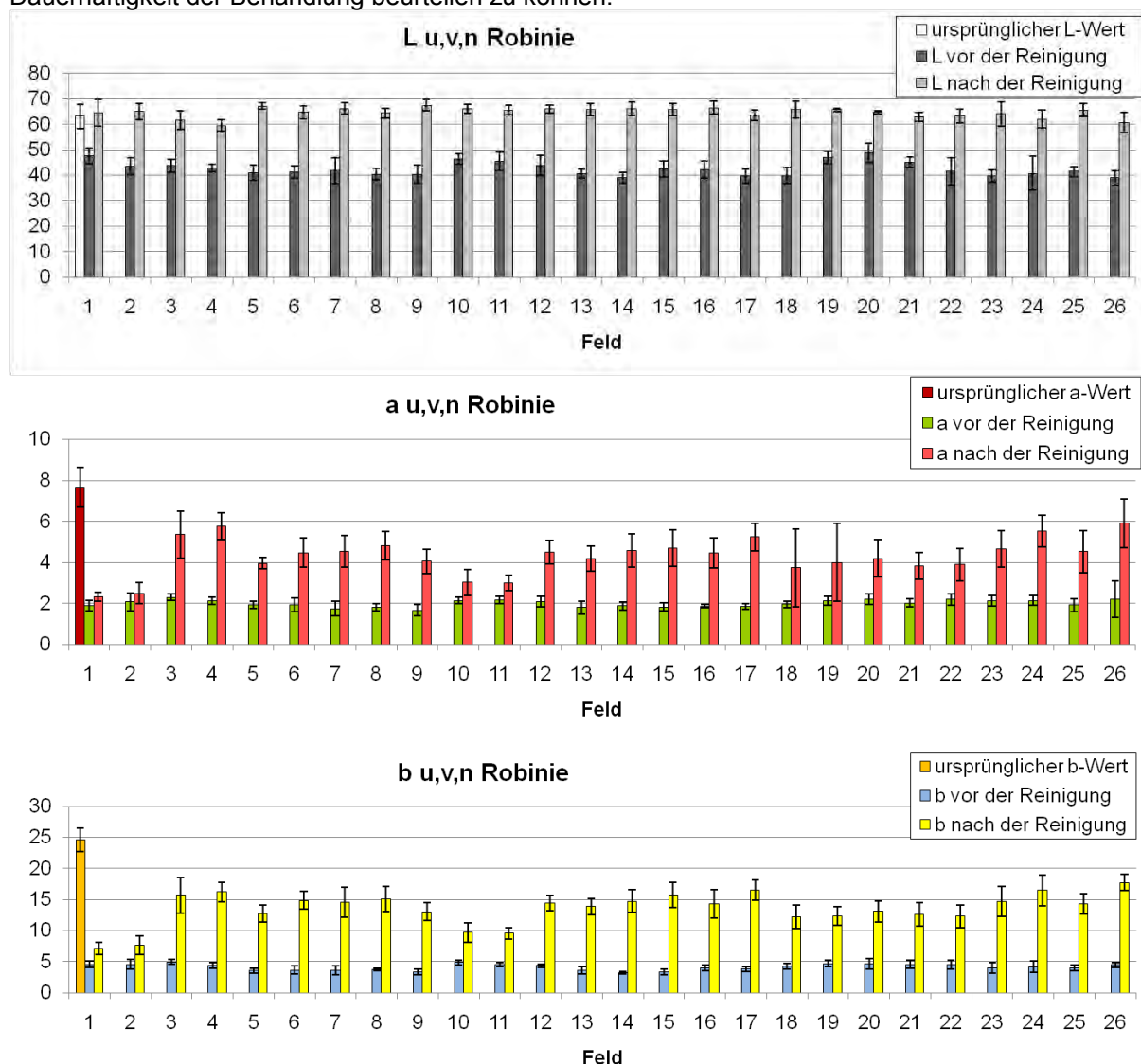


Abbildung 5: Farbänderungen (L, a und b) mit Standardabweichung vor und nach der Reinigung der Fassade 1 für alle Felder.

Für die Versuche an der Eichenfassade wurde die Farbe vor und nach der Reinigung gemessen. Die Felder 1, 11 und 12 wurden behandelt mit verschiedenen Parametern (Druck: 110 oder 53 bar, Temperatur: 80 oder 40°C) und ohne Vorbehandlung mit Chemikalien (siehe Tabelle 6). In diesen Fall war die Fassade nicht vergraut sondern hatte eine typische Farbveränderung (braun), die auf eine hohe Sonneneinstrahlung und einen ausreichenden Schutz vor Regenwasser zurück zu führen ist. Der L-

Wert (weiss), gemessen nach der Reinigung, ist deutlich höher als vor der Reinigung (Abbildung 6). Beim a-Wert kann man erkennen, dass die Fassade deutlich weniger rot ist. Die Reinigung verursacht aber keine grosse Änderung der gelben Töne. Tendenziell werden die Felder leicht gelber nach der Reinigung. Generell ist für alle Messkriterien die Standardabweichung nach der Behandlung in allen Feldern geringer als vor der Behandlung. Die Farbe homogenisiert sich auf der Fassade nach der Reinigung. Es konnten keine deutlichen Unterschiede zwischen den verschiedenen Reinigungsparametern festgestellt werden.

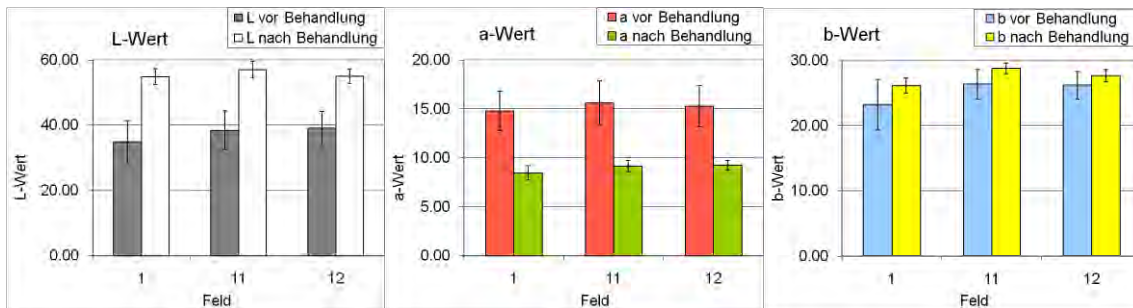


Abbildung 6: Farbänderungen (L, a und b) mit Standardabweichung vor und nach der Reinigung der Fassade 3 für die Felder 1, 11 und 12.

6.1.2 Änderung der Farbe bei Fichten- und Lärchenfassaden.

Die Testparameter an den Fassaden 4 (Fichte) und 5 (Lärche) bestanden in einer Wassertemperatur von 60°C oder 80°C und einem schonenden Wasserdruck von 30 bis 50 bar. Die $\Delta E_{v,n}$ Werte der Fichte Fassade sind im Bereich 23-27, was eine deutliche Farbveränderung nach der Reinigung bedeutet (Abbildung 7).

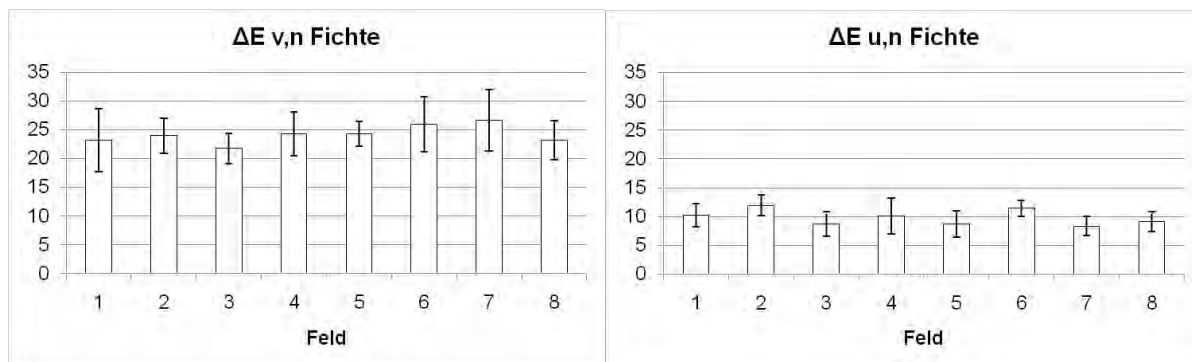


Abbildung 7: Farbänderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 4 (Fichte).

Die $\Delta E_{u,n}$ Werte sind im Bereich 8-11, was beweist, dass die erzielte Farbe sehr nah an der ursprünglichen Farbe liegt. Die Felder 3, 5 und 7 haben die niedrigsten $\Delta E_{u,n}$ Werte und eine eher geringe Standardabweichung (homogenes Ergebnis). Das Feld mit dem niedrigsten $\Delta E_{u,n}$ Wert und den geringsten Standardabweichung ist das Feld 7 (60°C, 60 bar). Die Resultate der anderen Feldern unterscheiden sich aber nicht signifikant. Es ist also möglich mit einer relativ niedrigen Wassertemperatur und einem tiefen Wasserdruck eine gute Reinigung zu erzielen.

Die Analyse der Farbkriterien L, a und b ergibt unterschiedliche Resultate zu den bisher getesteten Laubhölzern (Abbildung 8). Der L-Wert ist nach der Reinigung tiefer wie bei der ursprünglichen Farbe. Bei Fichte bleibt die Fassade also ein etwas grauer nach der Reinigung. Die hohen a-Werte zeigen, dass die Fassade einen rötlicheren Ton nach der Reinigung hat, der sogar signifikant höher ist als bei der ursprünglichen Farbe. Es scheint, dass die Temperatur des Wassers dafür verantwortlich ist. Die Variationen der a-Werte innerhalb der Versuchsfelder sind aber nicht korreliert mit der Wassertemperatur. Tendenziell scheint der a-Wert nach der Reinigung gut zu korrelieren mit dem a-Wert vor der Reinigung. Die rötlichen Töne der Fichte sind erhöht nach der Reinigung. Die b-Werte zeigen auch das gleiche Verhalten wie die a-Werte, mit dem Unterschied, dass die b-Werte nach der Reinigung näher an den ursprünglichen b-Werte liegen.

