

Anleitung: Werkzeug für die automatisierte Analyse der Oberflächenqualität von Sichtbeton

Florian Kleiner

Stand: 19. Februar 2019

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Algorithmen	1
2.1	Vorverarbeitung und Beleuchtungskorrektur	1
2.2	Ermittlung der Grauwertverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung	2
2.3	Flächenbasierte Grauwertabweichungen	3
3	Bildaquirierung	4
3.1	Probekörper	4
3.2	Ausleuchtung	4
3.3	Bildaufnahme	4
3.4	Bildvorbereitung	6
3.5	Auswertung	7
4	Beispiele	7
4.1	Grenzen der Beleuchtungsfehlerkorrektur	7
4.2	Vergleich unterschiedlicher Sichtbetonoberflächenqualitäten	7

1 Einleitung

Das Tool ist zur automatisierten Analyse und Auswertung von Sichtbetonoberflächen gedacht. Die Bildanalyse basiert auf FIJI / IMAGEJ 1.52i. Das Programmpaket kann von <https://fiji.sc/> heruntergeladen werden.

Die Auswertung erfolgt mittels eines Pythonscriptes. Es muss daher PYTHON installiert sein. Es kann von <https://www.python.org/> heruntergeladen werden.

Für die Bildvorverarbeitung und -verwaltung empfiehlt sich DARKTABLE <https://www.darktable.org/install/> oder ADOBE LIGHTROOM. Diese bieten die Stapelverarbeitung von Bildern, was die Bildkorrektur und den Zuschnitt der Quellbilder erheblich vereinfacht. Über ADOBE LIGHTROOM sind über entsprechende Plugins Farbkorrekturen relativ einfach durchführbar.

2 Algorithmen

Als Eingangsdaten werden zugeschnittene Fotos von Betonoberflächen mit einer Auflösung ($b \times h$) von mindestens 2000 Pixel auf 500 mm erwartet. Das Script arbeitet dabei automatisch die im Folgenden beschriebenen Schritte ab:

2.1 Vorverarbeitung und Beleuchtungskorrektur

1. Korrektur der Ausrichtung des Bildes um 90° , wenn $b > h$ (Abb. 1(a))
2. Glättung des Bildes (Reduktion des Bildrauschens) und Kalibrierung der Helligkeit

3. Konvertierung in ein 8-bit Graustufenbild (Abb. 1(b))
4. Beleuchtungskorrektur (Abb. 1(c), in IMAGEJ manuell erreichbar über: *Plugins - Integral Image Filters - Normalize Local Contrast*)
5. Zwischenspeicherung des Bildes im Ordner *light_corrected*

