

4 ERGEBNISSE

4.1 Ergebnisse des SCHWICKERATH-TESTS

Der SCHWICKERATH-TEST gehört zu den zerstörenden Materialprüfungen. Jedoch wird keines der Plättchen dabei sofort von der Keramik gelöst. Beim Transport der Proben in kleinen Schachteln, nach dem Test, lösen sich 16 % der keramischen Verblendungen. Die Brüche treten innerhalb der Keramik in der so genannten Kohäsionszone auf. Das Metallgerüst wird nicht freigelegt, dennoch zeigen sich an der Unterseite der Keramikfragmente makroskopisch vereinzelt Spuren von Haftoxiden.

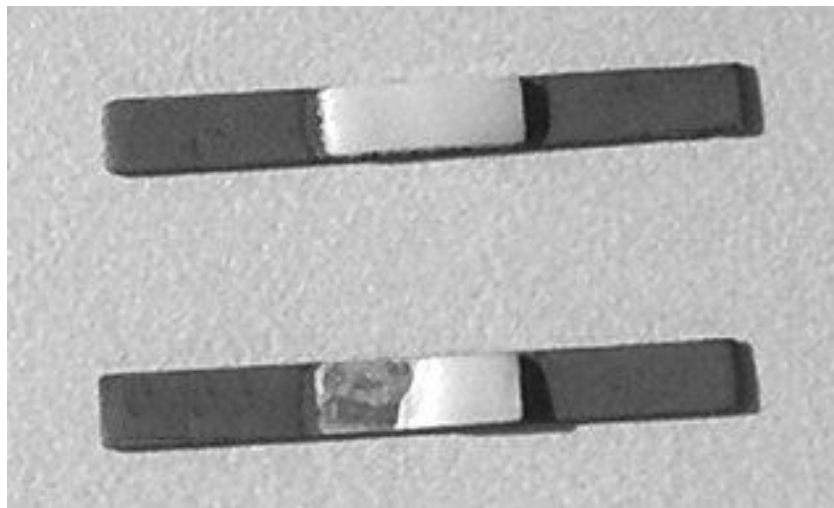


Abb. 3: SCHWICKERATH-PLÄTTCHEN nach dem Drei-Punkt-Biegeversuch

Beschreibende Statistik

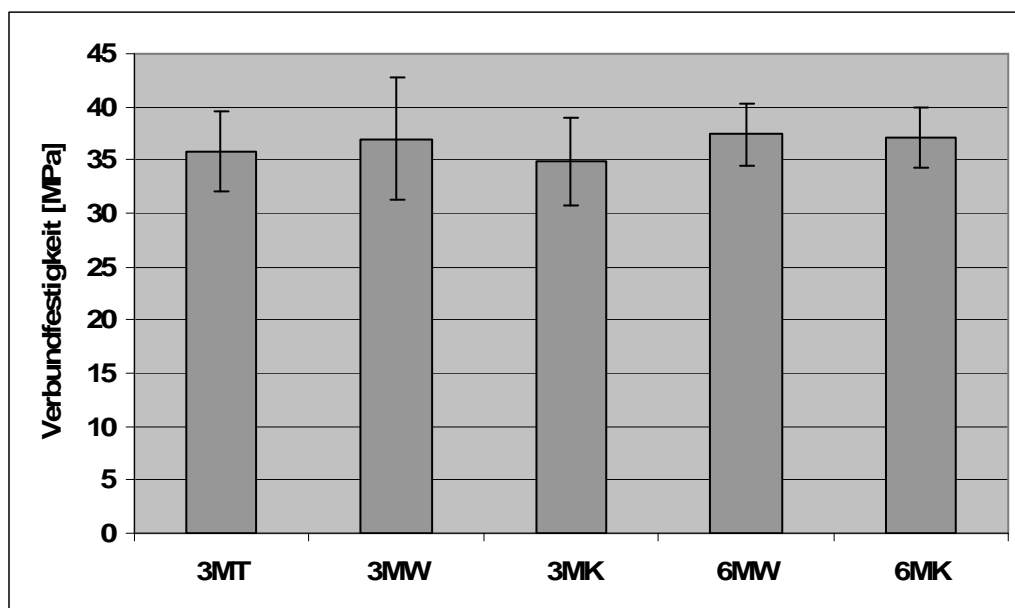
Beim SCHWICKERATH-TEST wird für jede Messreihe eine deskriptive Analyse in Bezug auf den Mittelwert, den Median, die Standardabweichung, den Variationskoeffizienten sowie den Minimal- und den Maximalwert durchgeführt. Die zur Berechnung erforderlichen Einzelwerte enthalten die Tabellen 16-21 im Anhang.

Die Mittelwerte liegen zwischen 34,9 MPa und 37,1 MPa und die Berechnung der Medianwerte ergibt 35,3 MPa bis 37,4 MPa. Die niedrigsten Mittel- bzw. Medianwerte haben die Serien „Trocken“ und „drei Monate Korrosion“: 34,9 MPa/Median:35,3 MPa und 35,8 MPa/Median: 35,9 MPa. Für die Lagerung „drei Monate in Wasser“, „sechs Monate in Wasser“ und in „sechs Monate in Korrosionslösung“ ergeben sich 37,0 MPa/ 37,4 MPa/ 37,1 MPa als Mittelwerte und 36,0 MPa/ 37,1 MPa/ 37,4 MPa als Medianwerte.

Die einzelnen Minimal- und Maximalwerte bewegen sich im Bereich von 27,9 MPa und 48,5 MPa und somit über 25 MPa, die als klinisch sicher angesehen werden [25, 109, 121]. Kein Messwert liegt unterhalb dieses Grenzwertes.

Für die Standardabweichung werden Werte zwischen 2,9 MPa und 5,7 MPa ermittelt. Die geringsten Differenzen treten in den beiden Gruppen mit jeweils sechsmonatiger Lagerung auf. Hier beträgt die Standardabweichung 2,9 MPa. Die „trocken“ gelagerten Proben haben eine Standardabweichung von 3,8 MPa. Die Serien „drei Monate Wasser“ und „drei Monate Korrosionslösung“ weisen die größeren Abweichungen mit 4,1 MPa und 5,7 MPa auf.

