

### 3. Ergebnis

#### 3.1 REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von humanen Osteoblasten auf Polystyrol

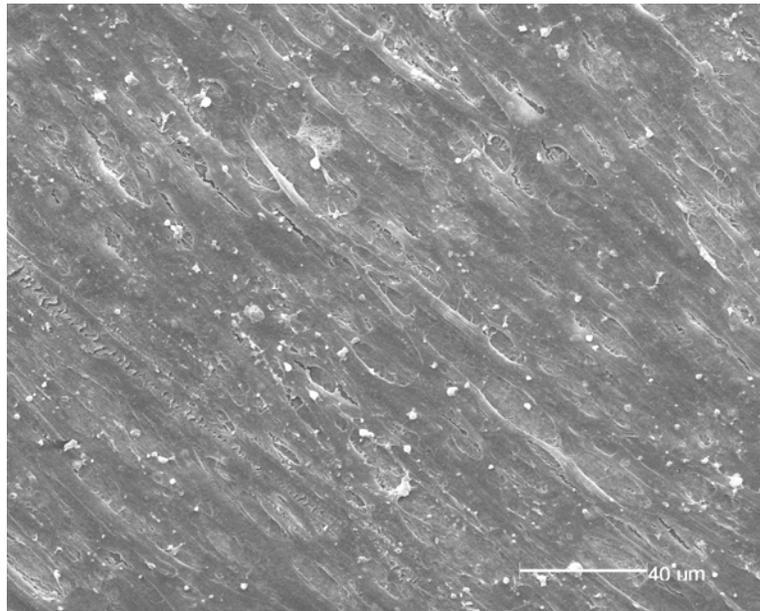


Abbildung 1.1) Polystyrol 21d-500x  
Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens mit  
gespreiteten Zellen

Nach 21 Tagen ist in der Kontrollgruppe auf Polystyrol die Bildung eines Zellrasens mit Matrixbildung zu beobachten. Die Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens ist somit im vorliegenden Fall auch ohne Einsatz der bioaktiven Substanzen nach 21 Tagen nachweisbar.

3.1.1 REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von humanen Osteoblasten auf Implantatoberflächen

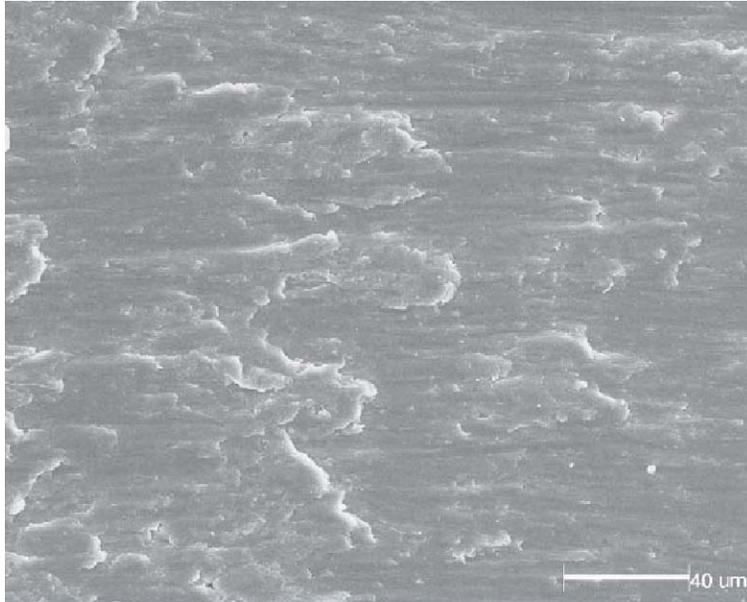


Abbildung 2.1) Ti-ma-500x-Leerprobe

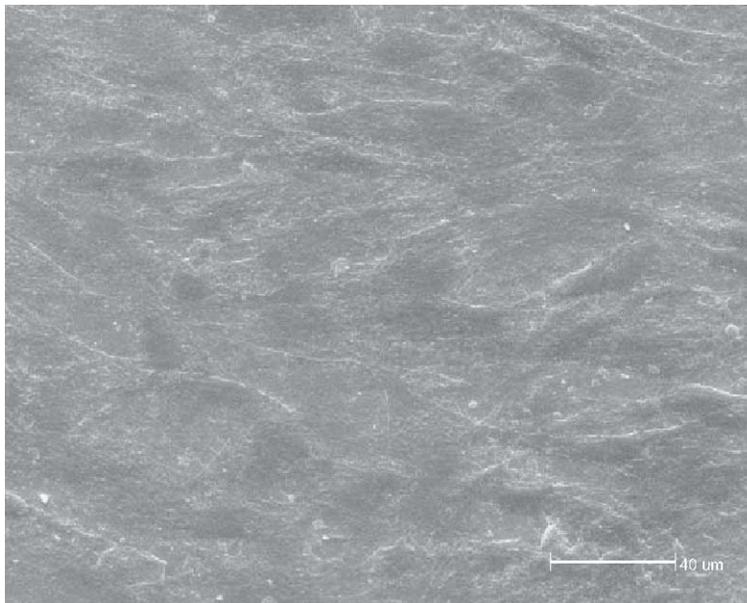


Abbildung 2.2) Ti-ma-3-d-500x  
Dünn besiedelter Zellrasen

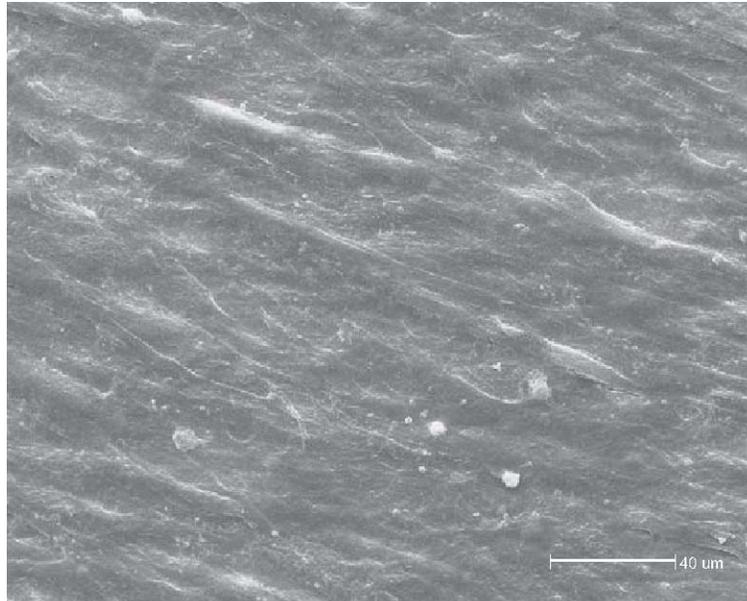


Abbildung 2.3) Ti-ma-5d-500x  
Dichter homogener Zellrasen

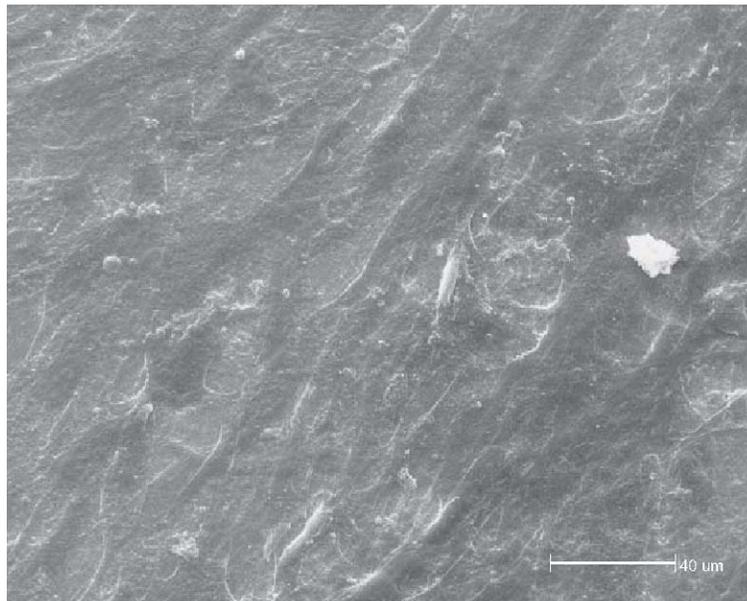


Abbildung 2.4) Ti-ma-7d-500x  
Zunahme der Zellschicht



Abbildung 2.5) Ti-ma-14d-500x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit gespreiteten Zellen

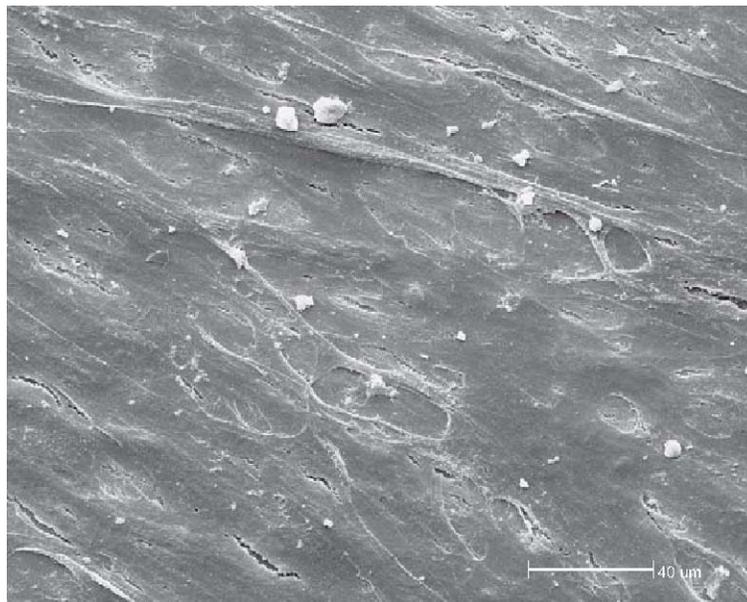


Abbildung 2.6) Ti-ma-21d-500x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit Rissen infolge des  
Trocknungsprozesses