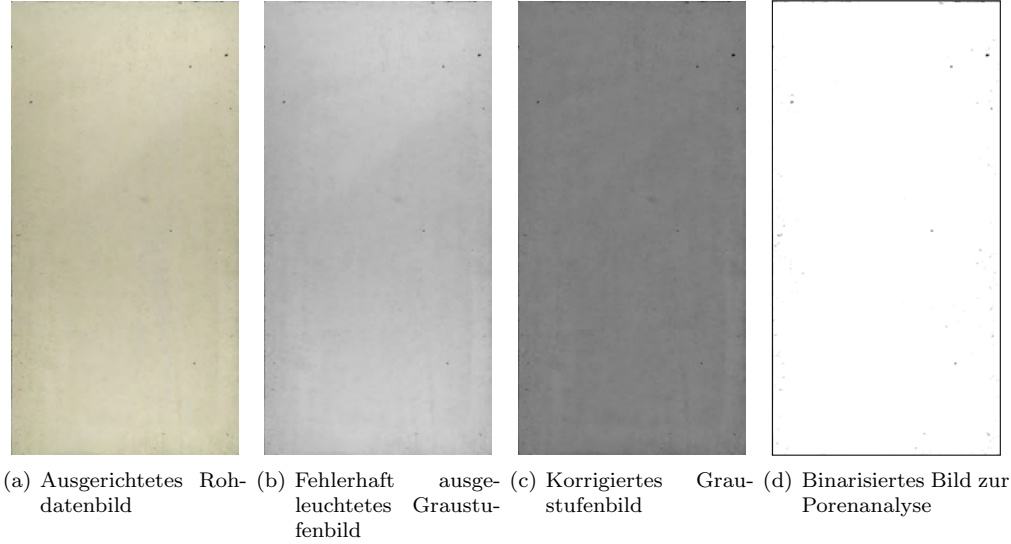


Abbildung 1: Bildverarbeitungsschritte

2.2 Ermittlung der Grauwertverteilung in horizontaler und vertikaler Richtung

Das folgende Verfahren dient hauptsächlich zur Identifikation von inhomogenen Strukturen auf der Oberfläche in x oder y -Richtung. Die Randbereiche $r = \lfloor 0.03h \rfloor$ (3% der Bildhöhe h) werden von dieser Untersuchung ausgeschlossen. Im Folgenden wird der Algorithmus anhand der horizontalen Grauwertverteilung beschrieben. In der horizontalen Richtung wird der mittlere Grauwert $g_{\text{mean},x}$ der orthogonal dazu verlaufenden Pixel ermittelt (vgl. Gleichung 1) und von dem Durchschnittsgrauwert g_{mean} (vgl. Gleichung 3) des Gesamtbildes abgezogen.

$$g_{\text{mean},x} = \frac{\sum_{y=r+1}^{h-2r} g_{xy}}{h-2r} \quad (1)$$

$$g_{\text{mean}} = \frac{\sum_{x=r+1}^{b-2r} \sum_{y=r+1}^{h-2r} g_{xy}}{(h-2r)(b-2r)} \quad (2)$$

$$g_{\text{diff},x} = |g_{\text{mean}} - g_{\text{mean},x}| \quad (3)$$

Die Absolutwerte der so berechneten Differenz wird anschließend über die gewählte Richtung aufsummiert. Die Berechnung der horizontalen Grauwertabweichung $g_{\text{diff, horizontal}}$ ist in Gleichung 4 dargestellt. Um insbesondere eine Aussage über unerwünschte Abweichungen zu treffen, wurde ein Grenzwert von 0.4 für $g_{\text{diff},x}$ festgelegt.

$$g_{\text{diff, horizontal}} = \frac{\sum_{x=r+1}^{b-2r} g_{\text{diff},x}}{(b-2r)} \quad \text{mit} \quad g_{\text{diff},x} > 0.4 \quad (4)$$

Je größer der resultierende Wert, desto größere, inhomogene Helligkeitsabweichungen zeigen sich über die jeweilige Richtung. Für die dargestellten Parameter ergibt sich bei den untersuchten Proben und den verwendeten Parametern in etwa folgende Einteilung:

1. homogene Fläche < 0.3
2. leichte Strukturen erkennbar $0.3 \dots 0.5$
3. deutliche Strukturen erkennbar > 0.5

Unterscheiden sich $g_{\text{diff, horizontal}}$ und $g_{\text{diff, vertical}}$ um mehr als 0.1 müsste ein richtungsabhängiges Muster auf der Oberfläche sichtbar sein. Negative Auswirkungen auf diese Untersuchung sind durch folgende Einflüsse zu erwarten:

1. Fehlerhafter Bildzuschnitt (z.B. schwarze Pixelkante)
2. Poren
3. Extrem einseitiger Beleuchtungsfehler
4. Vergleich von Datensätzen unterschiedlicher Auflösung (Auflösung der Bilder muss normiert werden!)