Der Variationskoeffizient liegt demzufolge jeweils zwischen 7,7 % und 15,5 %. Bei der „trocken“ gelagerten Gruppe beträgt er 10,6 %. Die Proben, die „drei Monate im Wasser“ gelegen haben, weisen einen Variationskoeffizienten von 15,5 % auf. Die Serie „drei Monate Korrosionslösung“ zeigt als Variationskoeffizient 11,8 %. Die Variationskoeffizienten 7,8 % und 7,7 % werden nach den Prüfungen der Serien „sechs Monate in Wasser“ und „sechs Monate in Korrosionslösung“ gelagerten Proben ermittelt. Die Tabellen 16 bis 20 im Anhang enthalten alle Einzelmesswerte.



3MT – 3 Monate Trocken

6MW – 6 Monate Wasser

3MW – 3 Monate Wasser

6MK – 6 Monate Korrosionslösung

3MK – 3 Monate Korrosionslösung

Abb. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der verschiedenen gelagerten Serien nach dem SCHWICKERATH-TEST

Vergleichende Statistik

Um zu ermitteln ob jede Versuchsreihe der gemeinsamen Grundgesamtheit entstammt, wird der STUDENT-T-TEST verwendet. Die Nullhypothese besagt, dass alle geprüften Serien auch nach verschiedenartiger Lagerung noch die Eigenschaften der Referenzserie (3 Monate Trocken; 3MT) besitzen. Ein signifikantes Ergebnis widerspräche dieser Annahme.

In Tabelle 10 wird jede Serie mit jeder verglichen, um mögliche Unterschiede darstellen zu können. Das Signifikanzniveau beträgt $p=0,05$.

Die zu untersuchenden Werte sind annähernd normalverteilt. Das Verhältnis zwischen Mittelwert und Median ist ~ 1 (siehe Anhang). Für den SCHWICKERATH-VERSUCH wird deshalb der T-TEST nach STUDENT gewählt. Der Test erfolgt zweiseitig. Die Prüfgröße von $T(0,05, 9;9) = 2,101$ ist in einer Tabelle für die t-Verteilung bei geringer Stichprobengröße zu finden [104]. Die berechneten Testwerte (Tabelle 10) werden der Prüfgröße gegenübergestellt. Dabei erreicht kein Wert die kritische Größe von 2,101 im Vertrauensbereich von 95 % ($p=0,05$).

Keine der Gruppen unterscheidet sich signifikant von einer der anderen, so wie es die Tabelle 10 veranschaulicht.

| Serie | 3MT | 3MW | 3MK | 6MW | 6MK |
|-------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 3MT | - | 0,539 | 0,522 | 1,054 | 0,853 |
| 3MW | n.sign. | - | 0,938 | 0,206 | 0,054 |
| 3MK | n.sign. | n.sign. | - | 1,579 | 1,392 |
| 6MW | n.sign. | n.sign. | n.sign. | - | 0,107 |
| 6MK | n.sign. | n.sign. | n.sign. | n.sign. | - |

n.sign. = Werte unterscheiden sich auf dem Signifikanzniveau von $p=0,05$ nicht voneinander

Tab. 10: Ergebnisse des T-TEST für die Werte des SCHWICKERATH-VERSUCHS

4.2 Ergebnisse des VOSS-TESTS

Der VOSS-TEST ist ein Druckschertest, der hier mit dem Typ C der keramisch verblendeten Metallkrone nach VOSS durchgeführt wird. Der Bruchlinienverlauf zeigt an allen Kronen ein ähnliches Bild. Beginnend an der incisalen Kante gibt es einen Sprung, der teilweise bis zum cervicalen Rand reicht und zu einem Abplatzen der vestibulären Facette führt.

Die Keramikfrakturen setzen sich vereinzelt bis in den approximalen Bereich der Krone fort. Von den Frakturen werden alle Schichten von Verblendung und Gerüst erfasst. Die Abplatzungen verlaufen in der Keramik sowie innerhalb der Verbundzone. Bei einzelnen Kronen ist an einigen Stellen das glänzende Metallgerüst zu sehen. Erkennbar ist dies an der metallisch-silbrigen Oberfläche (Abb. 5).

An den oralen Flächen der Verblendkronen kommt es zu Sprüngen in der Keramik. Die einzelnen Serien werden entsprechend ihrer Lagerungsart nicht gegeneinander abgegrenzt, denn der beschriebene Bruchlinienverlauf tritt in allen Gruppen in ähnlicher Weise auf.



Abb. 5: Auf die Prüfstümpfe aufzementierte Kronen nach dem VOSS-TEST in der Ansicht von labial

Beschreibende Statistik

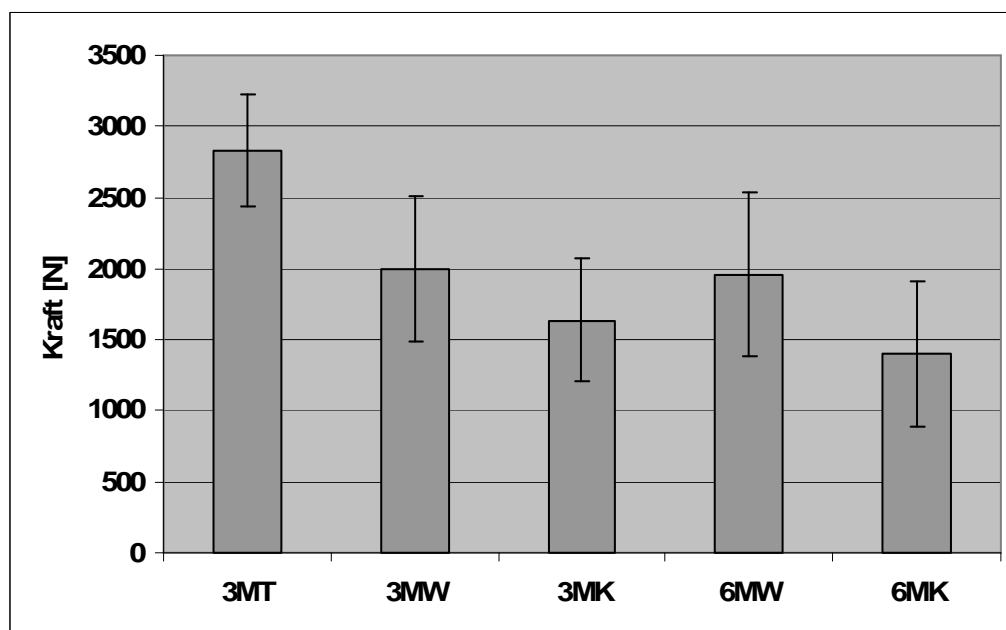
Die Mittelwerte aller Serien befinden sich im Bereich von 1400 N bis 2836 N. Die entsprechenden Medianwerte liegen zwischen 1473 N und 2761 N. Der höchste Wert wird in der zuerst getesteten Serie, die „trocken“ aufbewahrt wurde, erzielt. Dieser Mittelwert beträgt 2835,8 N und der Median 2760,5 N. Die nächst geringeren Werte

weisen die in Wasser gelagerten Serien auf: 1995,2 N (Mittelwert)/1867,3 N (Median) bei „drei Monaten Wasser“ und 1958,2 N (Mittelwert)/2044,8 N (Median) bei „sechs Monaten“ Aufbewahrung in Wasser.