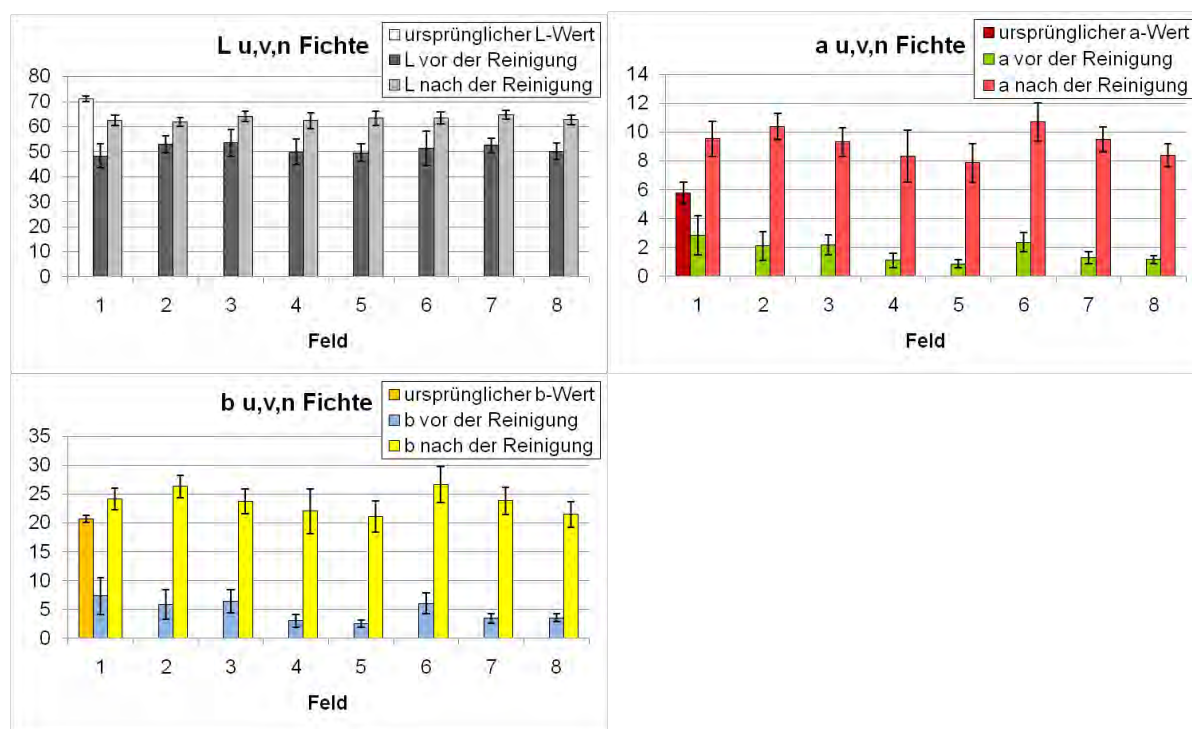


Abbildung 8: Mittelwert und Standardabweichung der Werte L, a und b für die ursprüngliche Farbe, die Farbe vor der Reinigung und die Farbe nach der Reinigung an der Fassade 4 (Fichte).

Bei der Fassade 5 (Lärche) sind die $\Delta E_{v,n}$ Werte, wie bei allen bisher getesteten Fassaden, relativ hoch (Abbildung 9). Die $\Delta E_{u,n}$ Werte sind niedriger als bei Fichte und zeigen dass die Reinigung sehr effizient ist um die ursprüngliche Farbe wieder zu erzielen. Die Standardabweichungen bleiben dennoch relativ hoch. Die Felder 2 und 4 erhalten die niedrigsten $\Delta E_{u,n}$ Werte während die Felder 5 und 8 die höchsten $\Delta E_{u,n}$ erhalten. Folglich erzeugt die Verwendung eines leicht höheren Drucks (50 bar anstatt 40 oder 30 bar) unabhängig von der Temperatur, ein besseres Ergebnis bei Lärche.

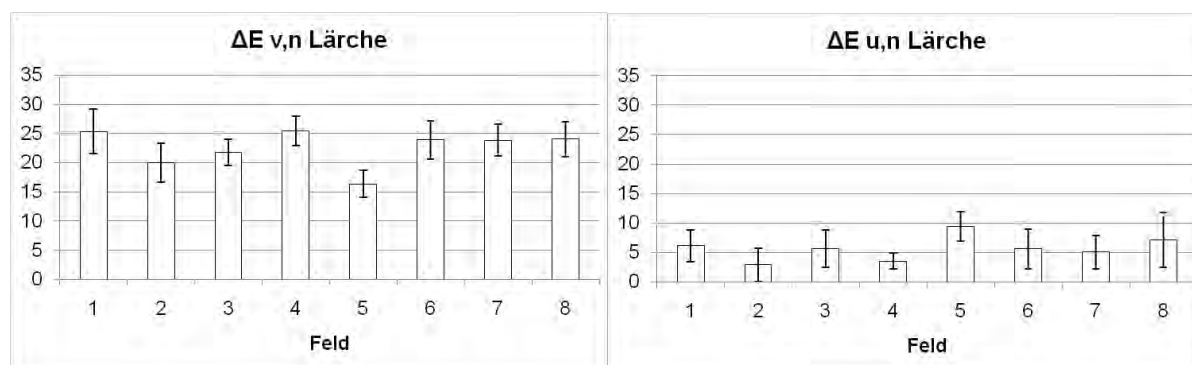


Abbildung 9: Farbänderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 5 (Lärche).

Der Analyse der L-Werte zeigt, dass die Reinigung gute L-Werte ergibt die nahe an der ursprünglichen Farbe liegen (Abbildung 10). Die a-Werte nach der Reinigung mit 50 bar sind im gleichen Bereich wie die ursprüngliche Farbe. Die weiteren Felder (behandelt mit 30 oder 40 bar) zeigen leicht niedrigere Werte und eine relativ hohe Standardabweichung im Vergleich zum ursprünglichen a-Wert. Das Feld 2 zeigt die kleinste Standardabweichung der a-Werte, was auf eine homogene rot-Tönung hinweist. Die Analyse der b-Werte ergibt die gleiche Tendenz: die nach der Reinigung erhaltenen Farben, haben einen ähnlich gelben Ton wie die ursprüngliche Farbe. Die besten Werte sind bei den mit 50 bar behandelten Feldern erreicht worden. Das Feld 4 zeigt die kleinste Standardabweichung der b-Werte was auf eine homogene Gelbtönung hinweist.

Die verschiedenen Reinigungsvorgänge an den unterschiedlichen Fassaden zeigen, dass es möglich ist ohne Chemikalienzusätze eine Farbe zu erzeugen, die sehr nahe an der ursprünglichen Farbe ist. Je nach Holzart und Typ von Verfärbung zeigen die Reinigungsvorgänge leichte Unterschiede in den Farbergebnissen. Der Farbeunterschied im Vergleich zur ursprünglichen Farbe ist geringer für Nadelhölzer im Vergleich zu Laubhölzern. Jedoch zeigen die Standardabweichungen der Resultate, dass die

Behandlung bei Nadelhölzern deutlich weniger homogen ist (höhere Standardabweichung) im Vergleich zu Laubhölzern. Generell ist der L-Wert (Helligkeit) der ursprünglichen Farbe relativ einfach wieder zu erzielen. Die Rot und Gelbe Töne des Holzes (a und b-Werte) zeigen die grössten Unterschiede je nach Holzart. Die Robinienfassade ist nach der Reinigung bleicher als der ursprüngliche Farbton. Bei Lärche sind die erzielten Resultate sehr gut: es besteht praktisch kein Unterschied zwischen der ursprünglichen Farbe und der nach Reinigung erzielten Farbe. Die Reinigung der Fichtenfassade ergab eine Orangetönung und die Farbe ist leicht dunkler als die ursprüngliche Farbe. Die Tests an einer nach Süden orientierten und vor Regen geschützten Eichenfassade zeigen, dass es möglich ist die Brauntönung mit dem Hochdruckreinigungsverfahren stark zu reduzieren.