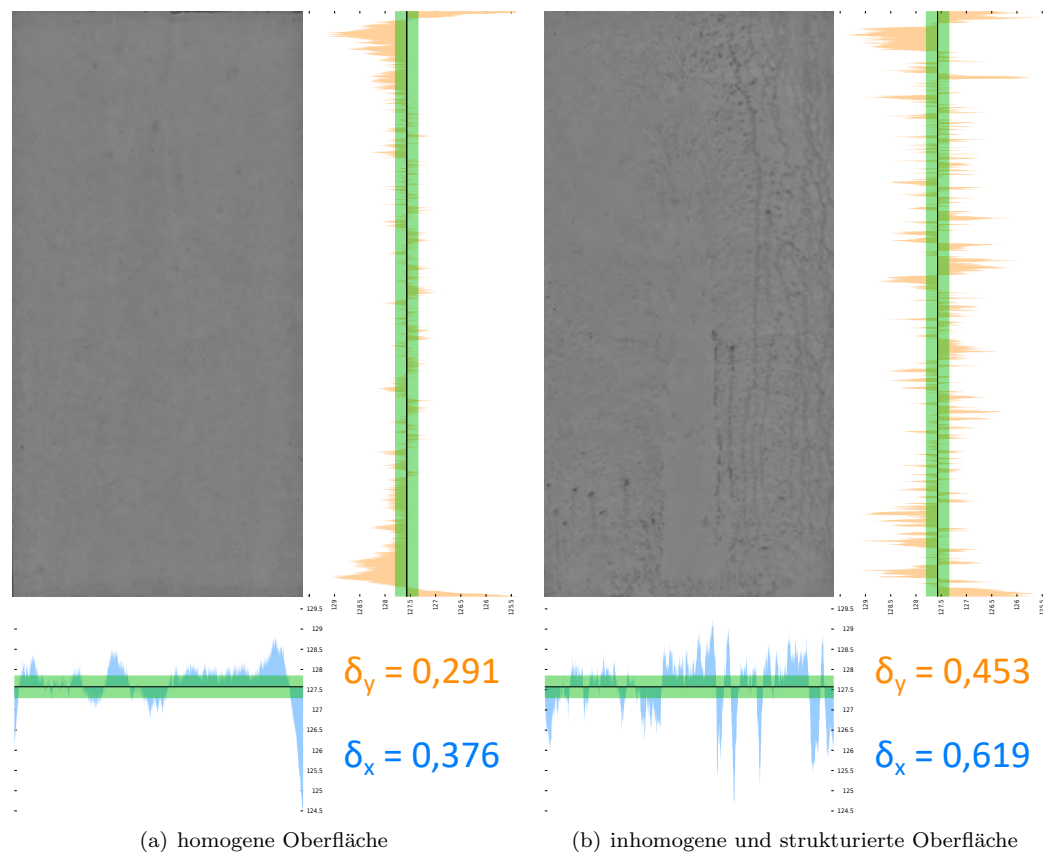


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Analyse der Betonstruktur

2.3 Flächenbasierte Grauwertabweichungen

1. Unterteilung des Bildes in mehrere kleinere Bereiche (Definiert durch die Variablen *rows* und *columns* (Im Folgenden *X* und *Y* genannt) in *start_process.py* (Abb. 3(a))

2. Berechnung des durchschnittlichen Grauwertes g und der Standardabweichung der Grauwerte σ_g innerhalb des Bereiches (Abb. 3(b))
3. In *start_process.py* werden Grauwertabweichungen der Nachbarbereiche δN ermittelt (Abb. 3(c))
4. Das Bild aus Punkt 4 wird über einen Helligkeitsgrenzwert von 51 (im Wertebereich 0 ... 255) binarisiert, um die Porenfläche zu ermitteln (Abb. 1(d))
5. Abschließend werden die ermittelten Werte ausgewertet, indem Mittelwerte und Standardabweichungen (\bar{g} , $\bar{\sigma}_g$, $\sigma_{\delta N}$, $\bar{\sigma}_{\delta N}$) der genannten Parameter berechnet werden

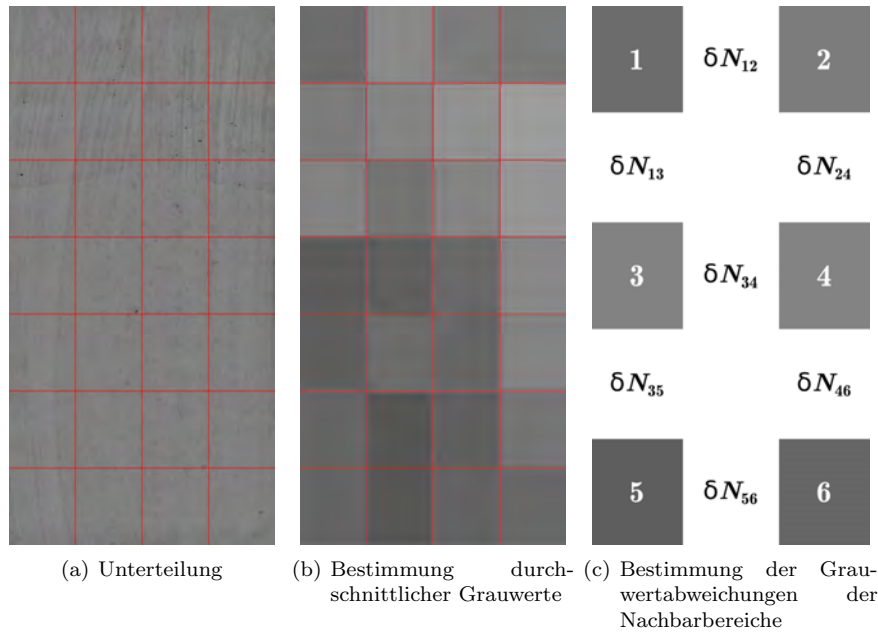


Abbildung 3: Bildunterteilung zur Bestimmung der Grauwertabweichungen

3 Bildaquirierung

3.1 Probekörper

Das Merkblatt *Sichtbeton* des DEUTSCHEN BETON- UND BAUTECHNIK VEREINS E.V. schreibt zur Beurteilung der Sichtbetonqualität eine Fläche von 50×50 cm vor. Dieses Programm ist hingegen auf die Auswertung von Flächen von 25×50 cm ausgelegt, kann jedoch auch die geforderten 500 cm^2 verarbeiten.