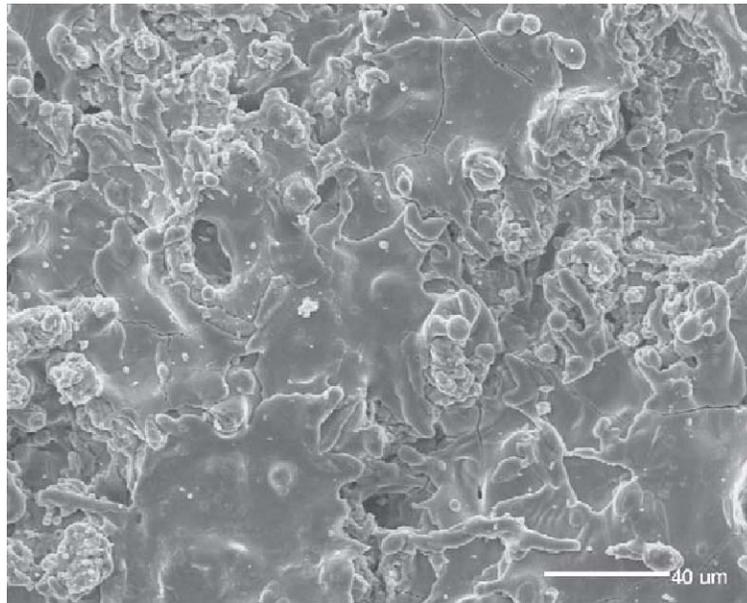


Abbildung 3.1) Ti-TPS-500x-Leerprobe

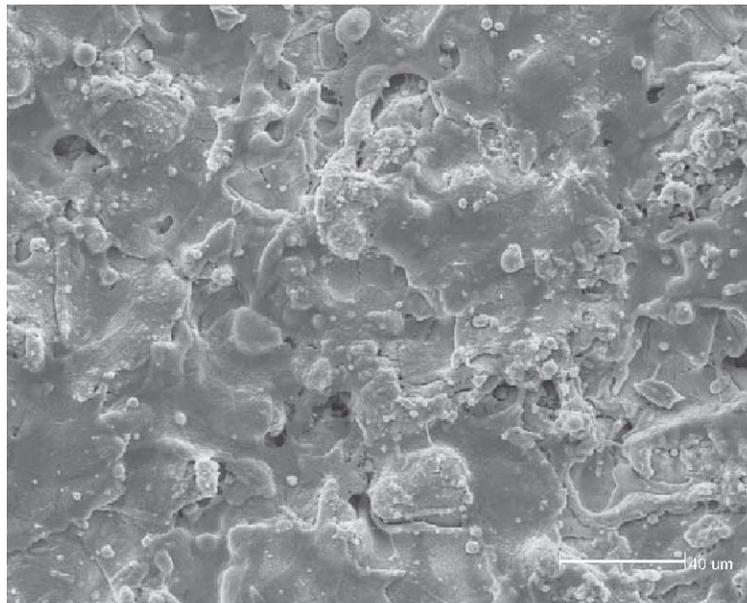


Abbildung 3.2) Ti-TPS-3d-500x  
Vereinzelte Zellen auf sichtbarer Unterlage

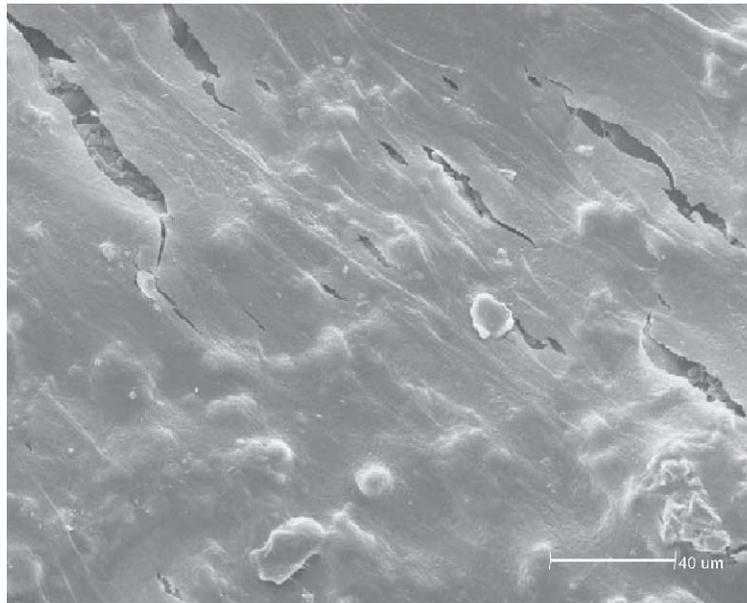


Abbildung 3.3) Ti-TPS-5d-500x  
Konfluenter Zellrasen mit Trockenheitsrissen,  
entstanden infolge des Trocknungsprozesses; die  
Unterlage ist durch die Risse sichtbar

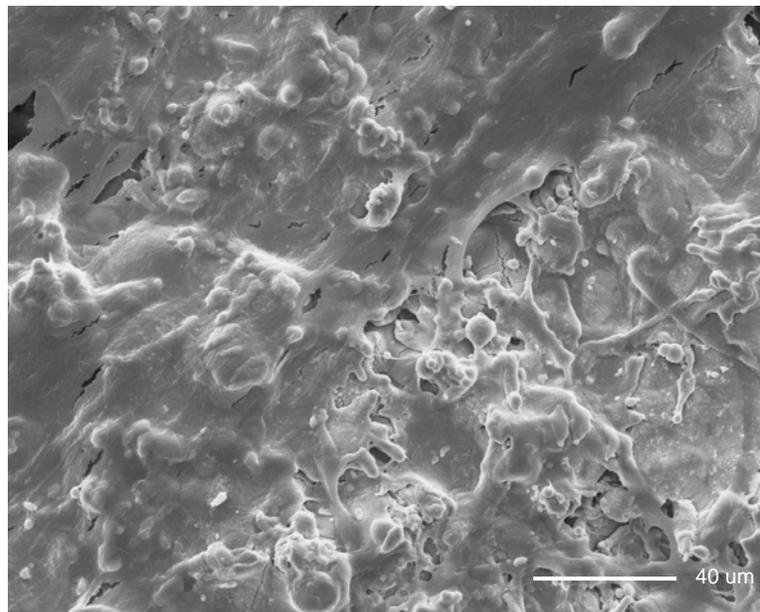


Abbildung 3.4) Ti-TPS-7d-500x  
Zellrasen; die Unterlage ist an einigen Stellen sichtbar

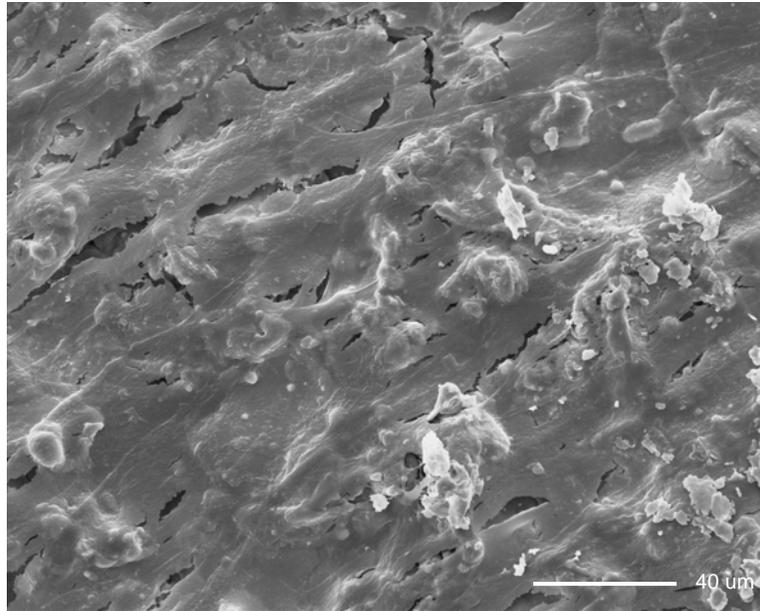


Abbildung 3.5) Ti-TPS-14d-500x  
Zellrasen mit Trockenheitsrissen infolge des  
Trocknungsprozesses

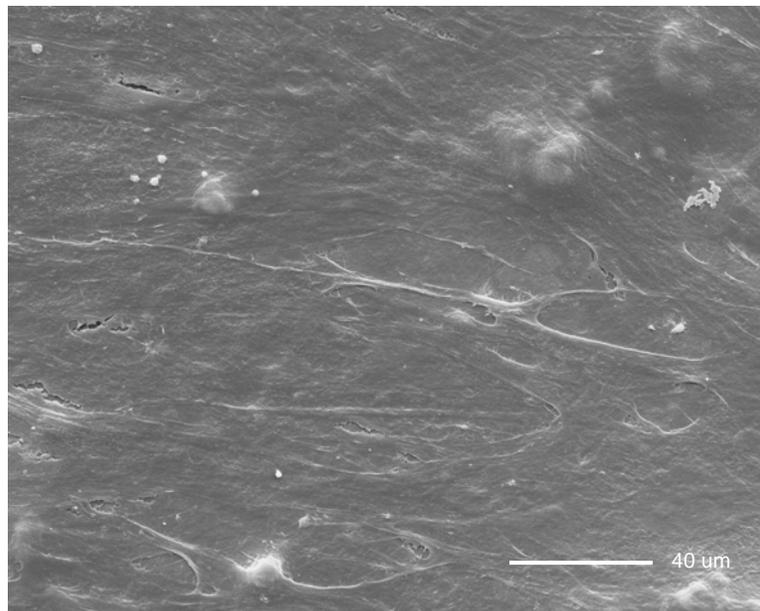


Abbildung 3.6) Ti-TPS-21d-500x  
Konfluenter Zellrasen

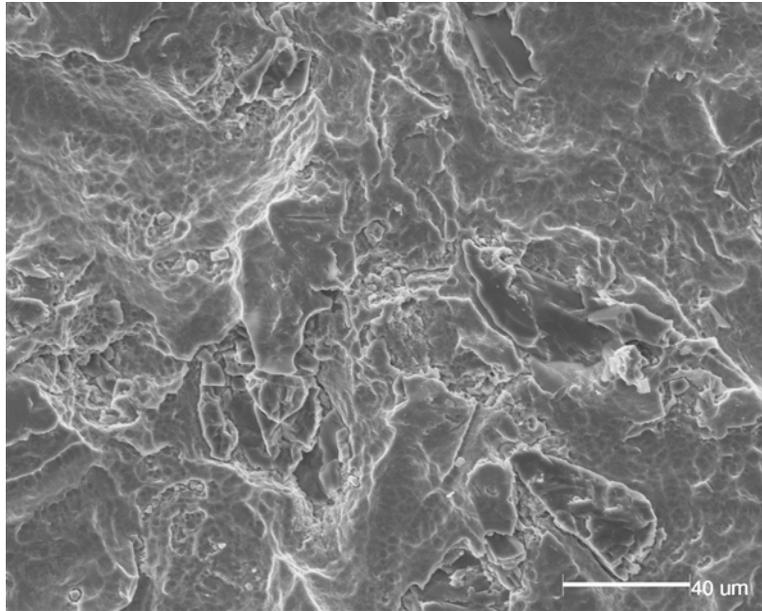


Abbildung 4.1) Ti-DPS-500x-Leerprobe

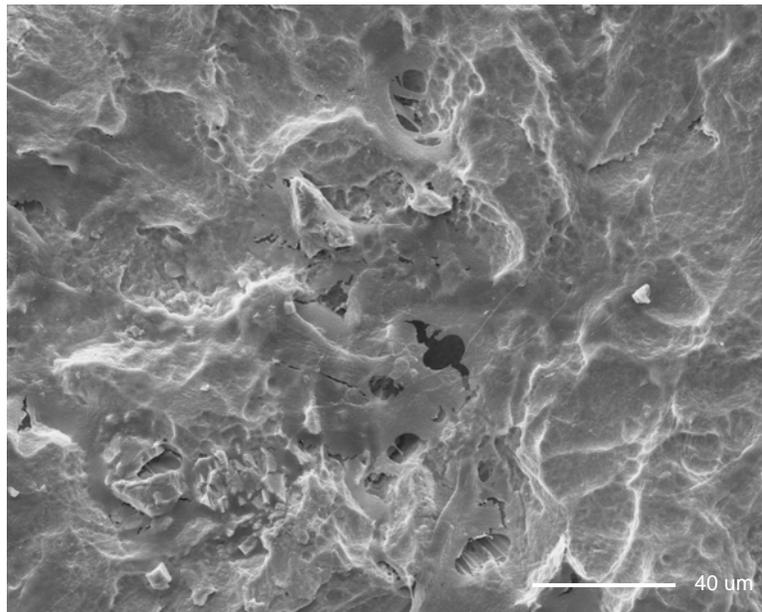


Abbildung 4.2) Ti-DPS-3d-500x  
Dünnere Zellrasen mit Unterbrechungen

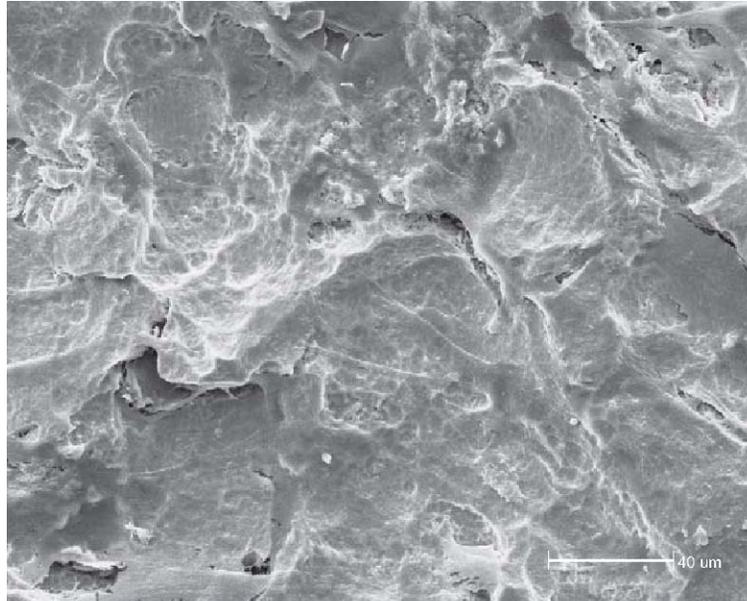


Abbildung 4.3) Ti-DPS-5d-500x  
Zunahme der Zellschicht; die Unterlage ist durch die Risse sichtbar