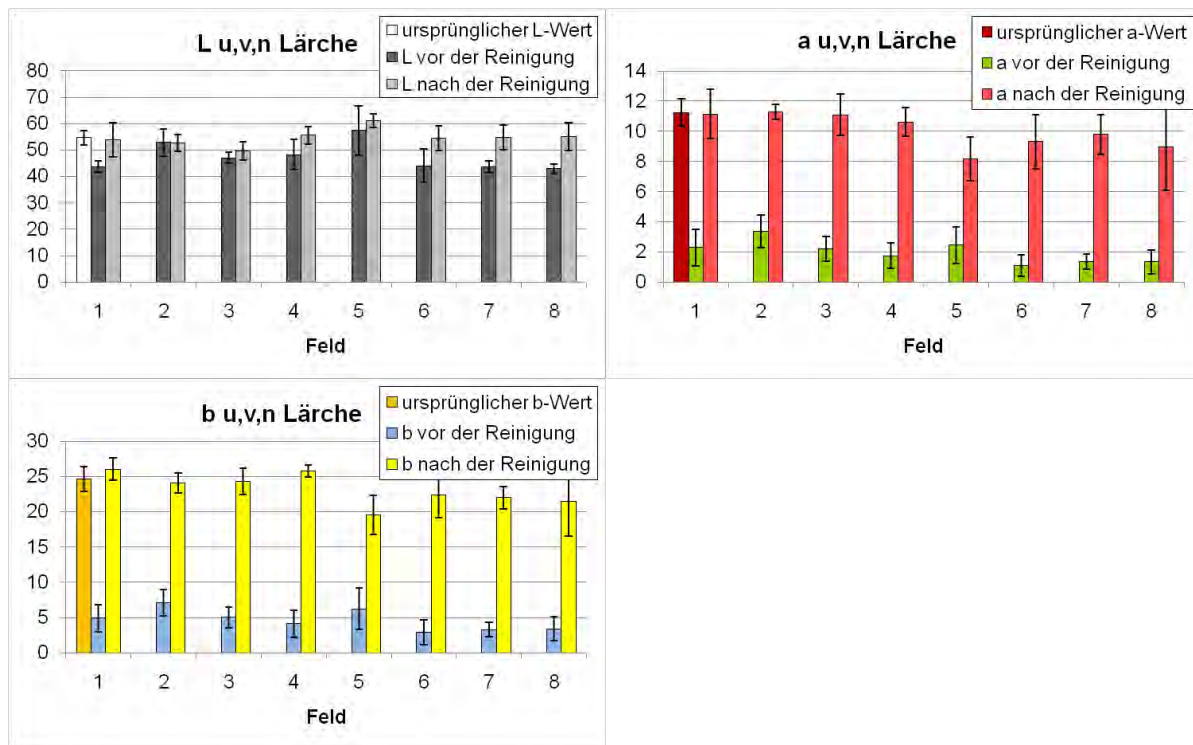


Abbildung 10: Mittelwert und Standardabweichung der Werte L, a und b für die ursprüngliche Farbe, die Farbe vor der Reinigung und die Farbe nach der Reinigung an der Fassade 5 (Lärche).

6.2 Einfluss der Behandlungsparameter und der Holzart auf die Oberflächenqualität

6.2.1 Robinie

Die makroskopische Beurteilung nach der visuellen Methode (siehe Kapitel 5.5) ergab die besten Noten für die Felder 24, 25 und 26 (Gesamtnote =1) auf der Fassade 1 (Robinie). In allen Fällen war die Oberfläche mindestens leicht wollig. Der wollige Effekt konnte auch im REM beobachtet werden (Abbildung 11 und Abbildung 12). Es scheint, dass der Reinigungsprozess die photochemisch abgebauten Substanzen, insbesondere das Lignin herauswäscht. Die sekundäre Zellwand der Holzfasern, hauptsächlich zusammengesetzt aus kristalliner Zellulose, bleibt in einem guten Zustand. Eine Trennung der Fasern ist sichtbar, was zu diesem wolligen Effekt an der Oberfläche führt. REM Beobachtungen zeigen eindeutig, dass die Verschmutzungen, Staub und Mikroorganismen von der Oberfläche entfernt wurden.

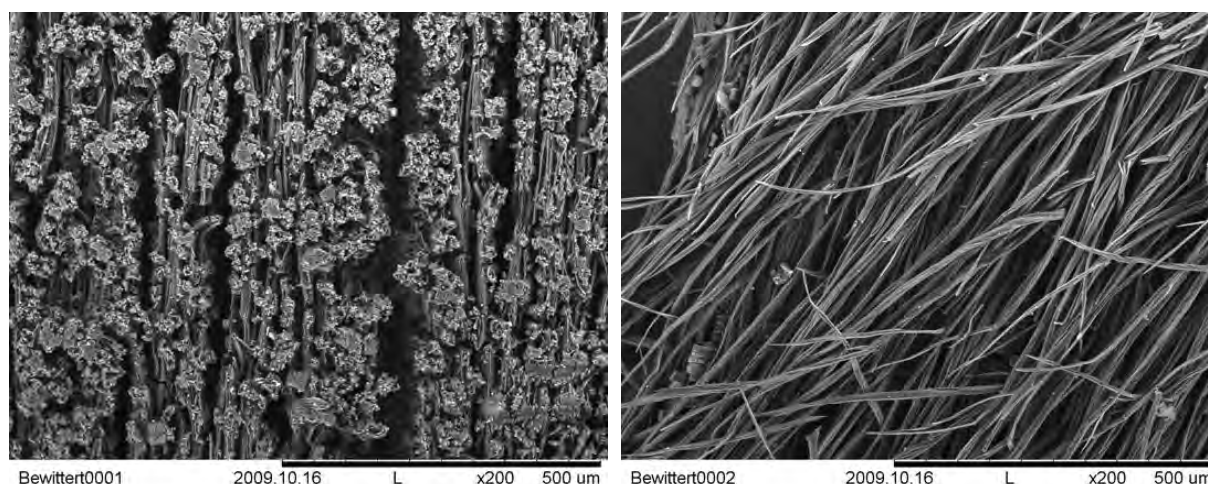


Abbildung 11: REM Aufnahme einer Robinienfassade vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.

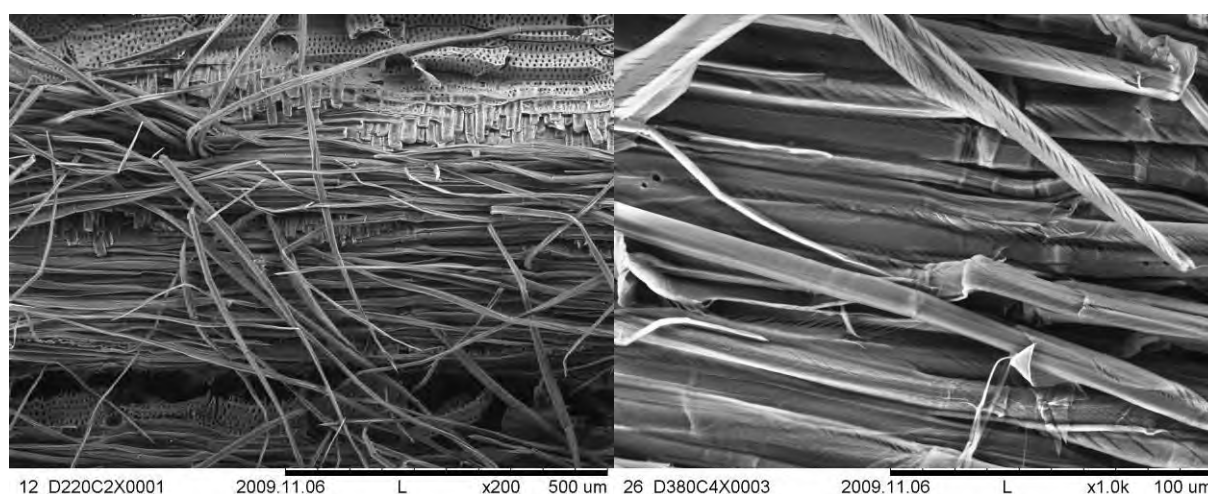


Abbildung 12: Bild links: Vergrößerung X 200 der Robinienfassade nach einer Reinigung mit Wassertemperatur von 20°C und hohem Druck. Die Verschmutzungen wurden entfernt so wie die stark beschädigten Fasern. Die Fasern sind getrennt und frei, was einen wolligen Effekt an der Oberfläche verursacht. Bild rechts: Vergrößerung X 1000 von Fasern nach einer Reinigung mit Wassertemperatur von 80°C und hohem Druck: die Fasern zeigen an ihrer Oberfläche Risse in Form einer Riffelung, was auf eine Schädigung der Zellwand hinweist.

6.2.2 Fichte und Lärche

Die Ergebnisse zeigen, dass Nadelhölzer mit einem geringeren Druck (im Bereich 30-50 bar) gereinigt werden müssen als Laubhölzer (6.1.2). Dies vermeidet ein zu starkes Aufstellen der Fasern an der Oberfläche. Die weiteren Parameter von Robinie (bis auf den Druck) sind gut applizierbar für Fichte- und Lärchenfassaden. Die visuelle Beurteilung zeigt, dass der wollige Effekt intensiver ist bei Nadelhölzern im Vergleich zu Laubhölzern und intensiver ist bei Fichte im Vergleich zur Lärche (Abbildung 13).



Abbildung 13: Oberfläche nach der Reinigung von drei unterschiedlichen Holzarten: (von links nach rechts): Robinie, Fichte und Lärche. Bei Robinie und Lärche ist der wollige Effekt weniger stark als bei Fichte.

Die REM Bilder von den Oberflächen der Fassaden 4 und 5 zeigen transversale und longitudinale Tracheiden Gruppen oder isolierten Tracheiden (Abbildung 14 und Abbildung 15). Die Verschmutzungen erscheinen in kleinen hellen Ansammlungen auf den Tracheiden. Akkumulierungen von Mikroorganismen, Pollen sowie verschiedene Verschmutzungen sind sichtbar.

Nach der Reinigung sind die Tracheiden sauber und es sind kaum noch Verschmutzungen vorhanden. Die Tracheiden sind individuell oder gruppenweise getrennt, was einen wolligen Effekt auf der Oberfläche verursacht. Die Tracheiden zeigen keine transversalen Brüche mehr sondern sind teilweise geknickt und aufgestellt. Dieser wollige Effekt ist intensiver bei Fichte als bei Lärche.

Die beiden Nadelholzfassaden (Fassaden 4 und 5) werden weiter der natürlichen Bewitterung überlassen, um die Entwicklung der Farbe und insbesondere die Dauerhaftigkeit der Behandlung beurteilen zu können.