Die niedrigsten Mittelwerte und Medianwerte finden sich bei den Serien, die in Korrosionslösung lagen. Die Proben, die nach drei Monaten der wässrigen Lösung entnommen wurden, haben einen Mittelwert von 1639,3 N und einen Median von 1646,7 N. Zuletzt wird die „sechs Monate in Wasser“ gelagerte Gruppe mit einem Mittelwert von 1400,7 N und einem Median von 1473,3 N getestet.

Der geringste Einzelmesswert liegt bei 592 N und als Maximalwert wird 3656 N gemessen. Für die Standardabweichung werden Werte zwischen 397 N und 578 N errechnet. Das entspricht Variationskoeffizienten zwischen 14 % und 37 %.

Die genauen Angaben für jede Serie finden sich in der Tabelle 21 im Anhang.



3MT – 3 Monate Trocken

6MW – 6 Monate Wasser

3MW – 3 Monate Wasser

6MK – 6 Monate Korrosionslösung

3MK – 3 Monate Korrosionslösung

Abb. 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der verschieden gelagerten Kronen nach dem Druckscherversuch (n=10)

Vergleichende Statistik

Als Alternative zum T-TEST für normalverteilte Grundgesamtheiten wird beim VOSS-TEST aufgrund der ungleichen Verteilung der U-TEST nach MANN-WHITNEY gewählt.

Das Signifikanzniveau beträgt $p=0,05$ und der Test erfolgt auch hier zweiseitig. Die kritische Testgröße von 23 ist aus einer Tabelle für die U-Verteilung entnommen [131]. Ist einer der Werte des Zahlenpaares in Tabelle 11 kleiner oder gleich 23, so ist von der Bestätigung eines Unterschiedes auszugehen.

In den Vergleichsserien zu der „drei Monate trockenen Lagerung“ kann die Alternativhypothese jedes Mal bekräftigt werden. Einen Unterschied weisen ebenso die Serien „drei Monate Wasser“ und „sechs Monate Korrosion“ sowie die Kombination „sechs Monate Wasser“ und „sechs Monate Korrosion“ auf.

| Serie | 3MT | 3MW | 3MK | 6MW | 6MK |
|-------|--------|---------|---------|--------|-------|
| 3MT | - | 9/91 | 0/100 | 7/93 | 100/0 |
| 3MW | SIGN ! | - | 32/68 | 54/46 | 79/21 |
| 3MK | SIGN ! | n.sign. | - | 68/32 | 37/63 |
| 6MW | SIGN ! | n.sign. | n.sign. | - | 23/77 |
| 6MK | SIGN ! | SIGN ! | n.sign. | SIGN ! | - |

SIGN ! = es besteht ein signifikanter Unterschied auf dem Niveau von $p=0,05$

n.sign. = die Werte unterscheiden sich auf dem Signifikanzniveau von $p=0,05$ nicht voneinander

Tab. 11: Ergebnisse des U-TEST für die Werte des VOSS-VERSUCHS

4.3 Ergebnisse des PÜCHNER-TESTS

Bei dem Zugversuch kommt es zu einem plötzlichen Versagen des Verbundes. Der Bruch tritt dabei innerhalb der Keramik auf. Die metallischen Enden der Probe, bedeckt von Grund- und einem Teil der Dentinmasse, hängen im unmittelbaren Anschluss an den Test schwingend in den Halterungen der Prüfmaschine (Abb. 7).

Bei drei der insgesamt 60 Proben verläuft der Bruch durch Keramik **und** Verbundzone. An der Keramik des Partnerstücks sind zusätzlich Haftoxidreste zu erkennen. Betroffen sind die Proben 4 und 9 der Serie „drei Monate Korrosion“ sowie die Probe 6 der „sechs Monate in Korrosionslösung“ gelagerten Serie. Bei allen anderen Proben verlaufen die Brüche innerhalb der Keramik ohne dabei an die Grenzschicht Metall-Keramik zu stoßen.