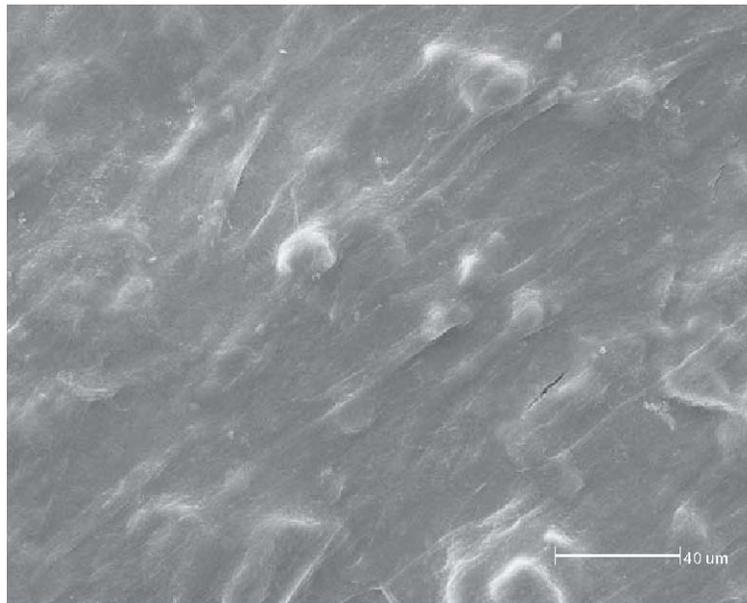


Abbildung 4.4) Ti-DPS-7d-500x  
Flächiger konfluenter Zellrasen

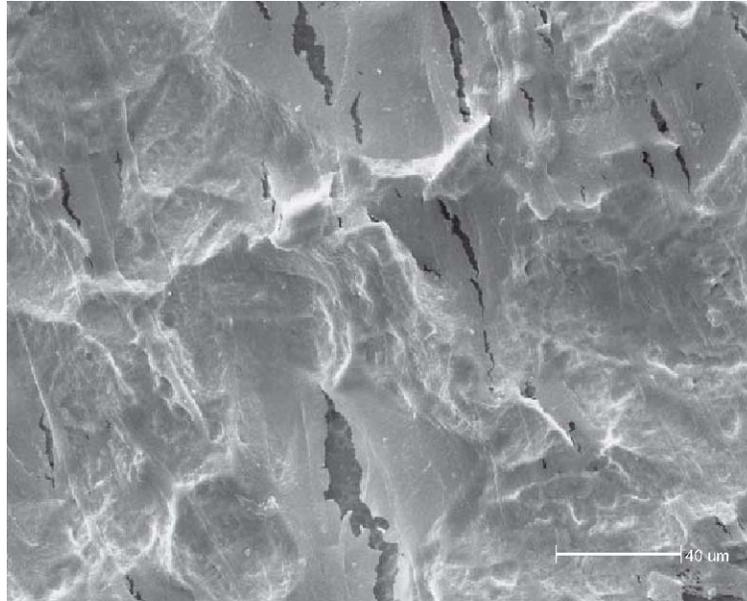


Abbildung 4.5) Ti-DPS-14d-500x  
Dichter Zellrasen mit Zunahme der Trockenheitsris-  
sen infolge des Trocknungsprozesses

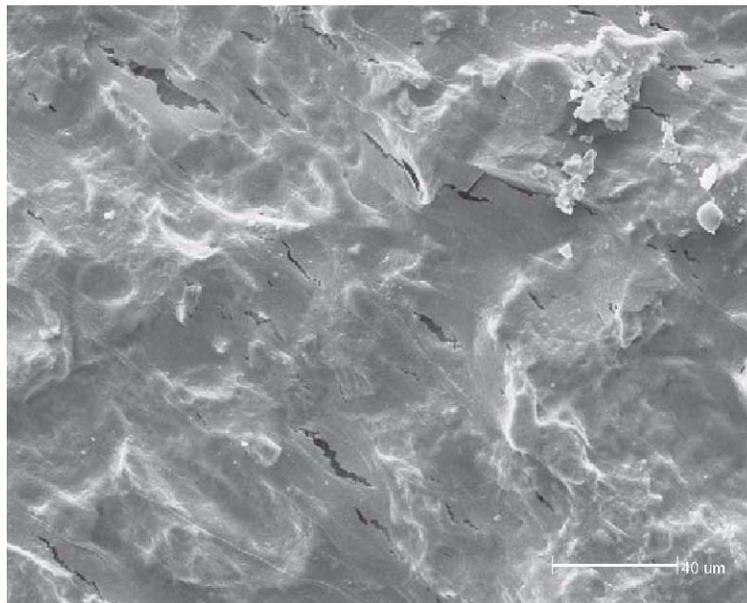


Abbildung 4.6) Ti-DPS-21d-500x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit Trockenheitsrissen  
infolge des Trocknungsprozesses

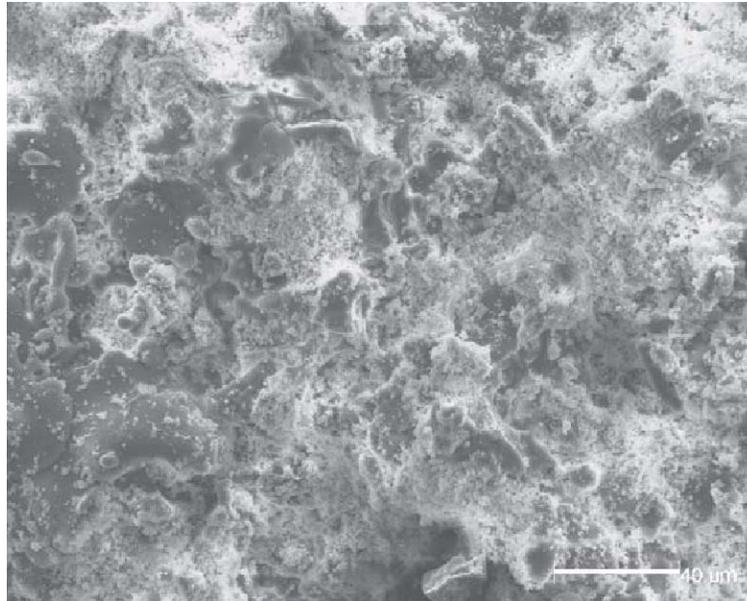


Abbildung 5.1) Ti-HA-500x-Leerprobe

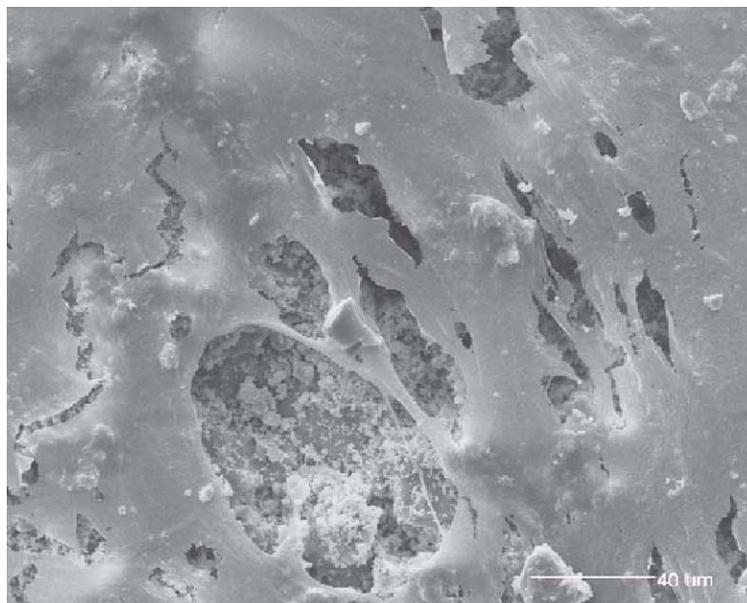


Abbildung 5.2) Ti-HA-7d-500x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen mit gespreiteten Zellen und deutlich sichtbarer Unterlage

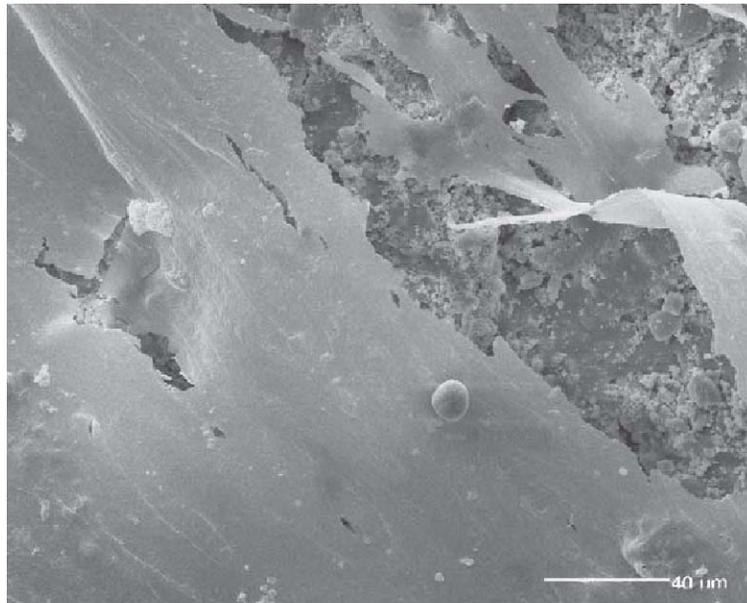


Abbildung 5.3) Ti-HA-14d-500x  
Große Zellformation in Verbindung stehender Zellen  
aus gespreiteten Zellen

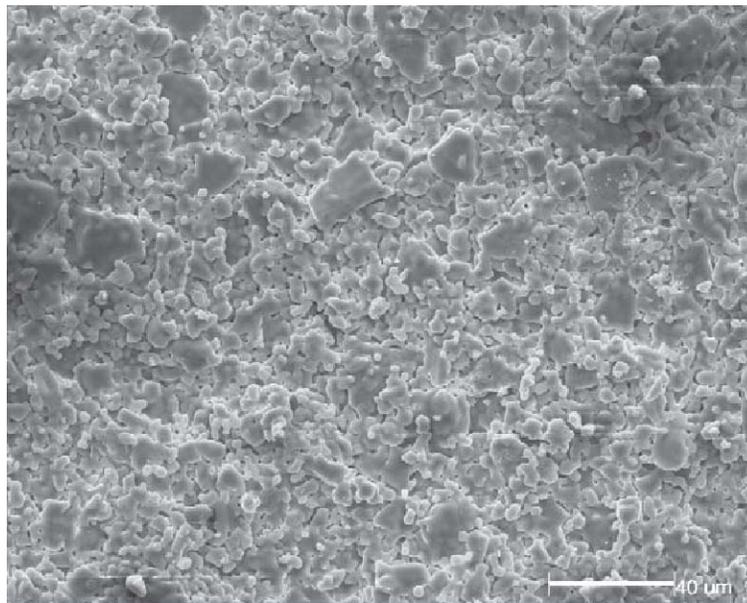


Abbildung 6.1) CTP-S1-500x-Leerprobe

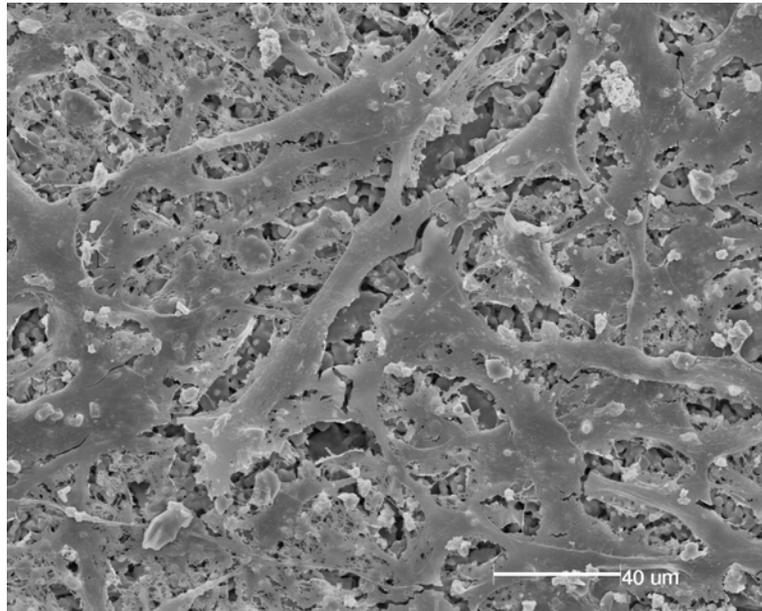


Abbildung 6.2) CTP-S1-7d-500x  
Einzelne gespreitete Zellen mit sichtbarer Unterlage