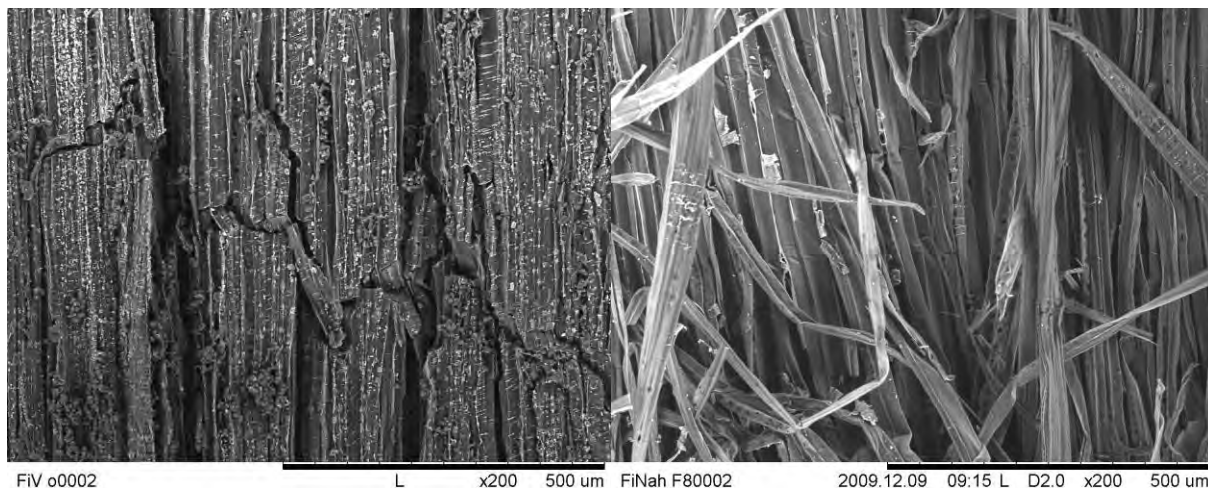


Abbildung 14: REM Aufnahme (Vergrößerung X 200) vor (links) und nach (rechts) der Reinigung einer Fichtenfassade.

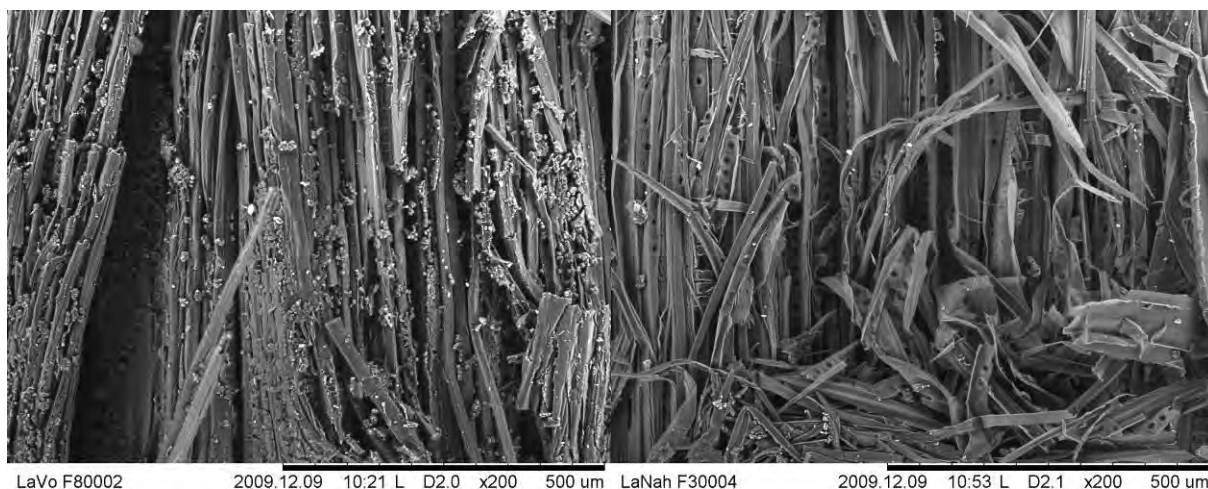


Abbildung 15: REM Aufnahme (Vergrößerung X 200) vor (links) und nach (rechts) der Reinigung einer Lärchenfassade.

6.3 Behandlung von Proben mit verschiedenem Alterungsgrad.

Um den Einfluss des Alterungsgrades auf die Effizienz der Reinigung zu bestimmen, wurde eine Serie von Versuchen auf 3 Holzarten (Eiche, Fichte und Lärche) durchgeführt. Die vorbewitterten Proben (Tabelle 1) wurden auf 1/3 der Oberfläche gereinigt (Abbildung 16). Hierbei wurden die Versuchsparmeter eingesetzt, die in der vorher beschriebenen Versuchserie definiert wurden (für Eiche wurden die Parameter von Robinie verwendet).

Die visuelle Beurteilung ermöglicht den Effekt der Alterung auf das Reinigungsverfahren zu evaluieren. Es scheint, dass bei Eichenproben die Intensität der Alterung keinen sehr grossen Einfluss auf das optische Reinigungsergebnis hat. Die Nadelhölzer deren Oberfläche länger bewittert wurden, zeigen eine dunklere Oberfläche nach der Reinigung. Dieser Effekt ist stärker bei Fichte als bei Lärche.

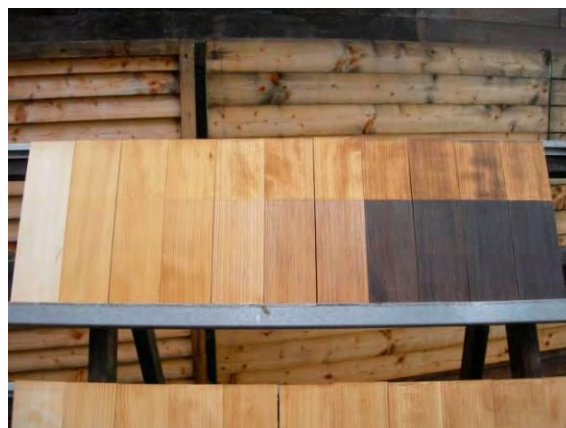


Abbildung 16: Bestimmung des Einflusses der Alterungsintensität des Holzes auf die Effizienz (Homogenität) der Behandlung für drei Holzarten: Eiche (links), Lärche (links) und Fichte (rechts).

6.4 Einfluss der Behandlung auf verschiedene Arten von Verfärbungen.

Mit Hilfe dieser Versuchsserie sollte abgeschätzt werden, ob farbliche Unterschiede auf einer Fassadenoberfläche durch eine entsprechende Behandlung ausgeglichen werden können. Die Fassaden, die spezifische architektonische Merkmale aufweisen, wie zum Beispiel ein schmales Vordach, unterliegen einer inhomogenen Verwitterung und verfärben sich unterschiedlich. Die geschützten Teile der Fassade werden durch die Sonne (UV Licht) bestrahlt aber nicht vom Regen beansprucht. In diesem Fall bilden sich braune Verfärbungen, da die photochemisch abgebauten Substanzen der Mittellamelle (Lignin) nicht abgebaut und ausgewaschen werden. Die Versuche wurden auf einer Robinien- und einer Eichenfassade durchgeführt (Fassade 2 und 3) die sehr heterogene Zonen zeigten. Auf der Abbildung 17 (Fassade 2) ist der oberste Bereich der Sonne exponiert aber vom Regen geschützt. Es zeigen sich braune Verfärbungen. Der unterste Bereich ist der Sonne und dem Regen exponiert und es zeigt sich ein typisches Vergrauen. Der mittlere Bereich, zeigt beide Arten der Verfärbung. Diese drei Bereiche wurden mit Hilfe des REM, s vor und nach der Reinigung untersucht:

In dem Bereich, der am besten durch das Vordach geschützt wurde (braun verfärbt), ist vor der Reinigung eine Schicht erkennbar, die wie ein Harz erscheint und die ganze Oberfläche des Holzes überdeckt. Diese Schicht ist brüchig, es können überall Risse in allen Richtungen beobachtet werden. Es handelt sich wahrscheinlich um Komponenten der Zwischenlamelle, die sich durch die Sonnenstrahlung verändern. Diese Substanz verteilt sich dann an der Oberfläche der Fassade und härtet aus beim Abkühlen. Das Schwinden und Quellen des Holzes aufgrund der Feuchtigkeitsänderungen verursacht vermutlich die zahlreichen Risse.

Der mittlere Bereich zeigt eine ähnliche Oberfläche wie schon auf der vergrauten Robinienfassade 1 beobachtet werden konnte (siehe Abbildung 11). Es sind allerdings deutlich weniger Verschmutzungen und weniger Sporen von Mikroorganismen sichtbar. Es sind aber zahlreiche Quarkristalle sichtbar die höchst wahrscheinlich durch Wind auf die Fassade geweht wurden. Der Boden unter dieser Fassade besteht aus Kies und Sand.

Der unterste Bereich ist vergraut, vergleichbar mit der Robinien Fassade 1. Man findet die gleiche Art von starken Schädigungen der Fasern sowie eine wesentlich höhere Ansammlung von Schimmel und unterschiedlichen Verschmutzungen.

Mit den bereits definierten, optimalen Parametern wurde der erste Versuchsplan bestimmt. Die Reinigung führt tatsächlich zu einer Homogenisierung der Farbe. Die braunen Zonen sind aufgehellt, allerdings werden sie nicht ganz eliminiert. Ob diese Farbangleichung ausreicht unterliegt dem individuellen Empfinden und müsste unter Umständen in einem Folgeschritt evaluiert werden. Die völlige Eliminierung der braunen Zonen benötigt offenbar den Einsatz von chemischen Stoffen.