3.2 Ausleuchtung

Eine Serie von Probekörpern oder Probeflächen sollte unter möglichst identischen und gleichmäßigen Beleuchtungsverhältnissen fotografiert werden. Ausleuchtungsfehler, wie in Abbildung 1(a) dargestellt, kann allerdings problemlos durch ausgeglichen werden (vgl Abb. 1(c)).

3.3 Bildaufnahme

Die Bilder einer Probenserie müssen bei identischen Bedingungen aufgenommen werden. Darunter fällt eine möglichst gleichmäßige Ausleuchtung sowie identische Kameraeinstellungen. Für eine Porenanalyse ist streifender Lichteinfall über die Betonoberfläche sinnvoll, da orthogonal auftreffendes Licht Poren ausleuchten kann und damit die Erkennung derselben erschwert.

Um Aussagen über die Farbigkeit der Oberflächen treffen zu können, muss die Kamera kalibriert werden. Dies kann mit einer handelsüblichen Farbkalibrationskarte (z. B. Colochecker Passport von Xrite) realisiert werden. Weiterhin müssen die Aufnahmen als Rohdaten und nicht als jpg gespeichert werden, um die Farbkorrektur möglichst verlustfrei durchführen zu können. An der Professur Bauchemie und Polymere Werkstoffe steht ein Fotostand (vgl. Abbildung 4) zur Verfügung.



Abbildung 4: Fotostand mit 25 × 50 cm Probekörper

Die Kameraeinstellungen müssen bei allen Aufnahmen konstant gehalten werden. Die an der Professur eingesetzte Kamera *SONY SDC-HX400V* wurde beispielsweise mit den folgenden Aufnahmeeinstellungen betrieben:

- ISO-80
- Blende $f/8$
- Belichtungszeit 1/6 s
- Brennweite 7 mm

Die am Stativ des Fotostandes montierte Kamera muss möglichst orthogonal zur Probekörperoberfläche ausgerichtet werden. Bei der Aufnahme sollte darauf geachtet werden, dass die Kamera im Verlauf größerer Probenserien möglichst nicht bewegt wird. Weiterhin sollten die unterschiedlichen Probekörper identisch ausgerichtet werden. Dies lässt sich am einfachsten über einen Anschlag realisieren.

Für die Baustelle wurde ein handelsüblicher mobiler Fotostand umfunktioniert, um eine gleichbleibende Ausleuchtung der Betonoberfläche ermöglichen zu können (Abbildung 5(a)). Dieser würfelförmige Fotostand (Kantenlänge ≥ 70 cm) ist umseitig geschlossen, bietet jedoch oberseitig eine Öffnung für eine Kamera. Auf der Seite der Kameraöffnung ist eine LED-Beleuchtung integriert, die eine gleichmäßige, orthogonale Ausleuchtung ermöglicht.

Der Fotostand wurde so modifiziert, dass gegenüberliegend der Kameraöffnung eine Fläche von ca. 60 × 60 cm der Betonoberfläche sichtbar ist. Weiterhin wurden seitlich LED-Leisten angebracht, die einen streifenden Lichteinfall für die Porenanalyse ermöglichen.

Weiterhin wurde ein Standfuß erstellt, mit dem der mobile Fotostand auf verschiedene Höhen eingestellt werden kann.



(a) Bild innerhalb der Fotobox



(b) Farbkalibrationskarte

Abbildung 5: Bildvorverarbeitungsschritte

3.4 Bildvorbereitung

Das aufgenommene Bild (Abb. 6(a)) muss vor der Auswertung vorverarbeitet werden. Darunter zählt der Weißabgleich (Abb. 6(b)), der über die Farbkalibrationskarte (Abb. 5(b)) erfolgt. Weiterhin sollte, wenn möglich eine Objektivkorrektur durchgeführt werden. Abschließend folgt der Zuschchnitt auf die Betonfläche (Abb. 6(c)).