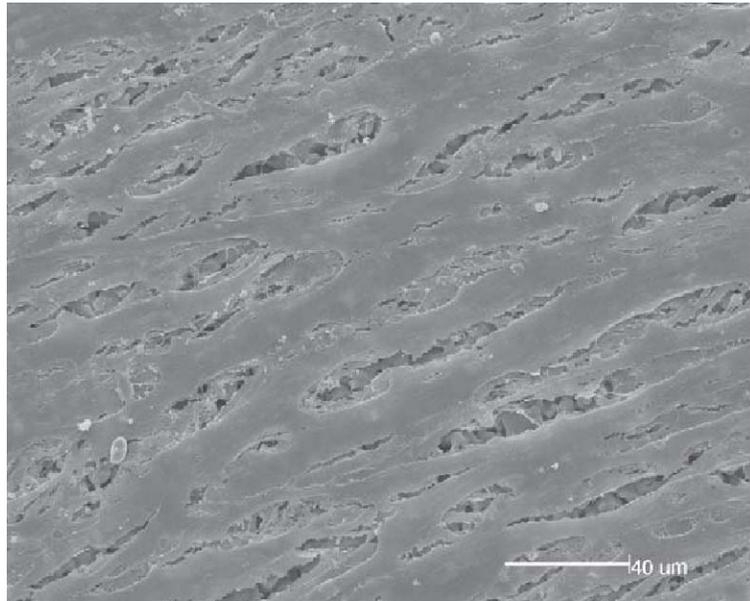


Abbildung 6.3) CTP-S1-14d-500x  
Große Zellformation in Verbindung stehender Zellen  
aus gespreiteten Zellen

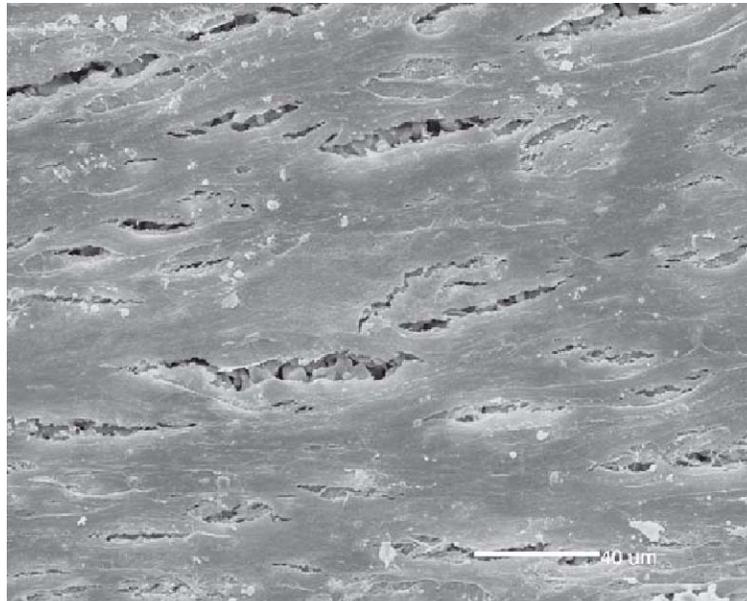


Abbildung 6.4) CTP-S1-21d-500x  
Zunahme der Zellformation in Verbindung stehender  
Zellen mit Übergang zum Zellrasen

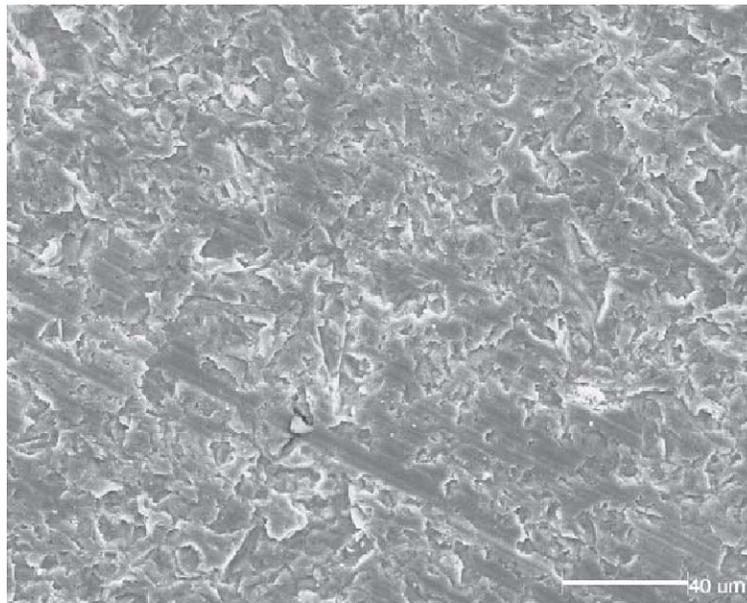


Abbildung 7.1) CTP-S2-500x-Leerprobe

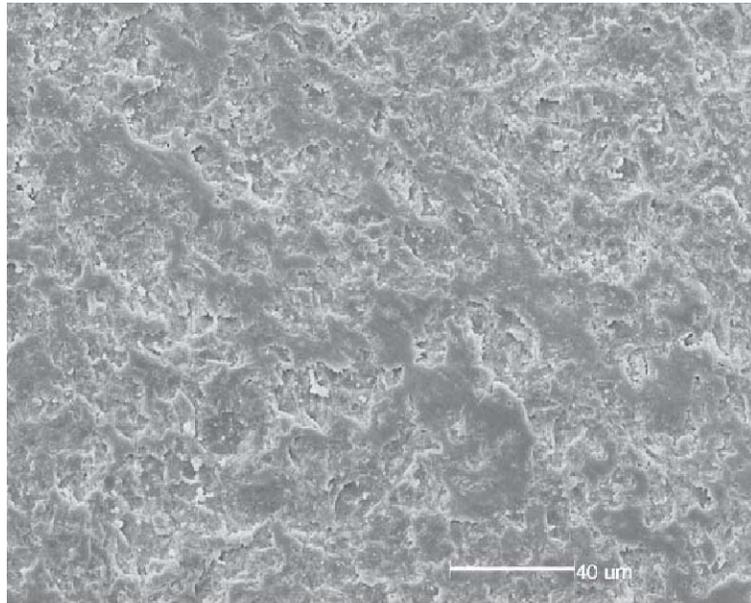


Abbildung 7.2) CTP-S2-7d-500x  
Einzelne Zellgruppen

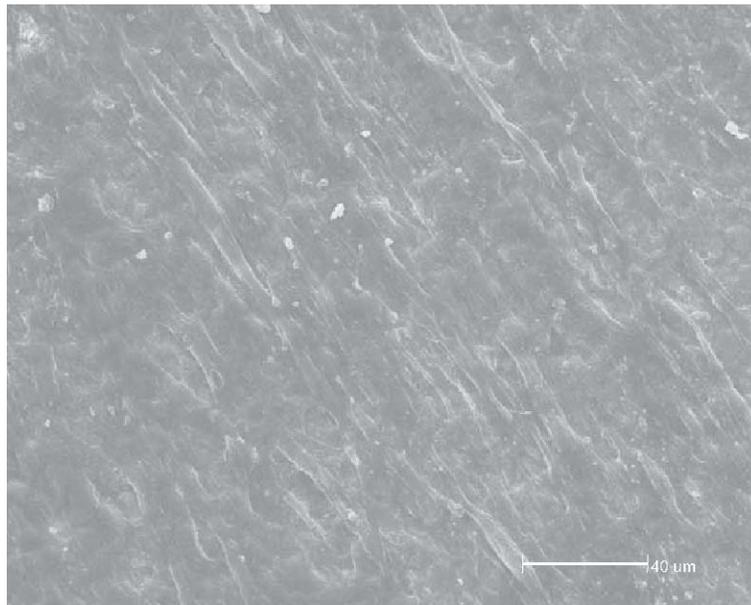


Abbildung 7.3) CTP-S2-14d-500x  
Übergang der Zellformation in Verbindung stehender  
Zellen zum Zellrasen

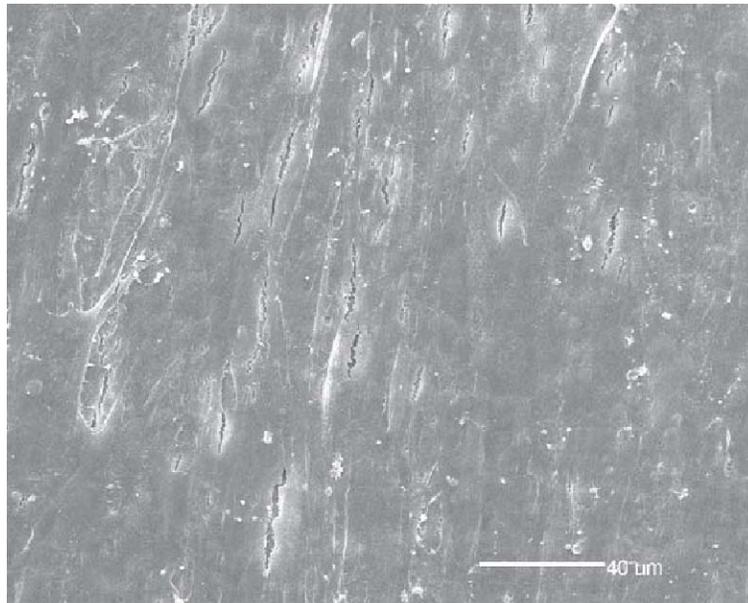


Abbildung 7.4) CTP-S2-21d-500x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit gespreiteten Zellen  
und Ausbildung extrazellulärer Matrix