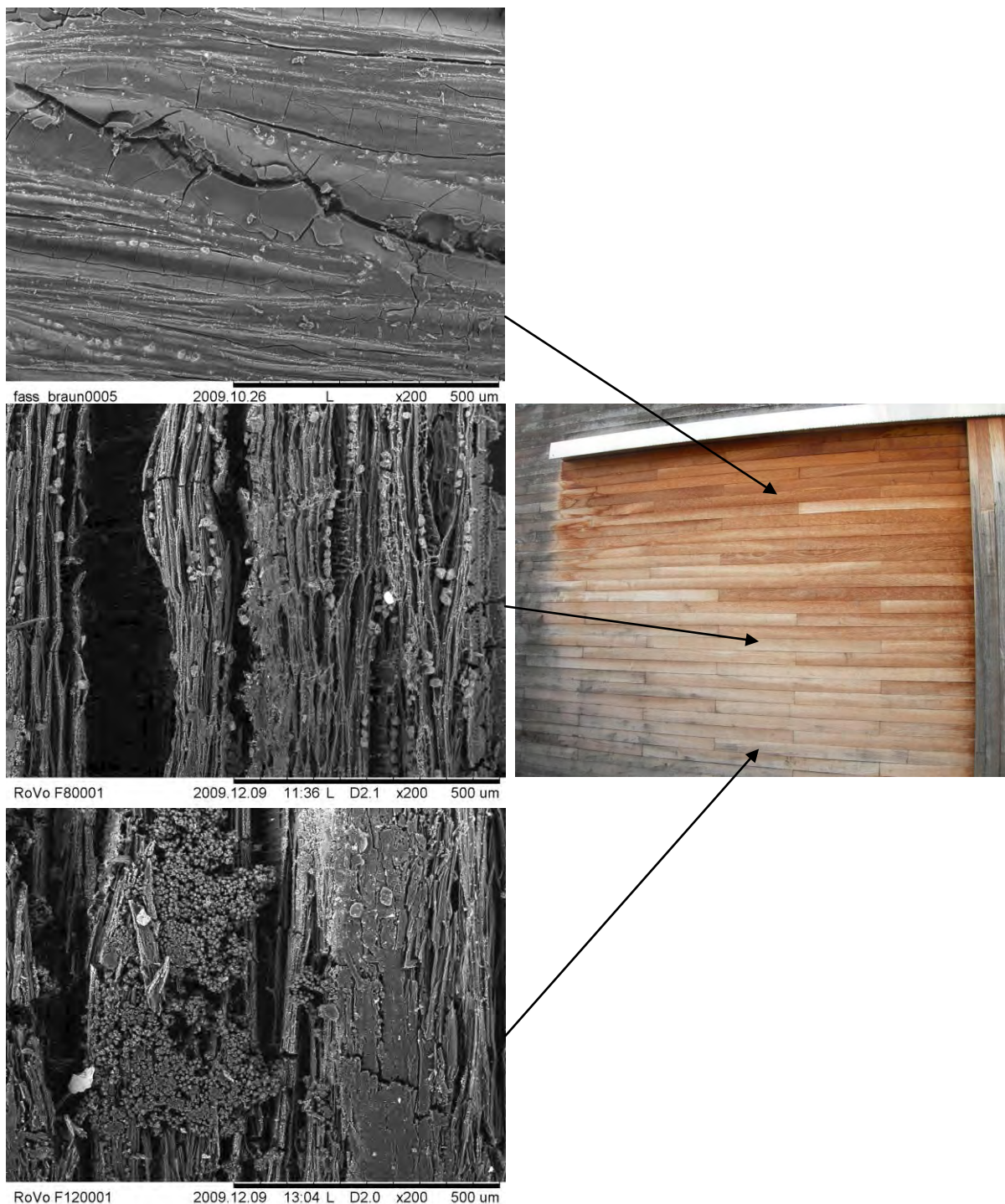


Abbildung 17: Stadien der Verfärbung an der Fassade 2 (Robinie) mit kleineren Vertiefungen. Die REM-Aufnahmen zeigen die Oberflächencharakteristik abhängig vom Verfärbungstyp.
avant toit et décolorée de façon graduelle.

6.5 Einfluss einer chemischen Reinigung auf die Homogenisierung der Farbe.

Um den Einfluss einer chemischen Reinigung im Vergleich zu einer Reinigung ohne Zusatzmittel auf die Homogenisierung der Farbe zu untersuchen, wurden die Fassaden 2 und 3 mit unterschiedlichen Chemikalien vorbehandelt und gereinigt. Einige Felder wurden ohne Chemikalien gereinigt um Referenzwerte zu erhalten. Bei der Fassade 3 wurden die L, a und b Werte der verschiedenen Felder vor und nach der Reinigung ermittelt (Abbildung 18). Die Resultate zeigen, dass nach der Reinigung bei allen Feldern die Standardabweichung der Werte L, a, und b deutlich geringer ist. Dies ist besonders relevant für die a-Werte. A-Werte entsprechen der Rottönung des Holzes. Auf dieser südexponierten Fassade waren deutlich fleckige Zonen zu beobachten mit einer Rottönung (Felder 1 bis 4 und 11 bis 12). Der untere Teil der Fassade (Felder 5 bis 8) zeigte eine typische graue Verfärbung bedingt durch eine natürliche Bewitterung mit Regen. Die Felder unterscheiden sich vor der Reinigung besonders durch ihre a- und b-Werte und deren Standardabweichung.

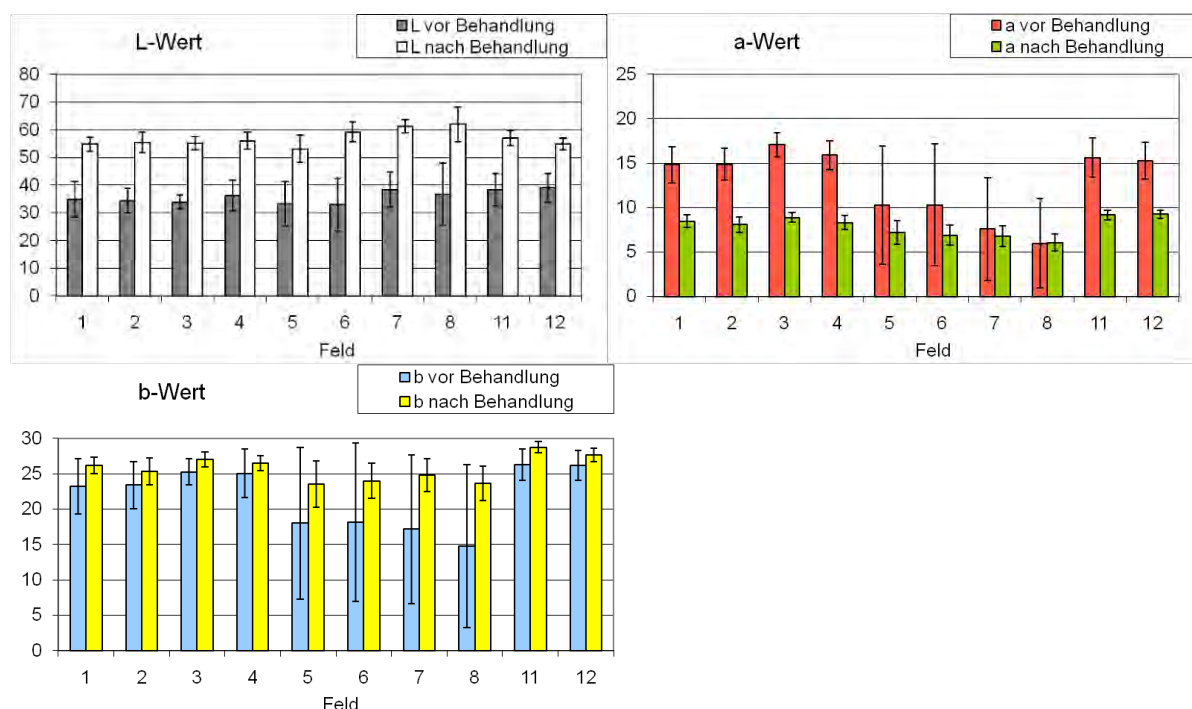


Abbildung 18: Mittelwert und Standardabweichung der Werte L, a und b für die Farbe vor der Reinigung und die Farbe nach der Reinigung an der Fassade 3 (Eiche).

Die Farbe nach der Reinigung ist feldübergreifend sehr homogen geworden. Unterschiede durch die Verwendung von Chemikalien im Vergleich zu nicht chemisch behandelten Feldern sind praktisch kaum sichtbar (Abbildung 20). Die Felder 5 bis 8 bleiben nach der Reinigung etwas blasser im Vergleich zu den anderen Feldern. Dieses Phänomen lässt sich dadurch erklären, dass diese Felder stärker bewittert wurden und somit weniger abgebautes Lignin enthalten, welches unter anderem für die gelb-braun Tönung verantwortlich ist. Bei der L^*a^*b Messung und bei der optischen Beurteilung ist kein signifikanter Unterschied zwischen der Reinigung mit Wasserstoffperoxid (verschiedene Konzentrationen), Natronlauge und Javelwasser zu erkennen (Abbildung 21).



Abbildung 19: Beispiel für die Homogenisierung der Farbe mit einer Reinigung von 110 bar und 80°C Wasser auf einer Eichenfassade (Fassade 3) nicht vorbehandelt (Feld 1) Zustand vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.



Abbildung 20: Beispiel Homogenisierung der Farbe mit einer Reinigung von 110 bar und 80°C Wasser auf einer Eichenfassade (Fassade 3) vorgesprüht mit Wasserstoffperoxid 20% (Feld 7 Unten). Zustand vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.



Abbildung 21: Südexponierte Eichenfassade (Fassade 3) vor und nach den Reinigungsarbeiten.

7 VORSICHTSMASSNAHMEN UND ERGEBNISSE FÜR DIE PRAXIS

Es ist unbedingt notwendig die zu behandelnde Fassade vor der Behandlung auf Ritzen, Spalten oder undichte Stellen zu überprüfen und abzuschätzen, ob bei einem Eindringen von Wasser im oder am Gebäude ein Schaden entstehen könnte. Gegebenenfalls gilt es im Voraus Wertgegenstände in Si-

cherheit zu bringen, Dichtungen, innenseitige Abdeckungen oder Auffangvorrichtungen anzubringen. Auch während des Versuches ist es vorteilhaft zeitweilig die Wirkung des Wassers auf den Innenraum bzw. auf die Unterkonstruktion (Folien, Dämmung etc.) zu beobachten. Es empfiehlt sich in dieser Hinsicht ein sehr behutsames Vorgehen.

In jedem Fall sollten für die Fassadenreinigung an unbehandelten Holzfassaden die geltenden kantonalen Vorschriften für Gewässerschutz eingehalten werden. Es sind die Vorschriften gemäss der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 einzuhalten. Für den Kanton Bern sind diese Vorschriften in Form eines Merkblatts bei der Bau-, Verkehrs und Energiedirektion des Kantons Bern zu erhalten.