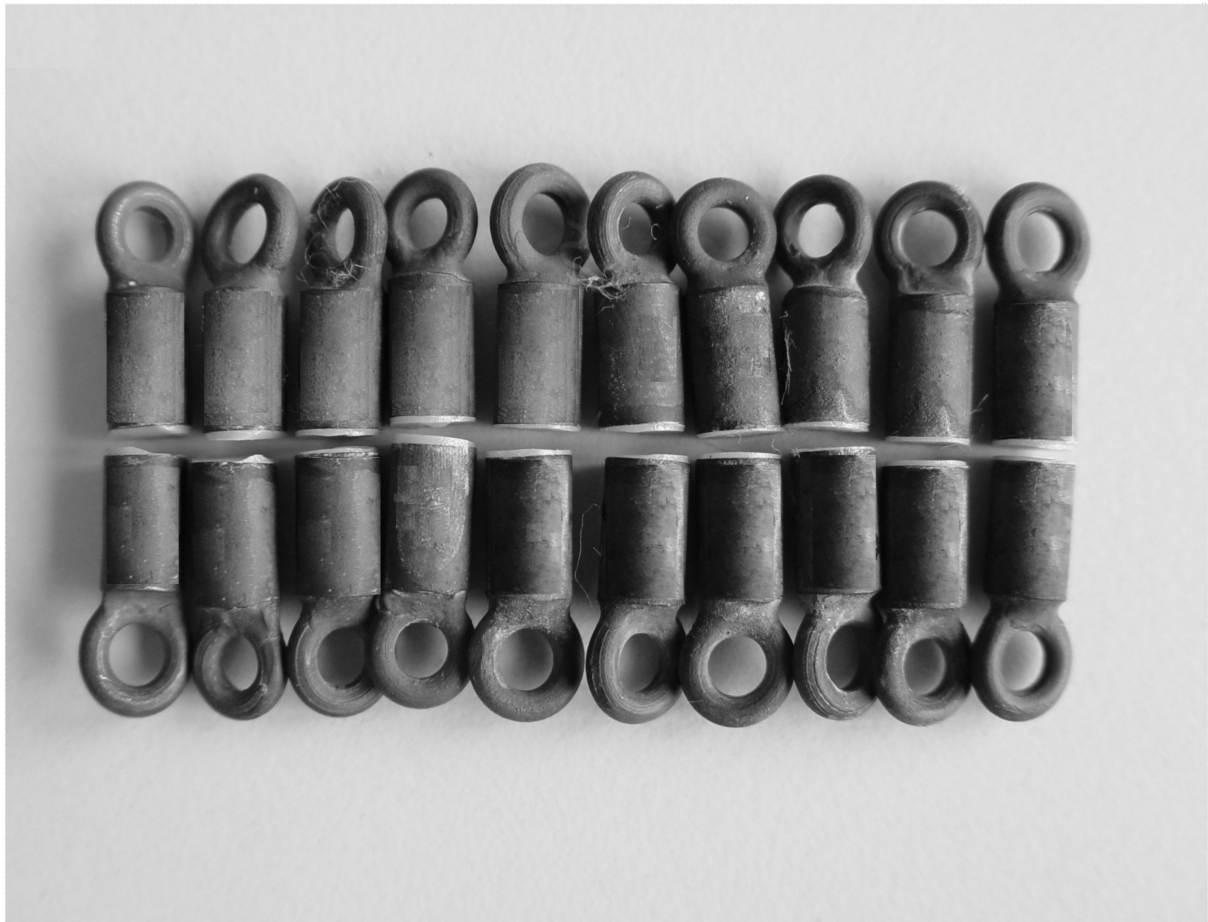


Abb. 7: PÜCHNER-PROBEN nach Durchführung des Zugversuches

Beschreibende Statistik

Die Kraft, die zum Auseinanderziehen der Proben in axialer Richtung notwendig ist, wird in die Verbundfestigkeit in MPa umgerechnet. Dazu wird die Größe der Proben, d. h. die eigentliche Verbundfläche von 19,6 mm² in die Berechnung einbezogen.

Die Mittelwerte liegen bei allen Serien im Bereich zwischen 31,1 MPa und 33,1 MPa. Der Median jeder Gruppe liegt leicht abweichend davon immer etwas darunter: zwischen 28,2 MPa und 31,6 MPa.

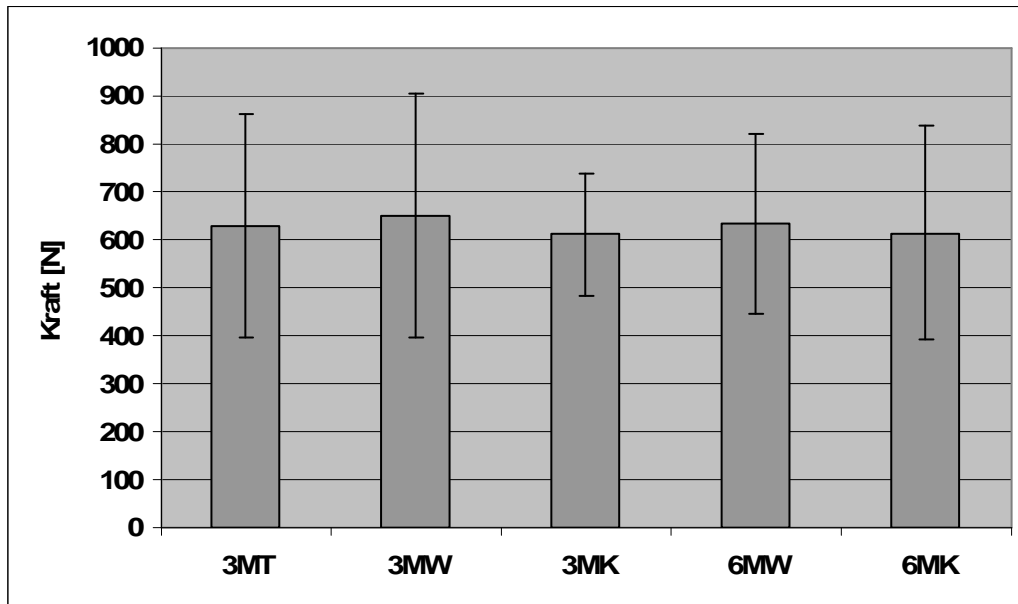
Als geringster Wert der einzelnen Probe wird 16,4 MPa ermittelt. Maximal kann bei einer Probe aus der „trockenen“ Gruppe eine Verbundfestigkeit von 61,7 MPa festgestellt werden.

Die kleinste Standardabweichung mit 6,5 MPa hat die Gruppe, die „drei Monate in der Korrosionslösung“ lag. In dieser Serie beträgt der Variationskoeffizient 21 %.

Mit der größten Abweichung tritt die Serie „drei Monate Wasser“ in Erscheinung. Die Standardabweichung beträgt 13 MPa und der dazugehörige Variationskoeffizient erreicht deshalb einen Wert von 39,3 %.

Die Standardabweichungen der übrigen drei Serien streuen zwischen 9,6 MPa und 11,9 MPa und haben Variationskoeffizienten zwischen 29,8 % und 37,2 %.

Auch hier enthalten die Tabellen 22-26 im Anhang alle Einzelwerte.