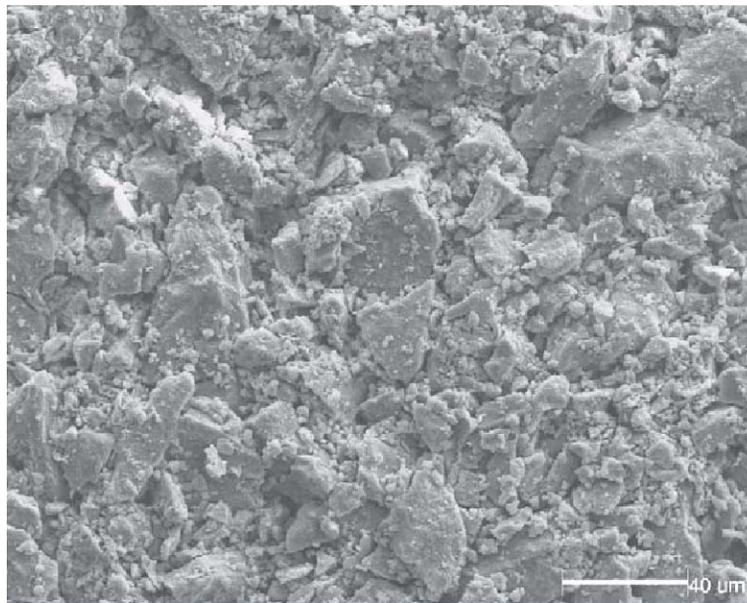


Abbildung 8.1) CTP-S3-500x-Leerprobe

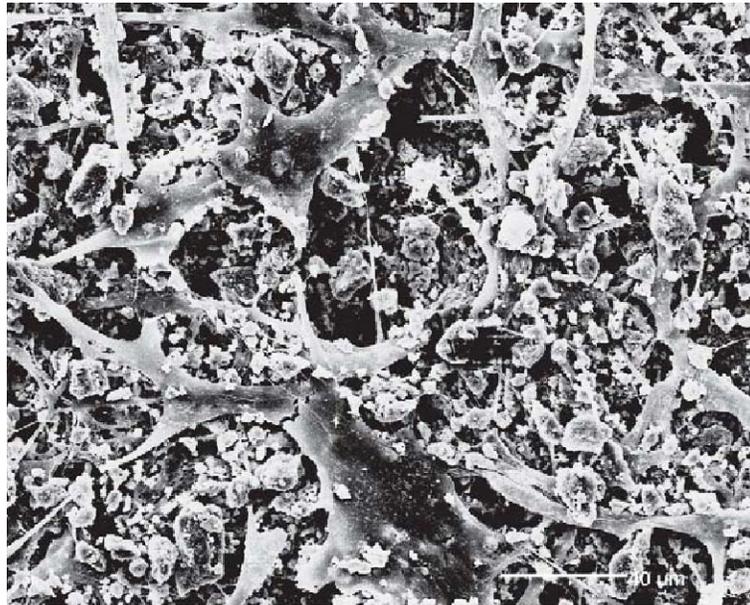


Abbildung 8.2) CTP-S3-7d-500x  
Einzelne gespreitete Zellen

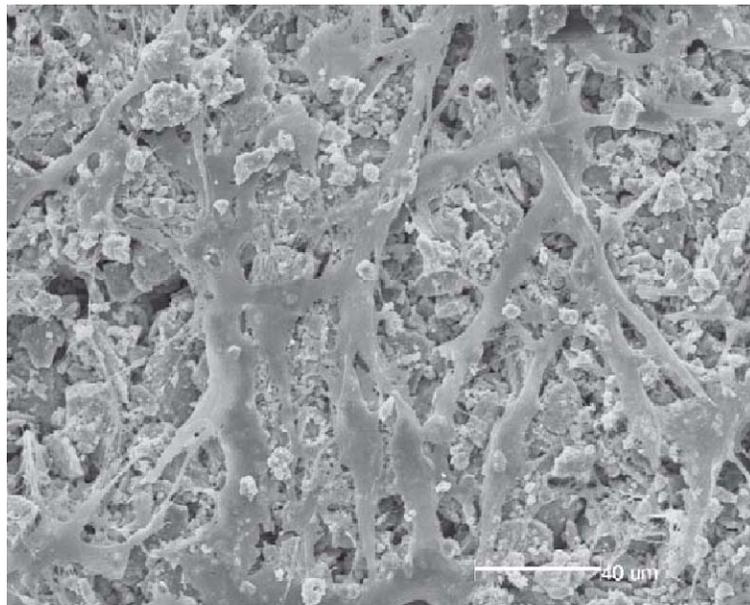


Abbildung 8.3) CTP-S3-14d-500x  
Einzelne Zellformationen in Verbindung stehender  
Zellen aus gespreiteten Zellen

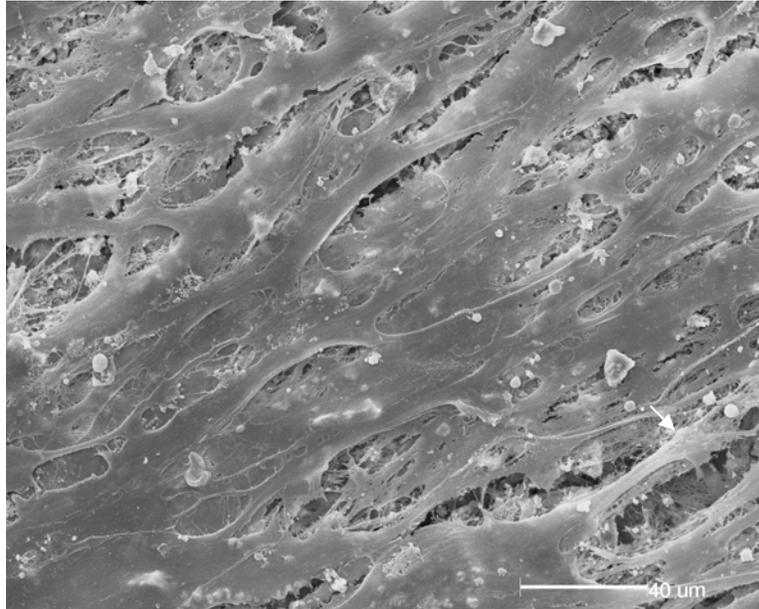


Abbildung 8.4) CTP-S3-21d-500x  
Mehrschichtige Zellschicht aus gespreiteten Zellen  
mit Ausbildung faserigen Elementen (Pfeil) mit  
erkennbarer Unterlage

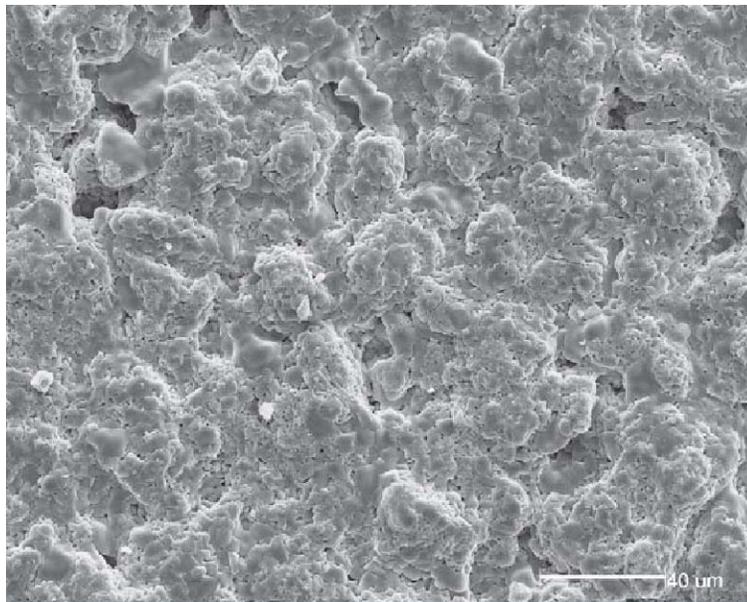


Abbildung 9.1) CTZP-S2-500x-Leerprobe

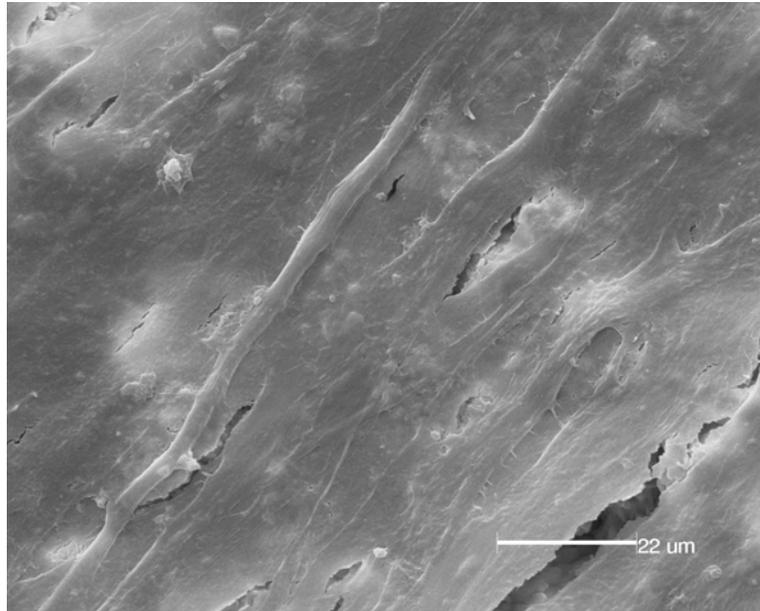


Abbildung 9.2) CTZP-S2-14d-1000x  
Konfluenter Zellrasen mit Trocknungsrissen infolge  
des Trocknungsprozesses

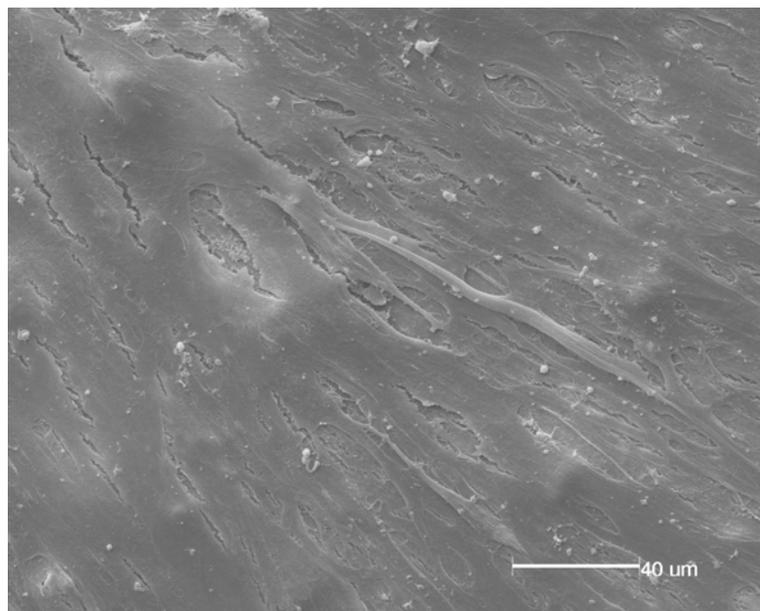


Abbildung 9.3) CTZP-S2-21d-500x  
Mehrschichtiger Zellrasen aus gespreiteten Zellen

### Vergleich der Implantatoberflächen

Am 3. Untersuchungstag sind auf der Basis des Ti-Plasma-beschichteten Ti-TPS lediglich einzelne Zellen sichtbar, während am gleichen Tag auf der glatt polierten Oberfläche des Ti-ma sowie auf der sandgestrahlt und geätzten Oberfläche des Ti-DPS bereits die Bildung eines Zellrasens zu erkennen ist.

Die fein verarbeitete Oberfläche des Ti-ma liefert am 5. Untersuchungstag das Wachstum eines Zellrasens als Ergebnis. Ebenso ist auf der Ti-Plasma-beschichteten Oberfläche des Ti-TPS ein Zellrasen ersichtlich. Das REM-Bild des Ti-DPS zeugt am gleichen Tag vom mehrschichtigen Zellrasen.

Am 7. Untersuchungstag hat sich auf der Oberfläche des Ti-ma ein mehrschichtiger Zellrasen gebildet. Auch auf Ti-TPS und Ti-DPS hat sich ein Zellrasen gebildet, der sich jedoch nicht in allen Probeabschnitten ganz so dicht wie auf Ti-ma erscheint. Die Hydroxylapatit-Plasma-beschichtete Ti-HA-Oberfläche lässt in der REM-Untersuchung eine Zellkolonie erkennen. An dem Tag waren lediglich einzelne Zellen auf der ebenfalls Calciumphosphat-beschichteten Oberfläche des CTP-S1, CTP-S2 und CTP-S3 erkennbar.

Am 14. Untersuchungstag war auf der Ti-ma-Oberfläche mehrschichtiger Zellrasen zu beobachten. Auf den Implantatoberflächen des Ti-TPS, Ti-DPS, CTP-S2 und CTZP-S2 war am gleichen Tag lediglich die Bildung eines Zellrasens erkennbar. Die REM-Bilder der Ti-HA, CTP-S1 und CTP-S3 zeigen in der 2. Untersuchungswoche lediglich die Bildung von Zellformationen in Verbindung stehender Zellen.

In der 3. Untersuchungswoche ist auf der Grundlage des CTP-S3 mehrschichtiger Zellrasen mit faserigen Elementen erkennbar. Auf der Basis der Ti-TPS und CTP-S1 bildeten die Zellen ebenfalls einen Zellrasen, während Ti-ma, Ti-DPS, CTP-S2 und CTZP-S2 die Osteoblasten zur Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens angeregt haben.

Auf eine Ionen- und EDX-Untersuchung der Implantatoberflächen ist verzichtet worden, da die HA-Oberfläche teilweise Ca und P enthält. Die gemessenen Werte würden nicht

unbedingt Hinweis auf die Auslaugungsphänomene der Implantatoberfläche liefern und von der Oberfläche ausgetreten sein könnten.