Als Resultat dieser Studie wurde ein Merkblatt verfasst (siehe Anhang A:). Ein Artikel in der Zeitschrift Holzbaumark Schweiz wurde veröffentlicht (siehe Anhang B).

8 SCHLUSSFOLGERUNG

Im durchgeführten Projekt wurden optimale Parameter für eine Behandlung von verfärbten, unbehandelten Holzfassaden definiert. Die Versuche wurden für Laubholzfassaden wie auch für Nadelholzfassaden durchgeführt. Die Behandlungsmethode und die Parameter wurden so definiert, damit eine hohe Effizienz bei der Reinigung und eine hohe Farbhomogenität der Fassaden nach der Behandlung erreicht werden kann. Der Einfluss von verschiedenen Parametern wie Holzart, der Alterungsgrad, die Art der Verfärbung wurden untersucht. Es zeigt sich, dass bei Nadelhölzern ein niedrigerer Druck eingesetzt werden muss. Ein Druck von 100 bar hat sich für Eichen- und Robinienfassaden als gut geeignet erwiesen. Bei Lärche und Fichte verhindert ein niedrigerer Druck (50 bar) eine Schädigung an der Oberfläche. Ist die Fassade vergraut, ist die Wasser Hochdruckreinigung mit einer Temperatur von 60°C-80°C sehr effizient. Die Farbe nach der Reinigung ist sehr nahe an der ursprünglichen Farbe. Bei Fichte kann sich eine Rottönung ergeben. Bei einer südexponierten Robinienfassade mit Vordach konnte die braune Tönung eliminiert werden. Die Untersuchung mit Hilfe des REM_s konnte aufzeigen, dass die Schmutzpartikel, Sporen und Sandkörner von der Oberfläche entfernt werden. Die Fasern sind nach der Reinigung getrennt, was einen leicht wolligen Effekt an der Oberfläche ergibt. Weitere, nachfolgend aufgeführte Aspekte sollten künftig weiter untersucht werden, um eine möglichst breite Umsetzung der erarbeiteten Methode zu ermöglichen:

- Die Entwicklung der Farbe und der Oberflächenqualität nach der Reinigung während der weiteren natürlichen Verwitterung. Die Resultate würden helfen zu definieren in welchen Zyklen die Reinigung wiederholt werden kann.
- Der Einfluss der Feuchtigkeit oder die Risiken von eindringendem Wasser auf die Funktionalität der Wand.
- Erarbeiten von Konstruktionsdetails von Fassaden für einen optimalen Unterhalt von unbehandelten Holzfassaden mittels Hochdruckreiniger

9 BESTIMMUNGEN ZUM VORLIEGENDEN BERICHT

Dieser Bericht darf nicht ohne Genehmigung der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau auszugsweise vervielfältigt werden. Jegliche Veröffentlichung des Berichts oder von Teilen davon bedarf der schriftlichen Zustimmung der Fachhochschule. Ein Original dieses Berichts wird für 5 Jahre aufbewahrt. Dieser Bericht ist nur mit den Unterschriften des Abteilungsleiters F+E und des Projektverantwortlichen gültig.

9.1 Umfang des Berichts

Dieser Forschungsbericht besteht aus dem Titelblatt, dem Abstract und 33 Seiten inkl. Anhang.

10 VERZEICHNISSE

10.1 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eingesetzte Fassaden und Verwitterungsproben für die verschiedenen Versuche der Studie	8
Tabelle 2: Liste der Chemikalien für die Versuche	9
Tabelle 3: Legende der Abkürzungen zu den im Versuchsplan aufgeführten Einstellungsparametern ..	9
Tabelle 4: Versuchsplan Fassade 1 (Robinien)	10
Tabelle 5: Versuchsplan Fassade 2 (Robinien)	11
Tabelle 6: Versuchsplan Fassade 3 (Eiche)	11
Tabelle 7: Versuchsplan Fassade 4 (Fichte)	12
Tabelle 8: Versuchsplan Fassade 5 (Lärche)	12
Tabelle 9: Versuchsplan Gewitterte Proben (Verschiedene Holzarten)	12
Tabelle 10: Visuelle Beurteilung der Oberflächenqualität nach der Reinigung.	13

10.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsfelder und Reinigung an der Fassade 1(rechts) und der Fassade 4 (links).....	13
Abbildung 2: Vorbehandlung mit Chemikalien (links) und Versuchsfelder (rechts) an der Fassade 3.	13
Abbildung 3: L*a*b Farbsystem.	14
Abbildung 4: Farbe Änderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 1 (Robinien).	14
Abbildung 5: Farbeänderungen (L, a und b) mit Standardabweichung vor und nach der Reinigung der Fassade 1 für alle Felder.	15
Abbildung 6: Farbänderungen (L, a und b) mit Standardabweichung vor und nach der Reinigung der Fassade 3 für die Felder 1, 11 und 12.	16
Abbildung 7: Farbänderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 4 (Fichte).....	16
Abbildung 8: Mittelwert und Standardabweichung der Werte L, a und b für die ursprüngliche Farbe, die Farbe vor der Reinigung und die Farbe nach der Reinigung an der Fassade 4 (Fichte).	17
Abbildung 9: Farbänderungen $\Delta E_{u,n}$ und $\Delta E_{v,n}$ mit Standardabweichung der Fassade 5 (Lärche). ..	17
Abbildung 10: Mittelwert und Standardabweichung der Werte L, a und b für die ursprüngliche Farbe, die Farbe vor der Reinigung und die Farbe nach der Reinigung an der Fassade 5 (Lärche).....	18
Abbildung 11: REM Aufnahme einer Robinien Fassade vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.	19
Abbildung 12: Bild links: Vergrößerung X 200 der Robinien Fassade nach einer Reinigung mit Wassertemperatur von 20°C und hohem Druck. Die Verschmutzungen wurden entfernt so wie die stark beschädigten Fasern. Die Fasern sind getrennt und frei, was einen wolligen Effekt an der Oberfläche verursacht. Bild rechts: Vergrößerung X 1000 von Fasern nach einer Reinigung mit Wassertemperatur von 80°C und hohem Druck: die Fasern zeigen an ihrer Oberfläche Risse in Form vom Riffelung was auf eine Schädigung der Zellwand zurückzuführen ist.	19
Abbildung 13: Oberfläche nach der Reinigung von drei unterschiedlichen Holzarten: (von links nach rechts): Robinie, Fichte und Lärche. Bei Robinie und Lärche ist der wollige Effekt weniger stark als bei Fichte.	19
Abbildung 14: REM Aufnahme (Vergrößerung X 200) vor (links) und nach (rechts) der Reinigung einer Fichtenfassade.....	20
Abbildung 15: REM Aufnahme (Vergrößerung X 200) vor (links) und nach (rechts) der Reinigung einer Lärchenfassade.	20
Abbildung 16: Bestimmung des Einflusses der Alterungsintensität des Holzes auf die Effizienz (Homogenität) der Behandlung für drei Holzarten: Eiche (links), Lärche (links) und Fichte (rechts).	21
Abbildung 17: Graduelle Verfärbung an der Fassade 2 (Robinien) mit kleinem Vordach. Die REM Aufnahmen zeigen die Oberflächencharakteristik abhängig vom Verfärbungstyp.	22

- Abbildung 19: Beispiele Homogeneisierung der Farbe mit einer Reinigung von 110 bar und 80°C Wasser auf einer Eichenfassade (Fassade 3) nicht vorgesprüht (Feld 1) Zustand vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.23
- Abbildung 20: Beispiele Homogeneisierung der Farbe mit einer Reinigung von 110 bar und 80°C Wasser auf einer Eichenfassade (Fassade 3) vorgesprüht mit Wasserstoffperoxid 20% (Feld 7 Unten). Zustand vor (links) und nach (rechts) der Reinigung.24
- Abbildung 21: Süd-exponierte Eichenfassade (Fassade 3) vor und nach der Reinigungsarbeiten.24

10.3 Literaturverzeichnis

- Erler Klaus (2002): Holz im Aussenbereich, Birkhäuserverlag
- Feist W.C., Hon D. (1984): Chemistry of Weathering and Protection, aus "Chemistry of solid wood" Advances in Chemistry Series No. 207 by Rowell R.M, American chemical Society's, 401-451
- Schöftner J. (1989): Die Verfärbung des Holzes durch Licht, Diplomarbeit , Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Holzforschung
- Fengel, D. Wegener G. (2000) Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Verlag : Kessel, Norbert. ISBN : 978-3-935638-39-5.
- Sell J. (2001): Oberflächenschutz von Holzfassaden, Lignatec/ Die technischen Holzinformation der Lignum 13
- Hon D. N.-S. (1991): Photochemistry of wood, In: Hon D.N.-S., Shiraishi N. (Ed.): Wood and Cellulose Chemistry, Kap. 11, 525-555, New York, Mark Dekker
- Williams R.S., Knaebe M.T., Sotos P.G., Feist W.C. (2001): Erosion Rates of Wood during natural Weathering: Part 1 Effects of Grain Angle and Surface Texture, Wood and Fiber Science, 33(1) 31-42
- ISO 7724/3-1984: Lacke und Anstrichstoffe; Farbmessung; Teil 3: Berechnung von Farbabständen.

Merkblatt zur Reinigung von unbehandelten Holzfassaden mit dem Hochdruckreiniger

Dieses Merkblatt wurde im Rahmen eines vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung finanzierten Forschungsprojekts an der BFH AHB erarbeitet.