(a) Rohdatenbild



(b) Weißabgleich und Aufhellung



(c) Zuschchnitt

Abbildung 6: Bildvorverarbeitungsschritte

Mit Hilfe von DARKTABLE oder LIGHTROOM lassen sich diese Prozesse leicht auf viele Bilder anwenden, nachdem ein Beispielbild entsprechend bearbeitet wurde.

In DARKTABLE werden die Bilder im Bereich *Dunkelkammer* nachbearbeitet. Die Einstellungen können anschließend im Bereich *Leuchttisch* synchronisiert werden (Abb. 3.4). Dafür muss das bearbeitete Bild markiert sein und unter *Verlaufsstapel* die Schaltfläche *alles kopieren* gedrückt werden. Abschließend werden alle noch zu bearbeitenden Bilder ausgewählt und es wird die Schaltfläche *alles kopieren* gedrückt.

Über *ausgewählte exportieren* lassen sich die Bilder nun in einem neuen Ordner abspeichern und mit dem Script bearbeiten.

3.5 Auswertung

Zur Auswertung müssen alle Bilder einer Serie in einem Ordner liegen. Anschließend wird das Script *start_process.py* ausgeführt werden. Dieses Script fragt nach dem Ausführen nach dem Spei-

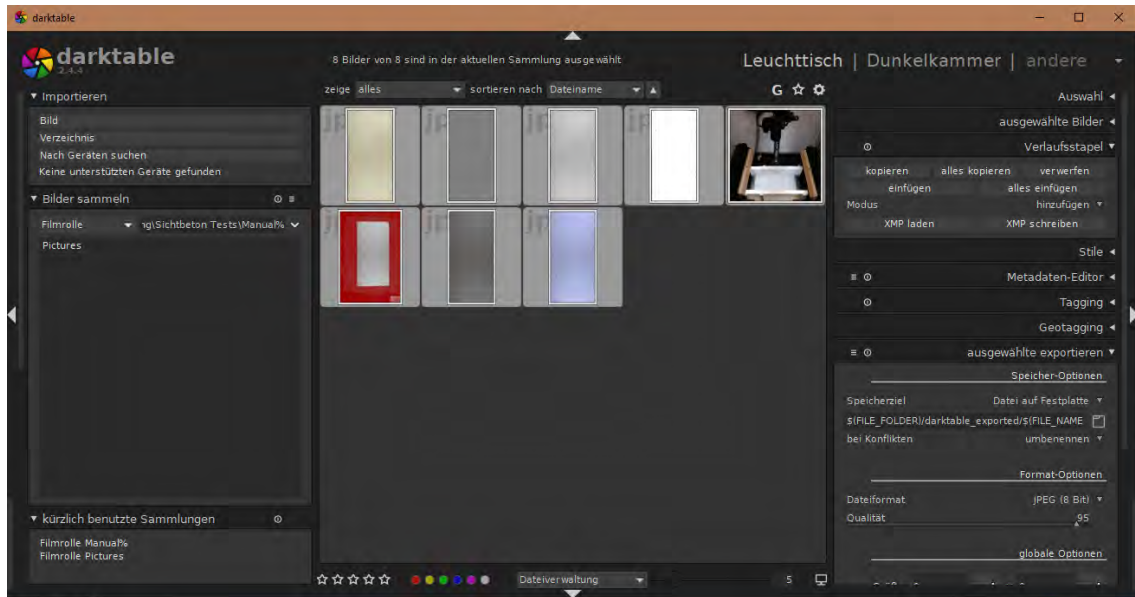


Abbildung 7: Oberfläche von Darktable 2.4.4 im Bereich *Leuchttisch*

cherort der zu analysierenden Bilder und startet im Anschluss ein IMAGEJ Makro, das die Bilder weiterverarbeitet und Messwerte erzeugt, die in CSV-Dateien abgespeichert werden.

Abschließend wertet das Pythonscript diese CSV-Daten automatisiert aus und erstellt im angegebenen Bildordner eine Datei Namens *resultsXxY.csv*, in der die Ergebnisse aller Bilder zusammengefasst wurden.

Details zu dem Prozess finden sich in Kapitel 2.