3MT – 3 Monate Trocken

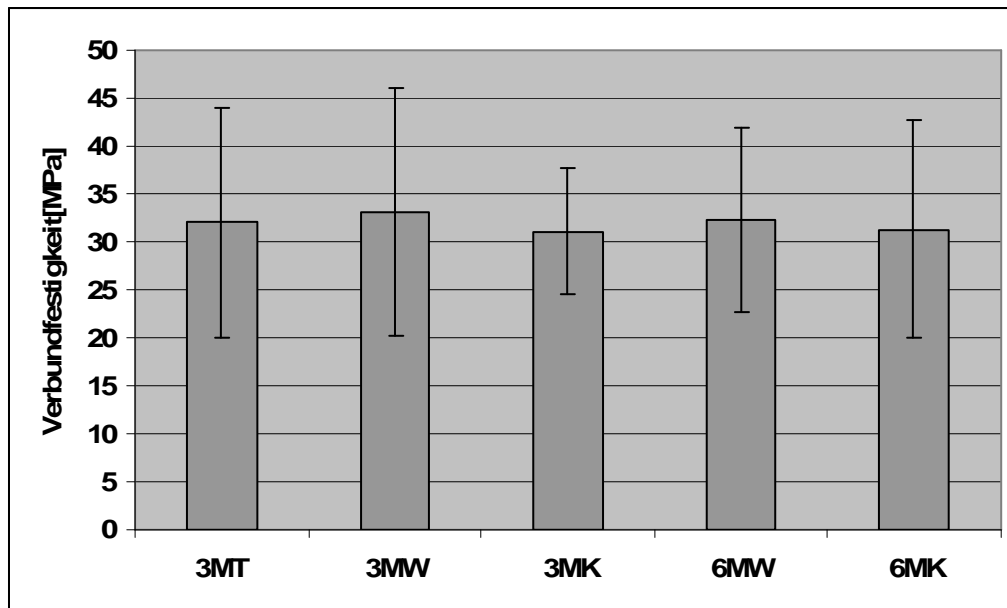
6MW – 6 Monate Wasser

3MW – 3 Monate Wasser

6MK – 6 Monate Korrosionslösung

3MK – 3 Monate Korrosionslösung

Abb. 8: Kraftaufwand an den verschiedenen gelagerten PÜCHNER-PROBEN im Zugversuch mit dazugehörigen Standardabweichungen



3MT – 3 Monate Trocken

6MW – 6 Monate Wasser

3MW – 3 Monate Wasser

6MK – 6 Monate Korrosionslösung

3MK – 3 Monate Korrosionslösung

Abb. 9: Verbundfestigkeit der verschieden gelagerten Proben nach dem Zugversuch mit dazugehörigen Standardabweichungen

Vergleichende Statistik

Da das Verhältnis zwischen Mittelwert und Median in den geprüften Serien größer als eins ist, kann nicht mehr von der Standardnormalverteilung ausgegangen werden.

Die schiefe Verteilung wird über den U-TEST ausgewertet. Als Signifikanzniveau wird $p=0,05$ festgelegt und der Test wird zweiseitig durchgeführt.

Aufgrund des Stichprobenumfanges beträgt auch hier die kritische Testgröße $U=23$. Liegt eine der beiden Testgrößen eines Zahlenpaares bei 23 oder unter 23 ist dies ein Hinweis auf Bestätigung der Alternativhypothese, das heißt es ist ein Unterschied anzunehmen.

Die Signifikanzprüfung kann keinen Unterschied zwischen einer der Serien mit jeweils allen anderen nachweisen.

| Serie | 3MT | 3MW | 3MK | 6MW | 6MK |
|-------|---------|---------|-----------|---------|-------|
| 3MT | - | 48/52 | 44,5/55,5 | 53/47 | 48/52 |
| 3MW | n.sign. | - | 51/49 | 54/46 | 48/52 |
| 3MK | n.sign. | n.sign. | - | 46/54 | 47/53 |
| 6MW | n.sign. | n.sign. | n.sign. | - | 47/53 |
| 6MK | n.sign. | n.sign. | n.sign. | n.sign. | - |

n.sign.= Werte unterscheiden sich auf dem Signifikanzniveau von $p=0,05$ nicht voneinander

Tab. 12: Signifikanzprüfung zwischen den Serien des PÜCHNER-VERSUCHS im Rahmen des U-TESTS

4.4 Ergebnisse des Abschrecktests

Nachdem die jeweils 10 entsprechend vorgewärmten Kronen der verschiedenen Serien in 5 °C kaltem Wasser abgeschreckt wurden, können im Anschluss vereinzelt unter dem Stereomikroskop Sprünge nachgewiesen werden. Die Keramikdefekte treten dabei unsystematisch an den verschiedensten Stellen der Verblendung auf. Sie sind sowohl an vestibulären, an approximalen und auch an den oralen Flächen der Kronen zu erkennen. Bei keiner Krone wird die Fraktur einer ganzen keramischen Scherbe beobachtet. Es bleibt bei den eben beschriebenen Sprüngen innerhalb der Verblendung.



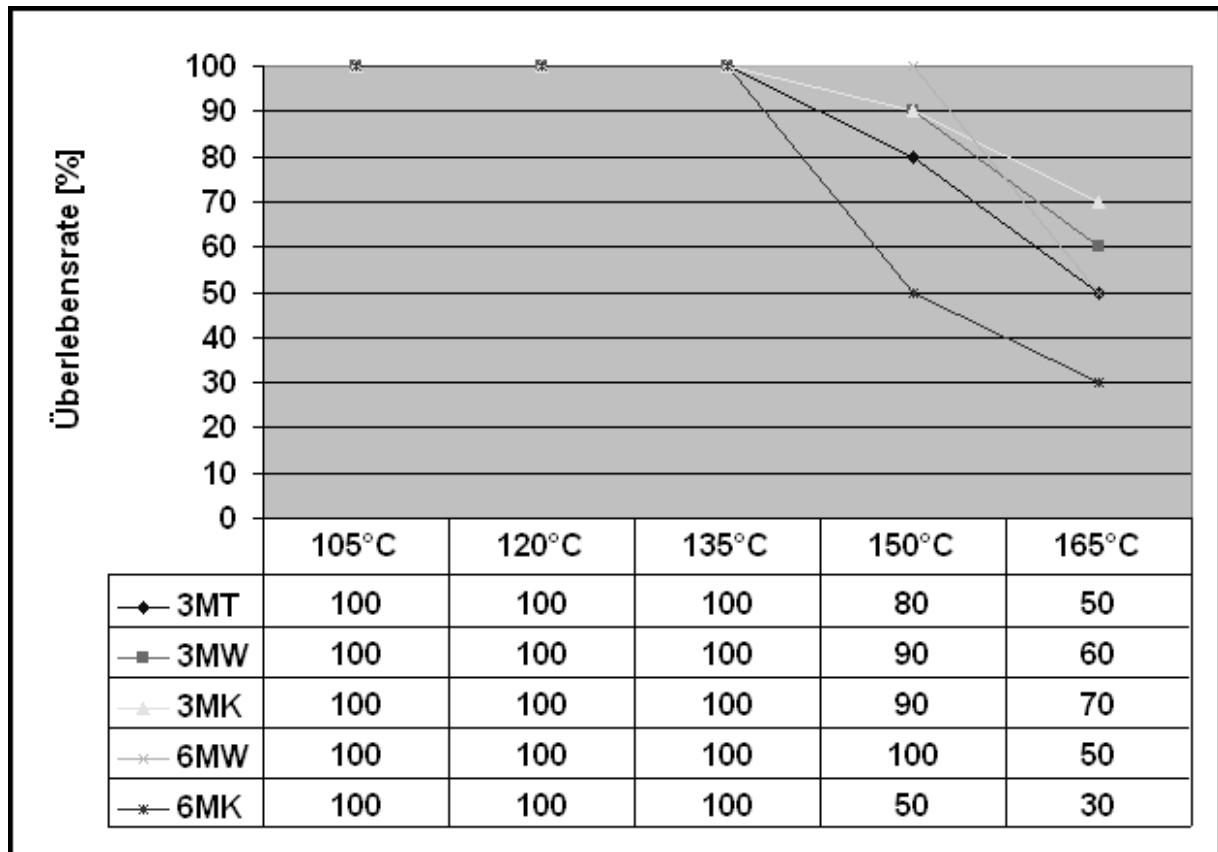
Abb. 10: Kronen einer Serie $n = 10$ nach Abschrecken in 5 °C kaltem Wasser