A. Welche Arten von Fassaden können gereinigt werden?

- ✓ Fassaden sollten aus unbehandeltem **Massivholz** (**Laub- oder Nadelholz**) sein.
- ✓ Fassaden die so beschaffen sind, dass entweder **kein Wasser in darunter liegende Bauteile dringen** oder dass eindringendes Wasser keine Schädigung den darunterliegenden Schichten verursachen kann.
- ✓ Fassaden mit **senkrecht** oder **waagrecht** angeordneten Lamellen.
- ✓ Fassaden die durch **natürliche Bewitterung verfärbt** wurden (z.B. Vergrauen, Verschmutzungen durch Umwelteinflüsse, Verfärbung durch Mikroorganismen).



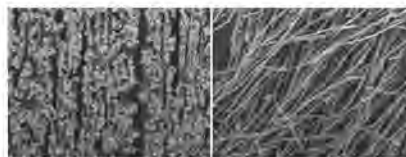
Homogenisierung der Farbe durch Hochdruck Wasserreinigung an einer Fichtenfassade in Pärty (JU) (Foto: BFH AHB)

B. Was ist das Ergebnis einer Hochdruckreinigung mit heissem Wasser an einer Holzfassade?

- ✓ Mit der Reinigung kann an ungleichmässig verfärbten und verwitterten Holzfassaden eine gleichmässig, **homogene Farbe erreicht werden**.
- ✓ Die Reinigung ermöglicht die **schwarz/graue Verfärbung und Verschmutzung** zu entfernen.
- ✓ Die Reinigung ermöglicht eine **Aufhellung der braunen Verfärbungen**. Diese Verfärbung kommt durch den Abbau von Lignin durch UV Strahlung zu Stande. Um diese braunen Flecken vollständig zu entfernen kann auch eine chemische Vorbehandlung vorangehen.
- ✓ Mit der Reinigung werden Verschmutzungen,

Staub, Pollen, Sporen und Myzelien von Schimmelpilze, Reste von zersetzten Fasern sowie andere **natürliche Verschmutzungen** von der Fassadeoberfläche entfernt.

- ✓ Das Reinigungswasser entfernt abgebaute Teile der Holzfasern. Es handelt sich hierbei hauptsächlich um Mittellamellen, durch welche die Fasern aneinander haften. Dadurch werden die Fasern getrennt und die Oberfläche erscheint auf makroskopischer Ebene **leicht wollig**.



Aufnahme der Oberfläche einer Robinienfassade mit Rasterelektronenmikroskopie vor und nach der Reinigung (Foto: BFH AHB)

- ✓ Mit optimalen Reinigungsparametern ist der Farbunterschied (ΔE) zwischen der gereinigten Fassade und der ursprünglichen Fassade **kleiner als 10**, was für das menschliche Auge kaum sichtbar ist.

C. Verwendetes Gerät

- ✓ Die Versuchsreihe wurde mit einem Warmwasserhochdruckreiniger der Marke **Kärcher**, Typ HDS 10/20 - 4MX durchgeführt.
- ✓ Empfohlener **Leistungsbereich** für den Einsatz von Hochdruckreinigern für die Reinigung von unbehandelten Holzfassaden :

Durchfluss	Betriebsdruck	Max. Temperatur
500-1000 L/- Std..	30-120 bar	80°C

- ✓ Das Gerät sollte mit einem **Düsenset** ausgerüstet sein, welches eine Variation des Druckes zwischen 30 bis 120 bar ermöglicht..
- ✓ Rotierende Düsen sollten nicht verwendet werden, da sie Schaden an der Holzoberfläche verursachen können.

- ✓ Mit rotierenden Bürsten und Dampfdüsen wurde ein schlechteres Reinigungsergebnis erzielt
- ✓ Das Gerät muss die **geltenden Normen** und Anforderungen erfüllen.

D. Empfohlene Parameter für die Reinigung

Diese Parameter wurden ermittelt und optimiert im Rahmen einer Versuchsserie mit 4 Holzarten: **Robinie, Eiche, Fichte und Lärche**. Es ist zu beachten, dass die Oberfläche einer Fichtenfassaden nach der Reinigung „wolliger“ wirken kann wie die der anderen Holzarten.

Parameter des Gerätes	Laubhölzer (Robinie, Eiche,...)	Nadelhölzer (Fichte, Lärche,...)
Wasserdruck	110 bar	50 bar
Temperatur	80°C	80°C
Anzahl Durchgänge	2 bis 4 mit eine 20s Pause nach den 2 ersten Durchgänge	
Abstand Düse-Fassade	ca. 20 cm	
Winkel des Wasserstrahls	ca. 25°	

E. Informationen für den Anwender

- ✓ Machen sie, wenn immer möglich, einen **Vorversuch** an einer schlecht sichtbaren Stelle der Fassade oder an einem anderen Holzelement.
- ✓ Stellen Sie sicher, dass hinter der Fassade liegende Bauteile (Dämmungen, Folien etc.) **nicht durchnässt oder beschädigt** werden. Bei nicht vollständig geschlossenen Fassaden ist die Hochdruckreinigung **nicht geeignet** bzw. nur wenn sichergestellt ist, dass dahinter liegende Bauteile nicht geschädigt werden durch eindringende Feuchtigkeit bzw. durch den hohen Druck des Wasserstrahls.
- ✓ **Schützen** sie alle wasserempfindlichen und offenen Stellen der Fassade (Fenster, Rahmen, Beschläge, usw) vor dem Wasserstrahl mit einer geeigneten Folie.
- ✓ **Schützen** Sie sich mit Gummistiefeln, wasserdichten Kleidern, Schutzbrillen und Schutzhandschuhen. **Achten Sie auf die gesetzlichen Vorschriften des Arbeitsschutzes.**
- ✓ Die Reinigung sollte nur an **frostsicheren** Tagen durchgeführt werden. Die Fassade sollte nach der Reinigung ausreichend **trocknen** können.

- ✓ Achten Sie auf einen **sicheren Stand** auf der Hebebühne bzw. auf dem Gerüst.
- ✓ Beachten Sie die **Gebrauchsanweisung** des Geräteherstellers.
- ✓ Stellen Sie eine ausreichende **Strom** und **Wasserversorgung** sicher.
- ✓ Beachten Sie die **kantonalen Vorschriften zum Gewässerschutz** bei der Reinigung der Fassaden (**Abwasser**).
- ✓ Es wird empfohlen mit der Reinigung bei den am stärksten **verschmutzten** Zonen zu beginnen (im Normalfall der untere Teil der Fassade) und am Schluss die gesamte Fassade noch einmal von oben bis unten ohne Druck abzusprühen.
- ✓ Reinigen Sie die Elemente immer entlang der **Faserichtung** mit einer regelmäßigen Arbeitsgeschwindigkeit von ca. **40 s/m²**. Arbeiten Sie flächenweise (ca. **1m²**).
- ✓ Überprüfen Sie regelmässig die Gleichmässigkeit der gereinigten Fläche und ob keine Bearbeitungsspuren sichtbar sind.

Zusätzliche Informationen über Inhalt und Ergebnisse des Forschungsprojektes können Sie bei der Berner Fachhochschule erhalten:

Christelle Ganne-Chédeville
 Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau
 Solothurnstrasse 102
 2500 Biel
 Tel +41 32 344 03 86
 Fax +41 32 344 03 91
 e-Mail christelle.ganne-chedeville@bfh.ch
 www.ahb.bfh.ch

 **Berner Fachhochschule**
 Architektur, Holz und Bau

Projektpartner aus der Holzwirtschaft:



Projektpartner für Hochdruckreinigung :





Fiche technique pour le nettoyage haute pression des façades en bois massif non finies

Cette fiche technique a été réalisée dans le cadre du projet de recherche de la HESB ABGC « Fassaden Reinigung » financé par l'OFEV (2009-2010).

A. Quelles façades peuvent être nettoyées ?

- ✓ Les façades à nettoyer peuvent être en bois massif de feuillus ou de résineux.
- ✓ Les façades ne doivent **pas être ajourées** et elles doivent avoir été installées dans les règles de l'art. Les clins doivent être jointifs et la façade hermétique de façon à ce qu'aucune entrée d'humidité dans la construction sous-jacente ne soit possible.
- ✓ Les façades peuvent avoir un bardage **vertical ou horizontal**.
- ✓ Les façades doivent avoir été exposées aux intempéries et présenter des discolorations telles qu'un grisaillement, des salissures dues à la pollution atmosphérique ou d'autres types de **discolorations naturelles**.



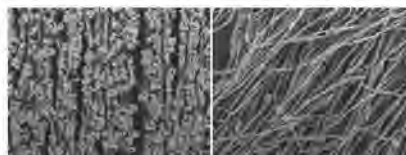
Homogénéisation par nettoyage d'une façade en Epicéa à Péry (JU) (Photo : HESB ABGC)

B. Quel est l'effet d'un nettoyage par pulvérisation d'eau chaude sous pression sur la façade ?

- ✓ L'objectif du nettoyage est de redonner une **couleur homogène** à la façade sans pour autant exiger de retrouver la couleur initiale du bois.
- ✓ Le nettoyage permet d'enlever la **tonalité noire/grise** de la façade.
- ✓ Le nettoyage permet d'**éclaircir les taches brunes** dues à la dégradation de la lignine par les UV, sans les supprimer totalement. Pour leur suppression un nettoyage chimique est conseillé.

- ✓ Le nettoyage provoque la **disparition** des salissures, poussières, grains de pollen, spores et mycélium de moisissures, débris de fibres désagrégées et autres **salissures naturelles** de la surface de la façade.

- ✓ L'eau de nettoyage entraîne avec elle les parties dégradées des fibres, essentiellement la lamelle moyenne maintenant les fibres entre elles, provoquant leur désolidarisation en surface. Cette désolidarisation se manifeste à l'état macroscopique par un **aspect légèrement laineux**.



Observations au microscope électronique à balayage d'une façade de robinier avant et après nettoyage (Photo : HESB ABGC)

- ✓ Dans des conditions optimales de nettoyage, la différence de couleur ΔE entre la surface nettoyée et la surface neuve est **inférieure à 10**, ce qui n'est presque pas visible par l'œil humain.