4 Beispiele

4.1 Grenzen der Beleuchtungsfehlerkorrektur

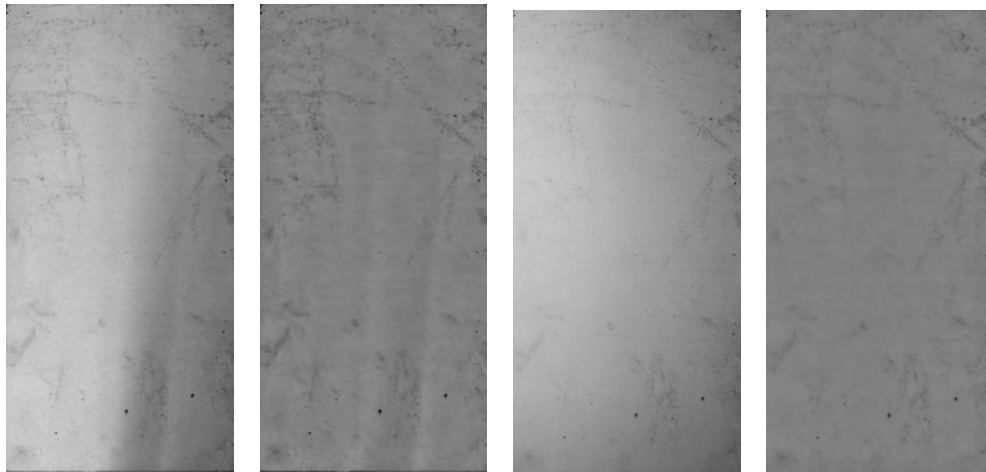
Das folgende Beispiel zeigt eine Sichtbetonoberfläche mit einer starken Fehlbelichtung durch einen Schlagschatten (Abb. 8(a)) im Vergleich zu einer weniger starken Fehlbeleuchtung derselben Oberfläche (Abb. 8(c)) sowie die Ergebnisse der automatischen Korrektur (Abb. 8(b) bzw. 8(d)). Es wird deutlich, dass die Korrektur bei zu scharfkantigen Schlagschatten den Beleuchtungsfehler nicht mehr vollständig ausgleichen kann, während weiche Helligkeitsverläufe entfernt werden. Dies sollte in der Auswertung berücksichtigt finden, falls der Probekörper eine inhomogene Helligkeit über die Fläche hat. Diese könnte durch diese Methode herausgerechnet werden und wird daher in der Auswertung nicht berücksichtigt.

4.2 Vergleich unterschiedlicher Sichtbetonoberflächenqualitäten

Anhand der folgenden Proben werden beispielhaft die Ergebnisse des Scriptes ausgewertet. Die Unterteilungsparameter wurden wie folgt gewählt: $X = 4$ und $Y = 8$.

Die Werte $\bar{\sigma}$, δN und δN_{\max} in Tabelle 1 beziehen sich auf die Abweichung des Farbwertes (zwischen 0 und 255), während die Poren in % angegeben sind.

$\bar{\sigma}$ bezieht sich auf die durchschnittliche Farbabweichung innerhalb der Bereiche, δN auf die Farbunterschiede benachbarter Bereiche und δN_{\max} auf die höchste Abweichung dieser benachbarten Bereiche. Es zeigen sich bei den ausgewählten Proben dabei deutliche Unterschiede. Während Probe C hier immer die niedrigsten Werte aufweist, zeigt sich bei Probe A mit vielen inhomogen verteilten Strukturen die höchsten δN und δN_{\max} -Werte. Die Abweichung innerhalb der einzelnen Sektoren $\bar{\sigma}$ war bei dieser Probe hingegen geringer als bei Probe B, bei der die Strukturen homogener über die Gesamtfläche verteilt sind.



(a) Starker Beleuchtungsfehler durch Schlagschatten (b) Korrigiertes Bild mit Fehlern (c) Leichter Beleuchtungsfehler (d) Korrigiertes Bild

Abbildung 8: Einfluss der Art der Beleuchtungsfehler auf die Bildkorrektur



(a) A: Inhomogene Oberfläche (b) B: Inhomogene Oberfläche (c) C: Homogene Oberfläche

Abbildung 9: Verschiedene Sichtbetonqualitäten

Tabelle 1: Ergebnisse drei verschiedener Proben

Probe	$\bar{\sigma}$	δN	δN_{\max}	Poren
A	4,157	0,554	1,378	0,0058 %
B	4,455	0,434	1,327	0,0041 %
C	3,002	0,391	1,243	0,0043 %

Aus den Zahlen erschließt sich also eine Bewertung der Qualität abhängig von der Verteilung der inhomogenitäten über die Oberfläche und lässt damit Rückschlüsse auf den Eindruck der Oberfläche auf den Beobachter aus verschiedenen Entfernungen zu. So wirken die in Probe A sichtbaren strukturen aus der Ferne störender als die Strukturen der Probe B.