3.2. REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von Rattenosteoblasten auf Polystyrol

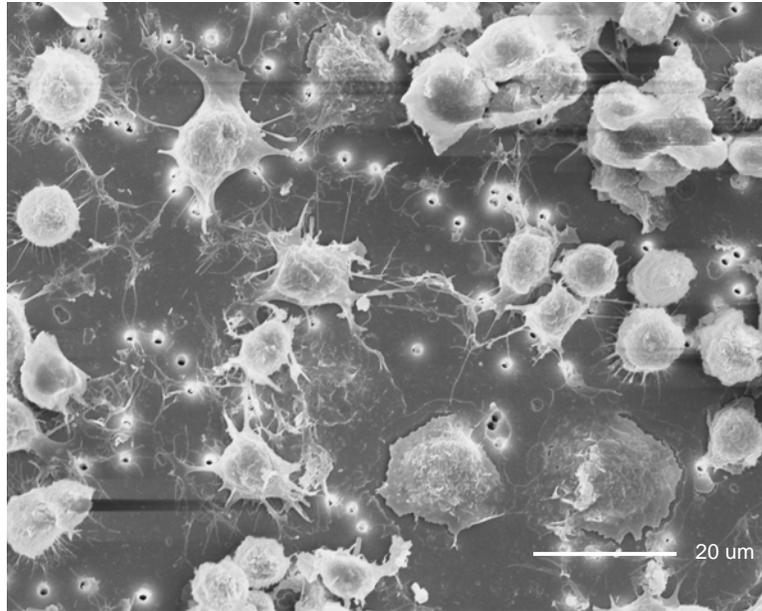


Abbildung 10.1) Polystyrol-1000x-0-Probe

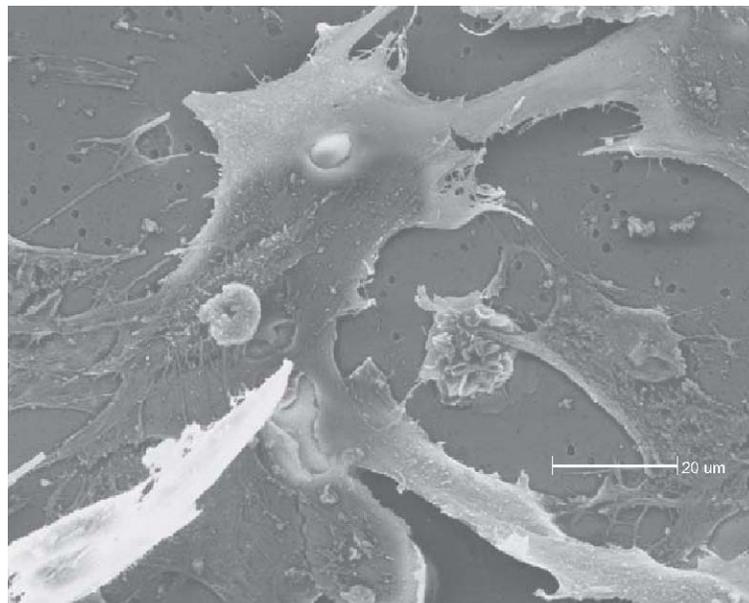


Abbildung 10.2) Polystyrol-1d-1000x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen aus  
gespreiteten Zellen

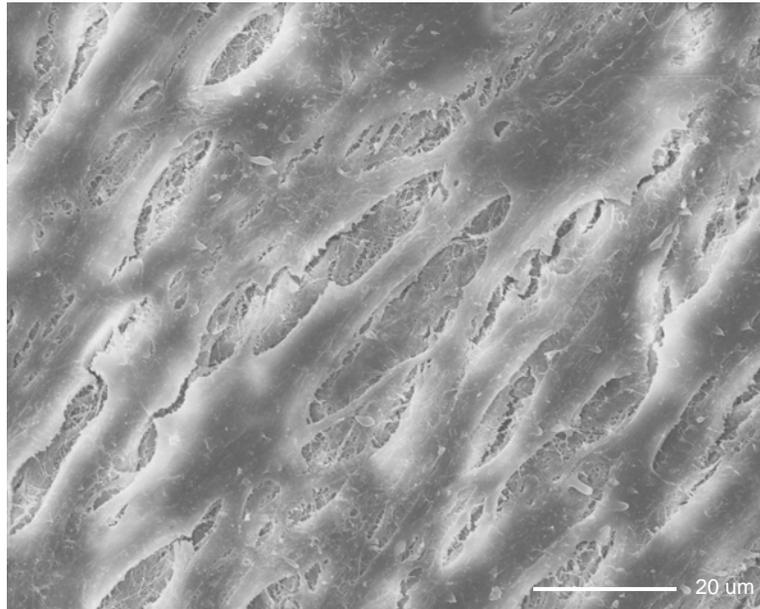


Abbildung 10.3) Polystyrol-3d-1000x  
Dünner Zellrasen

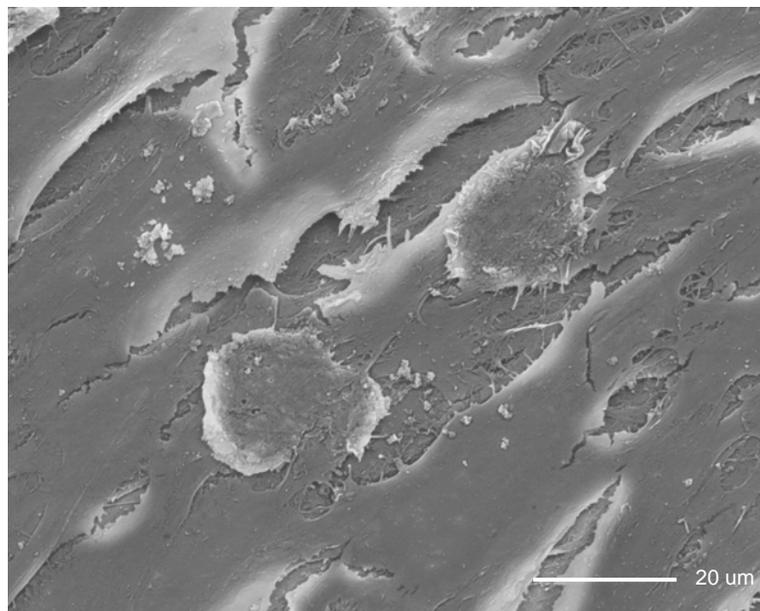


Abbildung 10.4) Polystyrol-7d-1000x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen

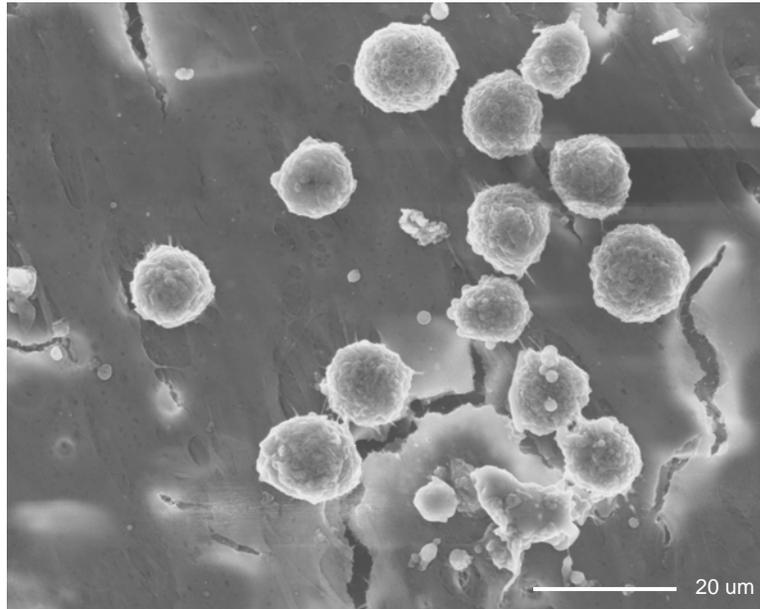


Abbildung 10.5) Polystyrol-14d-1000x  
Zellrasen mit Trockenheitsrissen infolge des  
Trocknungsprozesses

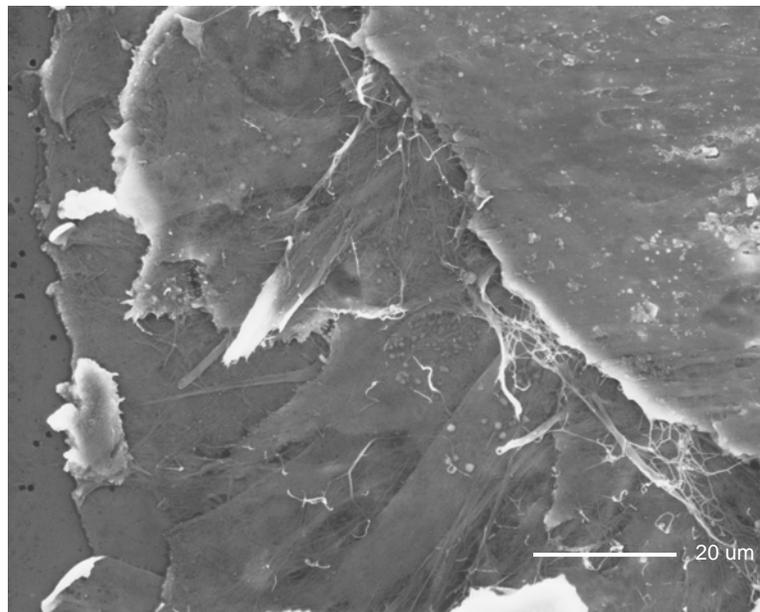


Abbildung 10.6) Polystyrol-21d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen

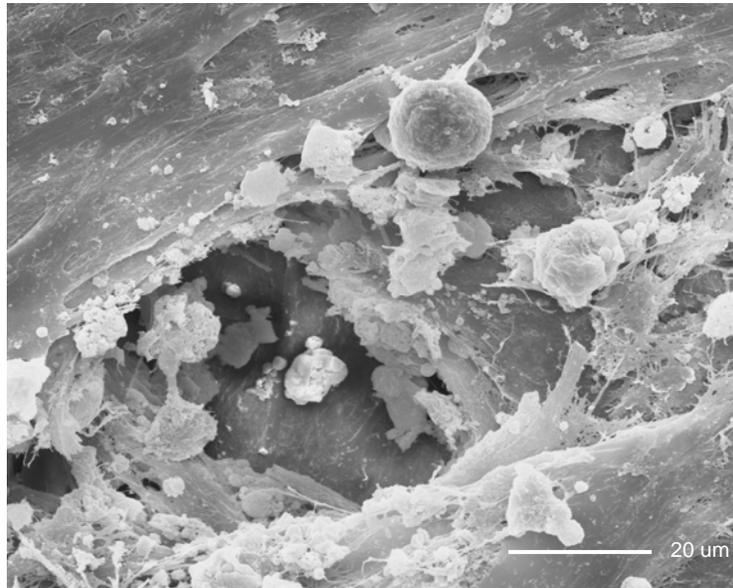


Abbildung 10.7) Polystyrol-28d-1000x  
mehrschichtiger Zellrasen mit Unterbrechungen

Am 1. Tag der Kontrollprobe sind einzelne zum Teil gespreitete Zellen feststellbar. Nach 3 Tagen beobachtet man bereits einen dünnen Zellrasen. Am 14. Versuchstag entwickelt sich ein Zellrasen, der sich am 21. Tag nach dem Versuchsbeginn in einen mehrschichtigen Zellrasen umwandelt. Am 28. Tag ist eine Zunahme der Schichten feststellbar.