Beschreibende Statistik

Zur Beschreibung für die Einzelserie beim Abschrecktest wird jeweils die Vorwärmtemperatur, die zum ersten Defekt der Krone bzw. der Keramik führt, notiert. Bei der Serie, die „sechs Monate in Wasser“ gelagert wurde, kann die erste Rissbildung bei einer Temperatur von 165 °C beobachtet werden. In den anderen Fällen (3 Monate Trocken, 3 Monate Korrosionslösung, 6 Monate Wasser und 6 Monate Korrosionslösung) kommt es bei einer Erwärmung auf 150 °C und dem anschließenden Abschrecken zu Sprüngen in der Keramik.

Da der Test bei 165 °C abgebrochen wird, verbleiben je nach Lagerungsart zwischen 30 % und 60 % Kronen unbeschadet ohne Sprünge. In vier von fünf Serien werden jedoch Spätsprünge nachgewiesen. Die Spätsprünge erfolgen ausnahmslos an Kronen, die im Test schon durch Sofortsprünge ausfallen. In den Überlebensraten sind deshalb nur Kronen enthalten, die keinerlei Beschädigung aufweisen.

Die Abbildung 11 fasst die einzelnen Temperaturerhöhungen und die Tabelle 13 die Überlebensraten und Spätsprünge zusammen.



3MT – 3 Monate Trocken

6MW – 6 Monate Wasser

3MW – 3 Monate Wasser

6MK – 6 Monate Korrosionslösung

3MK – 3 Monate Korrosionslösung

Abb. 11: Überlebensraten in den einzelnen Temperaturschritten (n =10)

| Lagerungsbedingung | Spätsprünge | Überlebensrate |
|-----------------------------|-----------------|----------------|
| 3Mo.Trocken | ja, an 1 Krone | 50% der Kronen |
| 3Mo.Wasser | ja, an 1 Krone | 60% der Kronen |
| 3Mo.Korrosionslösung | nein | 70% der Kronen |
| 6Mo.Wasser | ja, an 4 Kronen | 50% der Kronen |
| 6Mo.Korrosionslösung | ja, an 1 Krone | 30% der Kronen |

Die Überlebensrate bezeichnet die Kronen jeder Serie, an denen keine Beschädigung nachgewiesen werden konnte

Tab. 13: Aufgetretene Spätsprünge (n = 10)

Vergleichende Statistik

Um die einzelnen Serien miteinander vergleichen zu können, erfolgt die Auswertung über die Lebenszeitanalyse in Form des LOGRANK-TESTS. Hier können jeweils zwei Gruppen gegeneinander abgegrenzt werden, wenn zwischen ihnen ein signifikanter Unterschied besteht.

Bei jeder Kontrolle entsteht eine Testgröße (Tabelle 14), die dann über einen signifikanten Unterschied entscheidet. Die kritische Schranke auf dem Fünf-Prozent-Niveau beträgt 3,842. Auch dieser Test wird zweiseitig ausgeführt.

Es gibt nur eine Serienkombination, für die die Alternativhypothese bestätigt wird: „sechs Monate Korrosionslösung“ und „drei Monate Korrosionslösung“. Die übrigen Serien unterscheiden sich nicht.

| Serie | 3MT | 3MW | 3MK | 6MW | 6MK |
|-------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 3MT | - | 0,332 | 0,691 | 0,005 | 1,371 |
| 3MW | n.sign. | - | 0,340 | 0,370 | 2,000 |
| 3MK | n.sign. | n.sign. | - | 1,429 | 4,024 |
| 6MW | n.sign. | n.sign. | n.sign. | - | 0,667 |
| 6MK | n.sign. | n.sign. | SIGN ! | n.sign. | - |

SIGN ! = es besteht ein signifikanter Unterschied auf dem Niveau $p=0,05$

n.sign. = Werte unterscheiden sich auf dem Signifikanzniveau $p=0,05$ nicht voneinander

Tab. 14: Ergebnisse des LOGRANK-TESTS für die Kronen des Abschrecktests

4.5 Korrelation der Messmethoden

Nach der Ermittlung einzelner Messgrößen stellt sich die Frage, ob zwischen den beschriebenen In-vitro-Tests eine Verbindung besteht. Mit der Regressionsanalyse wird nach einer Verbindung zwischen den Lagerungsbedingungen und den durchgeführten Versuchen gesucht.

Jeder der Tests wird mit jeweils den anderen verglichen. Die ermittelten Korrelationskoeffizienten können einen Hinweis auf einen Zusammenhang geben. Es ist jedoch erst bei einer Korrelation von $\pm 0,8$ von einer Beziehung zwischen den Versuchen auszugehen.

Die Tabelle 15 stellt die errechneten Korrelationskoeffizienten der einzelnen Versuche gegenüber.

| Test | Schwickerath | Voss | Püchner | Abschrecktest |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Schwickerath | - | -0,17 | 0,52 | -0,62 |
| Voss | keine Korrelation | - | 0,41 | 0,16 |
| Püchner | keine Korrelation | keine Korrelation | - | 0,18 |
| Abschrecktest | keine Korrelation | keine Korrelation | keine Korrelation | - |

Tab. 15: Korrelation zwischen SCHWICKERATH-TEST, VOSS-TEST, dem Versuch nach PÜCHNER und dem Abschrecktest

Bei einem negativen Vorzeichen und einem entsprechend hohen Koeffizienten kann auf einen negativ linearen Zusammenhang geschlossen werden. Analog dazu verhalten sich positive Werte. Die graphische Darstellung ermöglicht einen schnellen Überblick über mögliche Verbindungen zwischen den einzelnen Tests.