C. Quel appareil utiliser ?

- ✓ Cette fiche technique a été réalisée sur la base de résultats obtenus avec un nettoyeur haute pression à eau chaude **Kärcher** (HDS 10/20 - 4MX).
- ✓ L'appareil choisi doit permettre de fournir les **paramètres** suivants :

Débit d'eau	Pression de service	Température max.
500-1000 L/h	30-120 bar	80°C

- ✓ L'appareil doit être équipé d'un jeu de **buses** permettant de varier les pressions de 30 à 120 bars



- ✓ Les buses à rotation ne doivent pas être utilisées sous peine d'endommager la façade
- ✓ Les brosses rotatives et les buses vapeur ne doivent pas être utilisées sous peine de ne pas obtenir un nettoyage suffisamment efficace
- ✓ Il s'agit d'appareils industriels nécessitant une **formation**. L'appareil doit être aux **normes en vigueur**.

D. Paramètres de réglage conseillés pour le nettoyage

Ces paramètres ont été optimisés suite à une série d'essais étendue sur 4 essences : le **robinier**, le **chêne**, l'**épicéa** et le **mélèze**. Il est à noter que les façades en épicéa peuvent présenter, après nettoyage, un aspect beaucoup plus laineux que les autres types de façade.

Paramètre machine	Feuillus (robinier, chêne,...)	Résineux (épicéa, mélèze,...)
Pression machine	110 bar	50 bar
Température	80°C	80°C
Nombre de passages	2 à 4 avec une pause de 20s après les 2 premiers passages	
Distance buse-façade	env. 20 cm	
Angle du jet d'eau	env. 25°	

E. Conseils pour l'opérateur

- ✓ Effectuez, si possible, au préalable, un **essai** sur une surface cachée de la façade ou un autre élément de bois.
- ✓ **Protégez** toutes les parties ouvertes de la façade (fenêtres, menuiseries, ferrures...) des projections d'eau à l'aide d'un film plastique imperméable résistant.
- ✓ **Equipez-vous** de bottes en caoutchouc, vêtements imperméables, lunettes de protection et gants de manutention. **Respectez les dispositions légales de sécurité du travail.**
- ✓ Choisissez d'effectuer le nettoyage à la **demi-saison** (printemps ou automne), en dehors des périodes de gel ou de chaleur et un jour sans pluie.
- ✓ Prévoyez des **systèmes** permettant d'accéder

facilement à toutes les parties de la façade.

- ✓ Validez une **formation** sur l'appareil.
- ✓ Prévoyez les **raccords** nécessaires en eau et en électricité.
- ✓ Veillez à respecter les **prescriptions cantonales de la protection des eaux** applicables aux ravalements de façades.
- ✓ Il est conseillé de commencer le nettoyage par les parties les plus **sales** (généralement les parties les plus proches du sol) et de finir le nettoyage par un **rinçage** complet, **sans pression** du haut jusqu'en bas de la façade.
- ✓ Effectuer le nettoyage toujours en suivant le **sens des fibres**, avec une vitesse d'environ **40 s/m²** régulière et avec un mouvement régulier.
- ✓ Travaillez en nettoyant des surfaces de **1m²** environ de façon successive.
- ✓ Vérifiez à intervalles réguliers l'**homogénéité** de votre travail.

Des informations complémentaires sur les procédés et les travaux de recherche peuvent être obtenues auprès de la Haute école spécialisée bernoise :

Christelle Ganne-Chédeville
Haute école spécialisée bernoise, Architecture, bois et génie civil
Route de Soleure 102
2500 Bienne
Phone +41 32 344 03 86
Fax +41 32 344 03 91
e-mail christelle.ganne-chedevice@bfh.ch
www.ahb.bfh.ch

● ● ● ● ● Haute école spécialisée bernoise
Architecture, bois et génie civil

Partenaire de l'économie du bois :



Partenaire machine de nettoyage :



Anhang B: ARTIKEL

hbs | Forschung

Forschungsprojekt Fassaden

In einem vom Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung (BAFU) unterstützten Forschungsprojekt untersucht die Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau (BFH-AHB) zusammen mit den Firmen Kärcher AG Schweiz und Schilliger AG die Reinigung von unbehandelten Holzfassaden mittels Hochdruckreiniger. Ziel des Projekts ist es, die Akzeptanz von Holzfassaden zu erhöhen und damit den Einsatz von Holz zu steigern.

Prof. Bernhard Letsch *

Holzfassaden werden in der modernen Architektur als wesentliches Gestaltungselement eingesetzt. Die Tendenz ist steigend. Ein erheblicher Teil dieser Fassaden besteht aus unbehandeltem Holz. Eine Holzfassade aus unbehandeltem Holz weist vor allem in den ersten Betriebsjahren, je nach Exposition, Konstruktion und Holzart, Verwitterungserscheinungen auf. Diese führen zu einem fleckigen Erscheinungsbild, das teilweise als störend empfunden wird. In breiten Teilen der Bevölkerung führt dies zu einem schlechten Image, was den verstärkten Einsatz von Holzfassaden erschwert.

Behandelte Holzfassaden versus unbehandelte Holzfassaden

Eine Lösung des Problems ist der Einsatz von behandelten Holzfassaden. Für dauerhaftere Lösungen zielen diese auf den Einsatz von beständigeren Farben für die Aussenbeschichtung oder – bei farblosen Systemen – auf den Einsatz von Zusätzen wie z. B. Nanopartikeln oder anderen funktionalen Verbindungen, die das Holz vor Verwitterung schützen ab. Häufig ist es nötig, die Oberfläche von behandelten Holzfassaden in regelmässigen Zyklen zu erneuern bzw. zu behandeln.

Unbehandelte Fassaden werden in der Regel dem Verwitterungsprozess überlassen, und es wird angenommen, dass mit der Zeit ein gleichmässiges Erscheinungsbild entsteht. Dies ist allerdings abhängig von der Exposition und Konstruktion und nur in seltenen Fällen gewährleistet.

Ursachen der Verwitterung

Die Ursachen für das heterogene Erscheinungsbild von unbehandelten Holzfassaden sind weitgehend bekannt und äusserst vielfältig. Holzbauteile im Aussenbereich, wie Fenster, Türen und Fassaden, sind einer



Farbveränderung bei unbehandelter Fichte (oben) und unbehandelter Eiche (unten) in Abhängigkeit der Bewitterungszeit bei einer Exposition in Richtung Süd (Bewitterungsdauer 52 Wochen). (Voikmer 2004)

Reihe physikalischer und biologischer Einflüsse ausgesetzt, die zu einem Abbau und einer Zerstörung der jeweiligen Bauteile führen können. An diesem Holzabbau sind folgende Faktoren massgeblich beteiligt (vgl. Erler 2002).

- Sonnenlicht (Globalstrahlung, fotochemischer Abbau)
- Niederschlag mit und ohne Wind, Feuchtigkeit allgemein (hydrolytischer Abbau)
- Holzzerstörende und holzverfärbende Mikroorganismen
- Temperatur (Luft-/Oberflächentemperatur, thermischer Abbau oder Zersetzung)
- Wind (Abrasion)
- Chemische Verunreinigungen in der Luft (Korrosion)
- Holzabbauende Insekten

Aufgrund der fotochemischen Reaktion an der Oberfläche des Holzes kommt es zu Umwandlungs- und Modifikationsprozessen. Dabei bilden sich wasserlösliche Reaktionsprodukte des Lignins, die im Bewitterungsverlauf unterschiedlich stark abgebaut werden. Im weiteren Verlauf kommt es auf der Oberfläche zu Ablagerung von Schmutzpartikeln und zur Besiedlung durch Bläue-

und Schimmelpilze. Die genannten Prozesse führen zu der bekannten Vergrauung der Holzoberfläche, die in Abhängigkeit der Konstruktion sehr unterschiedlich sein kann. Für die häufig genutzten mitteleuropäischen Bauhölzer ist sie aber meist sehr ähnlich.

Optische Homogenisierung durch Reinigung

Durch die Entwicklung und den Einsatz eines geeigneten Reinigungsverfahrens sollen verwitterte unbehandelte Holzfassaden optisch homogenisiert werden, sodass ein



Stark ungleichmässige Verwitterung einer Robinienfassade (ostexponiert) infolge konstruktiver Gegebenheiten.

gleichmässiges, attraktives Erscheinungsbild mit entsprechender Lebensdauer entsteht. Diese Zielsetzung soll mittels eines Wasser- oder Wasserdampf-Hochdruckverfahrens realisiert werden, das die farblichen Unterschiede auf chemisch-physikalische Weise egalisiert. Es soll möglich sein, das Verfahren vor Ort im handwerklichen Stil durchführen zu können.

Das wissenschaftlich-technische Ziel des Projekts besteht darin, herauszufinden, wie der Reinigungsprozess gestaltet sein muss, damit die modifizierten Holzbestandteile gelöst und entfernt werden können, sodass

ein gleichmässiges Fassadenbild entsteht.

Erste, im Rahmen des Projekts durchgeführte Untersuchungen zeigen, dass durch eine derartige Behandlung stark verschmutzte und verwitterte Oberflächen optisch erneuert werden können. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass es relativ unkompliziert ist, die Schmutzpartikel «abzuwaschen». Im Vergleich dazu ist es deutlich schwieriger, fotochemisch umgewandelte Reaktionsprodukte des Lignins zu entfernen und das Erscheinungsbild der Fassade auf diese Weise zu homogenisieren.

Ergebnisse des Forschungsprojekts

Die Mitarbeitenden der BFH-AHB untersuchen in dem Forschungsprojekt die Wirkung der verschiedenen Parameter auf die Holzfassade. Sie beschäftigen sich vor allem mit der Reinigungswirkung und der Auswirkung auf die Zellstruktur der behandelten Hölzer. Die Ergebnisse der Untersuchung werden Mitte des nächsten Jahres veröffentlicht.

* Bernhard Letsch ist Professor für Verfahrens- und Fertigungstechnik an der Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau in Biel.