3.2.1 REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von Rattenosteoblasten auf  
AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

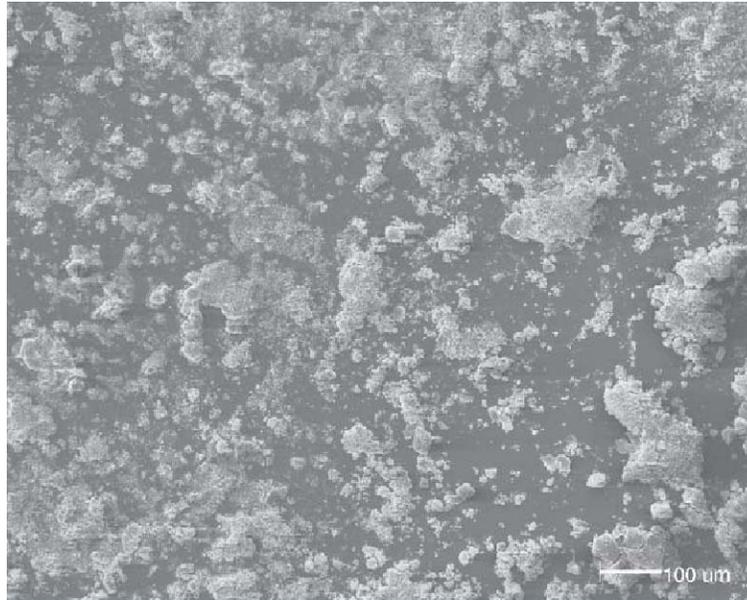


Abbildung 11.1) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- Leerprobe-100x

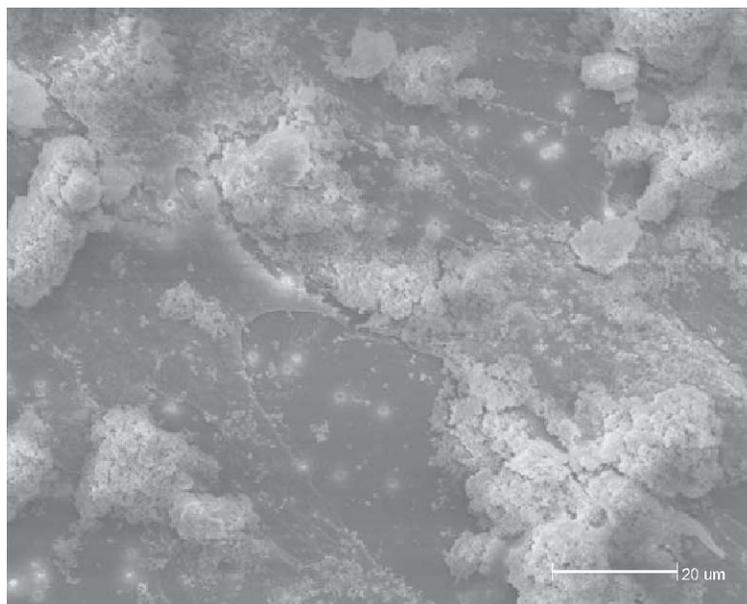


Abbildung 11.2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-3d-1000x  
Einzelne Zellen erkennbar

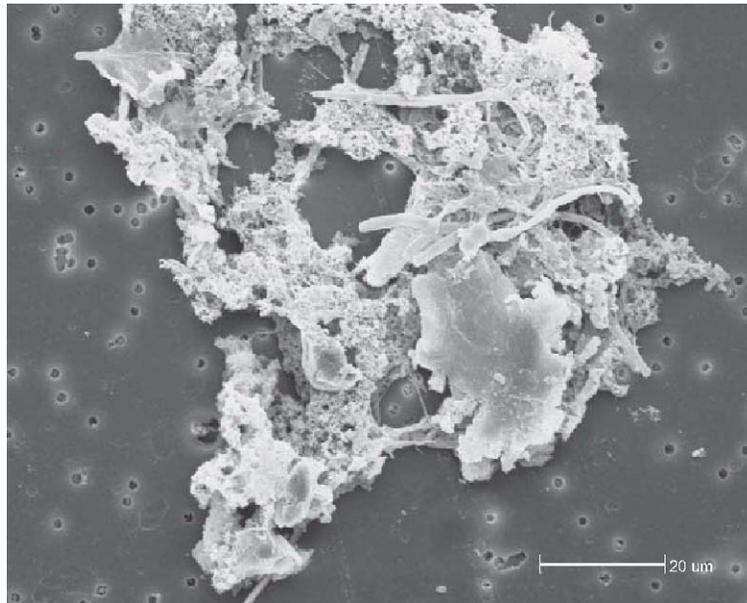


Abbildung 11.3) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-21d-1000x  
Einzelne Zellen

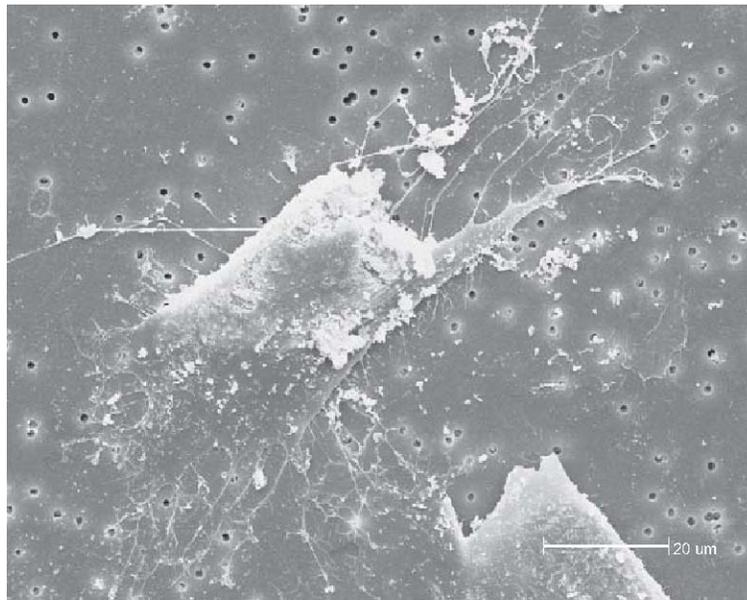


Abbildung 11.4) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-28d-1000x  
Einzelne gespreitete Zellen ersichtlich

Am 3., 21. und 28. Versuchstag sind einzelne Zellen zu beobachten.

### 3.2.2 REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von Rattenosteoblasten auf Ceravital

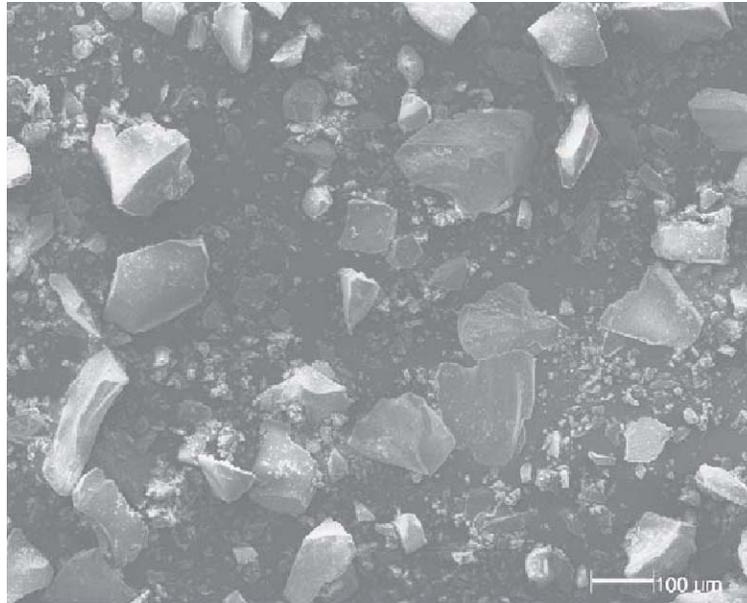


Abbildung 12.1) Ceravital-Leerprobe-100x

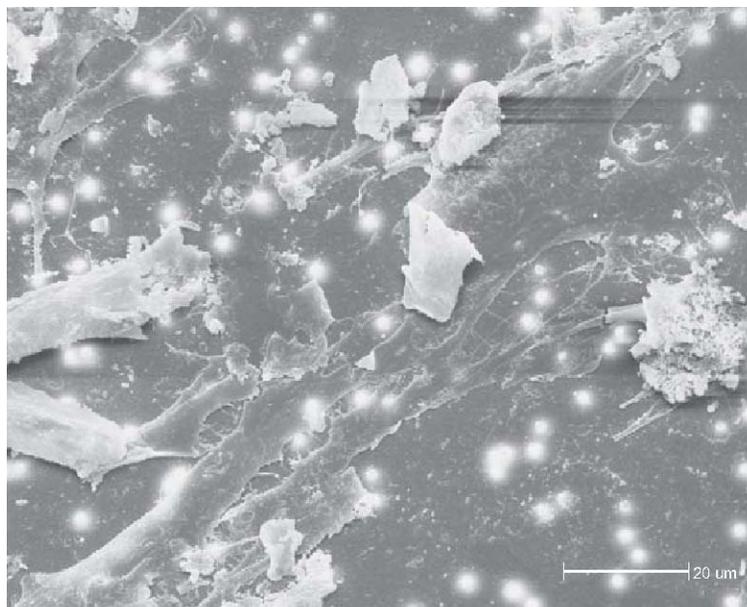


Abbildung 12.2) Ceravital-7d-1000x  
Einzelne gespreitete Zellen ersichtlich

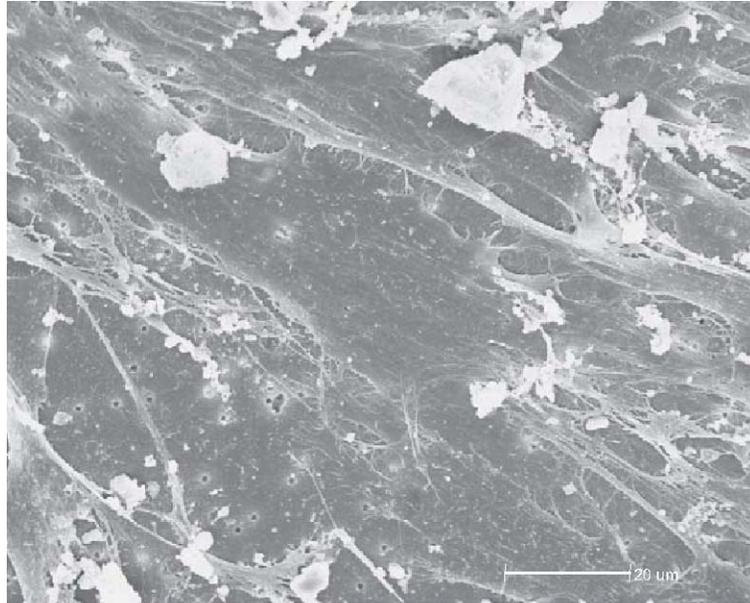


Abbildung 12.3) Ceravital-14d-1000x  
Übergang der Zellformation in Verbindung stehender  
Zellen zum Zellrasen

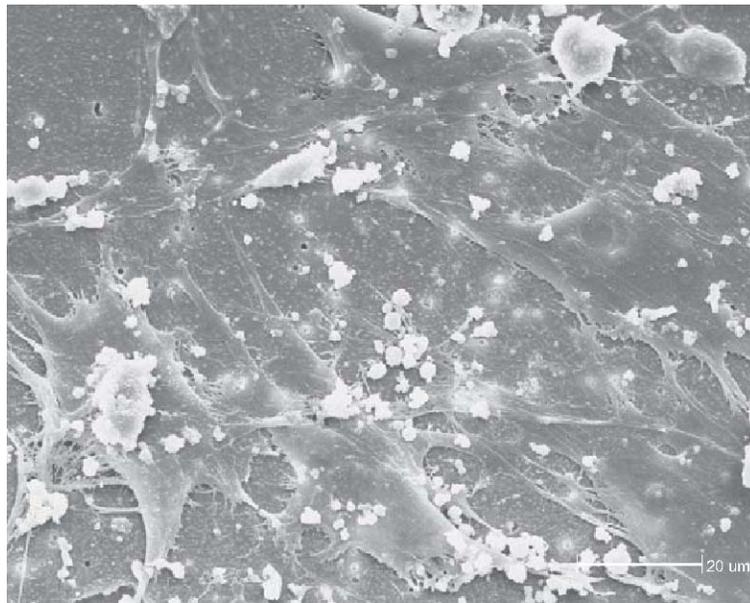


Abbildung 12.4) Ceravital-21d-1000x  
Bildung einer Zellformation in Verbindung stehender  
Zellen