Es kann keine eindeutige Korrelation zwischen einem der Versuche nachgewiesen werden.

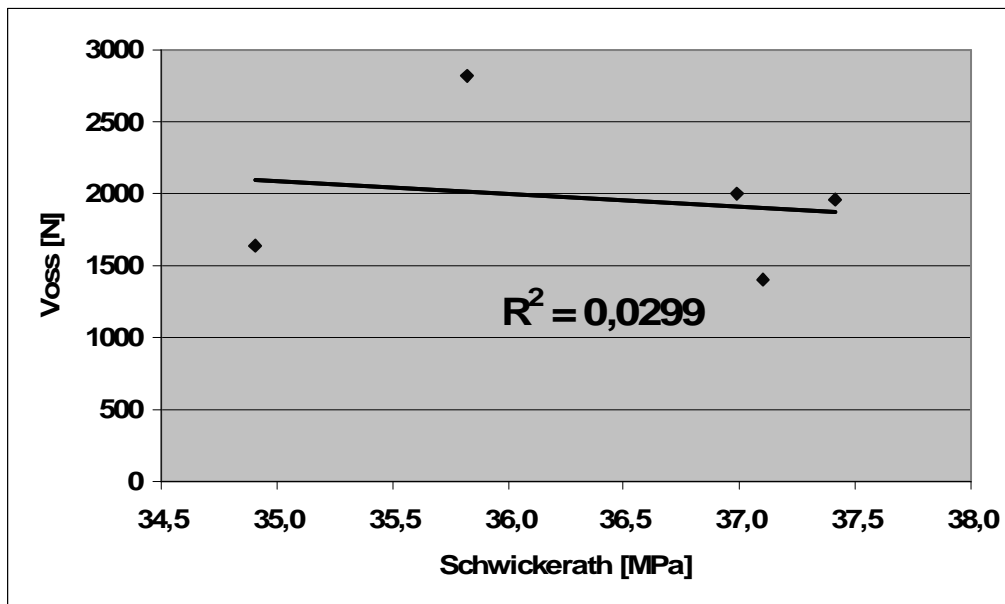


Abb. 12: Korrelation zwischen dem VOSS- und SCHWICKERATH-TEST

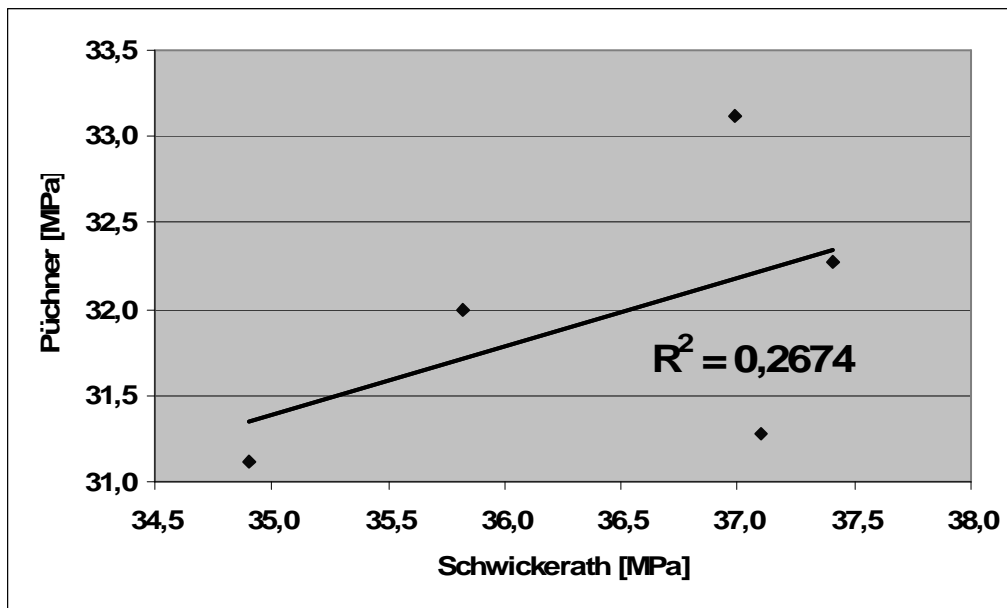


Abb. 13: Korrelation zwischen dem PÜCHNER- und SCHWICKERATH-TEST

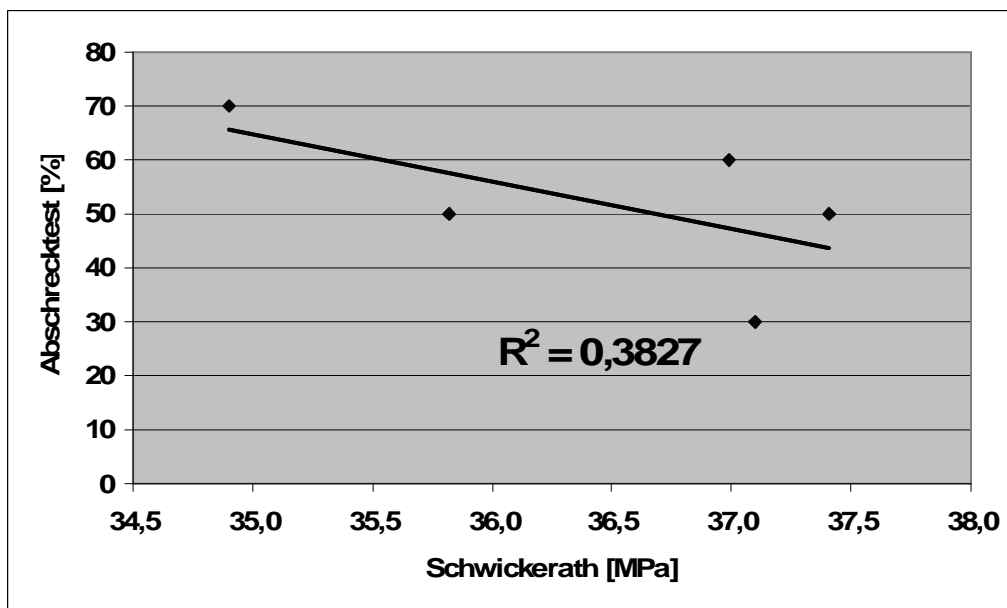


Abb. 14: Korrelation zwischen dem Abschreck- und SCHWICKERATH-TEST

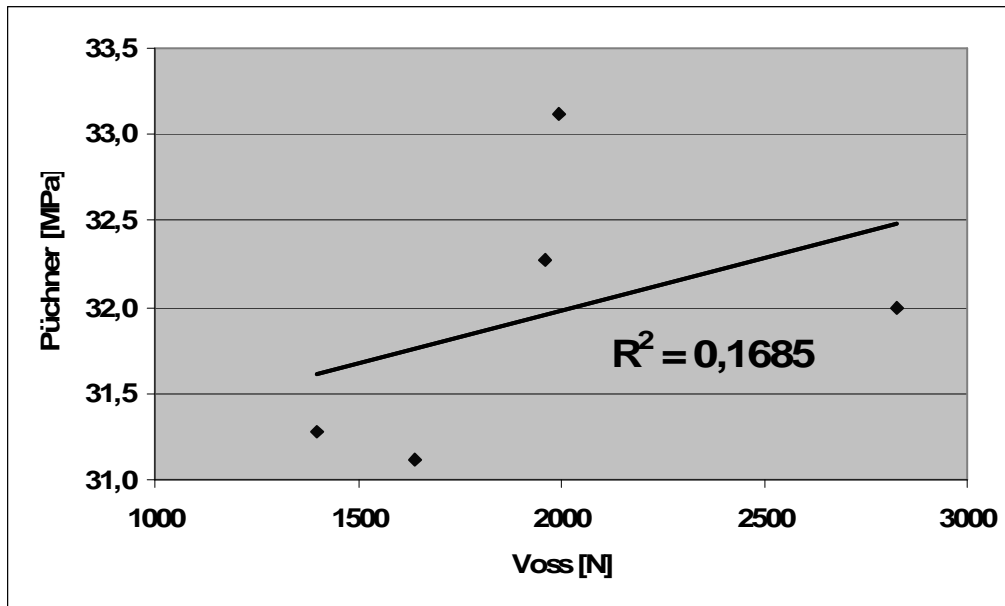


Abb. 15: Korrelation zwischen dem PÜCHNER- und VOSS-TEST

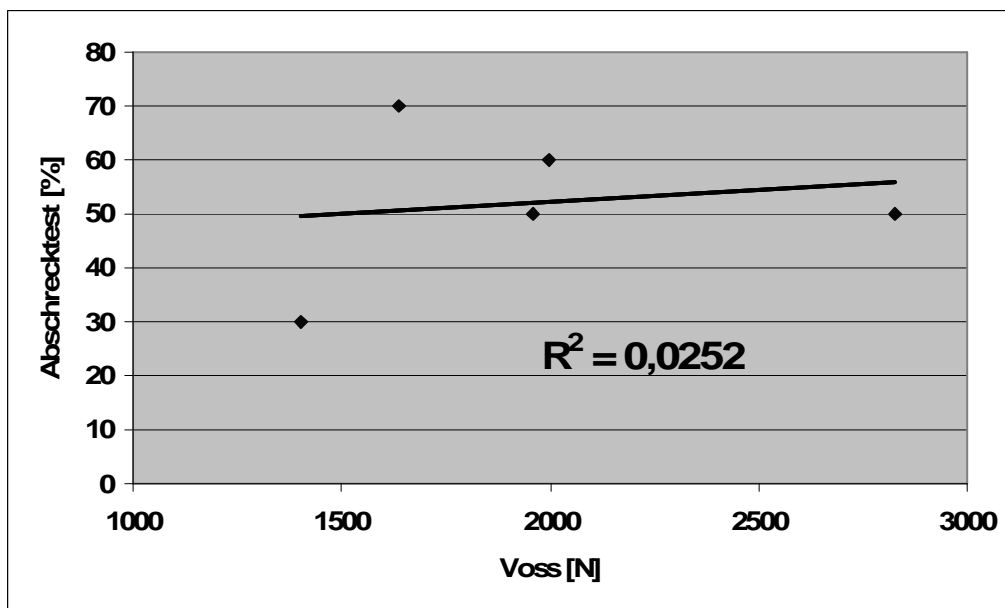


Abb. 16: Korrelation zwischen dem Abschreck- und VOSS-TEST

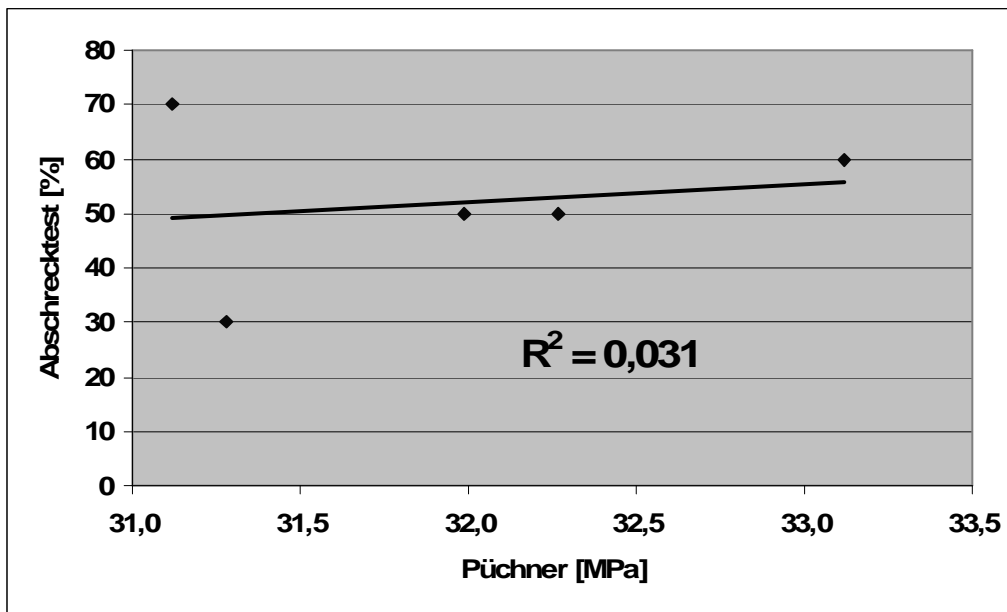


Abb. 17: Korrelation zwischen dem Abschreck- und PÜCHNER-TEST