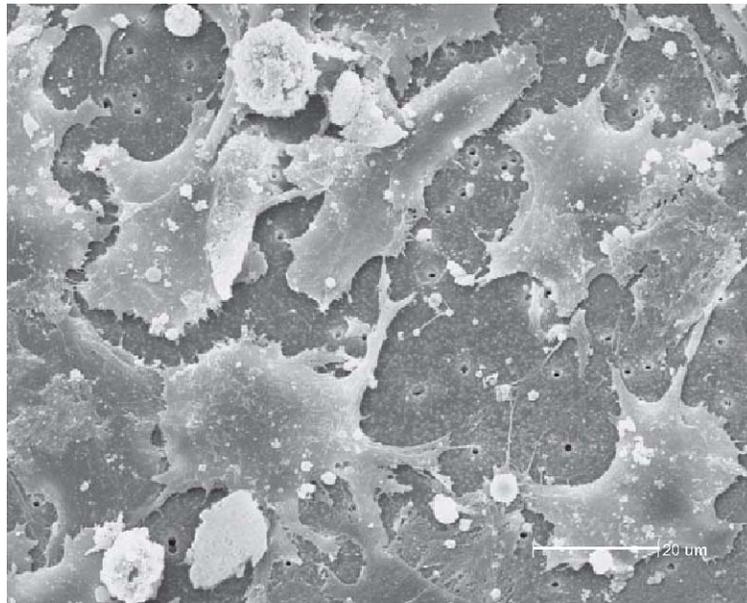


Abbildung 12.5) Ceravital-28d-1000x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen aus  
gespreiteten Zellen

Am 7. Tag sind einzelne Osteoblasten ersichtlich, während sich nach 2 Wochen eine Zellformation in Verbindung stehender Zellen zum Zellrasen ausbildet. Am 21. und 28. Tag sind wiederum einzelne Zellformationen in Verbindung stehender Zellen zu erkennen.

### 3.2.3 REM-Beurteilung des Wachstumsverhaltens von Rattenosteoblasten auf Biogläsern

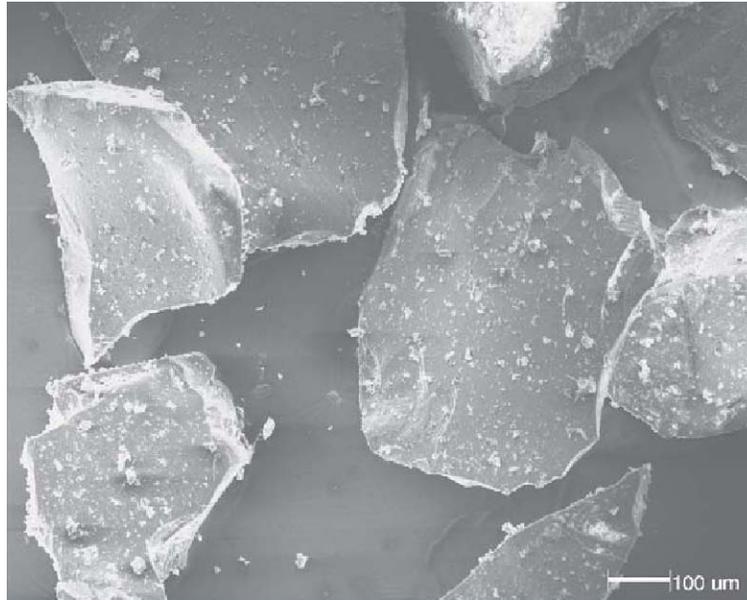


Abbildung 13.1) BG 45s5-Leerprobe-100x

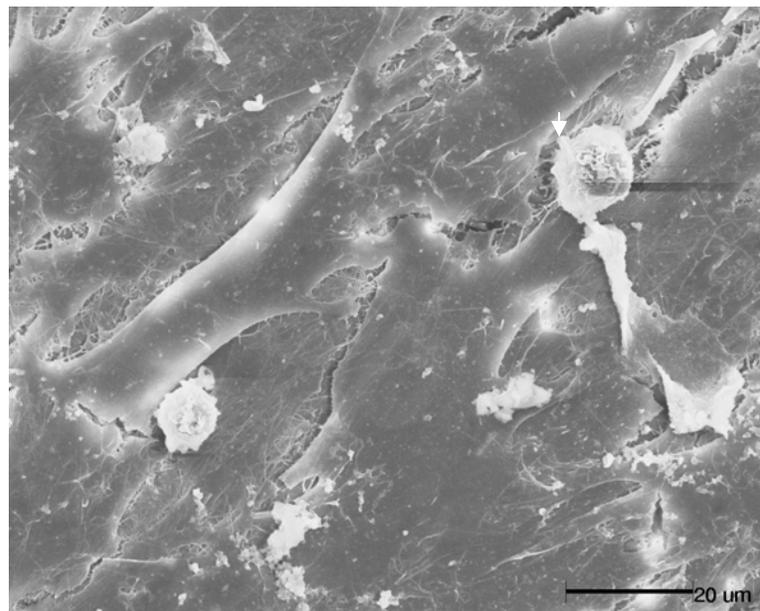


Abbildung 13.2) BG 45s5-1d-100x  
Erkennbarer Zellrasen, in den sich weitere Zellen (Pfeil) integrieren

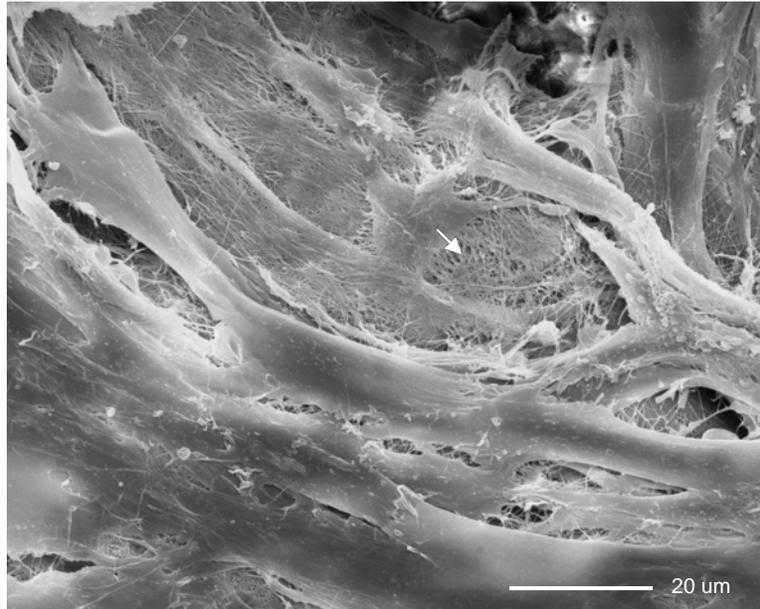


Abbildung 13.3) BG 45s5-3d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit gespreiteten Zellen  
und fibrillärer Matrixbildung (Pfeil)



Abbildung 13.4) BG45s5-7d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen



Abbildung 13.5) BG 45s5-14d-1000x  
Zunahme der Zellrasenschicht

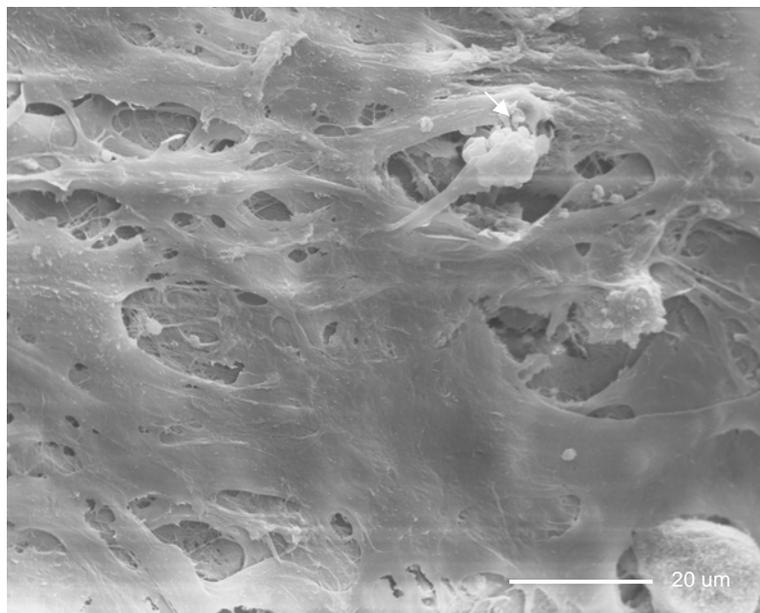


Abbildung 13.6) BG 45s5-21d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit globulären Strukturen (Pfeil), die auf  
Matrixmineralisation hinweisen

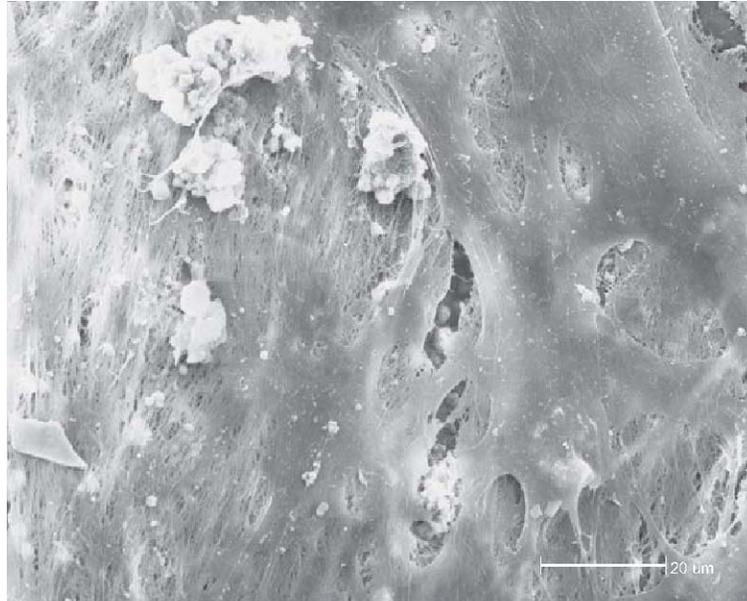


Abbildung 13.7) BG45s5-28-1000x  
Zunahme der Überlagerungsschicht mit gespreiteten  
Zellen

Bereits am 1. Tag beobachtet man einen Zellrasen. Nach dem 3. Tag überlagern sich die Zellschichten und die Mehrschichtigkeit des Zellrasens ist an den 7., 14., 21. und 28. Versuchstagen feststellbar.



Abbildung 14.1) BG 52s-Leerprobe-100x

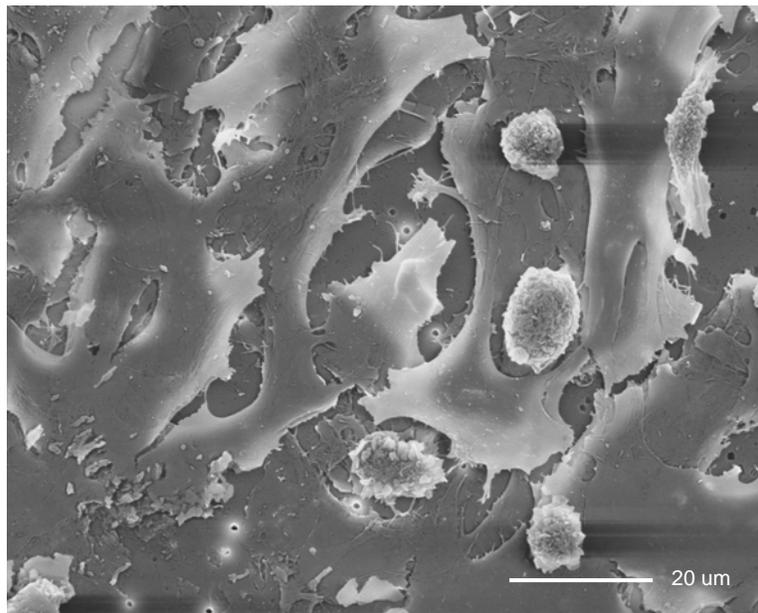


Abbildung 14.2) BG 52s-1d-1000x  
Ansammlung von gespreiteten Zellen

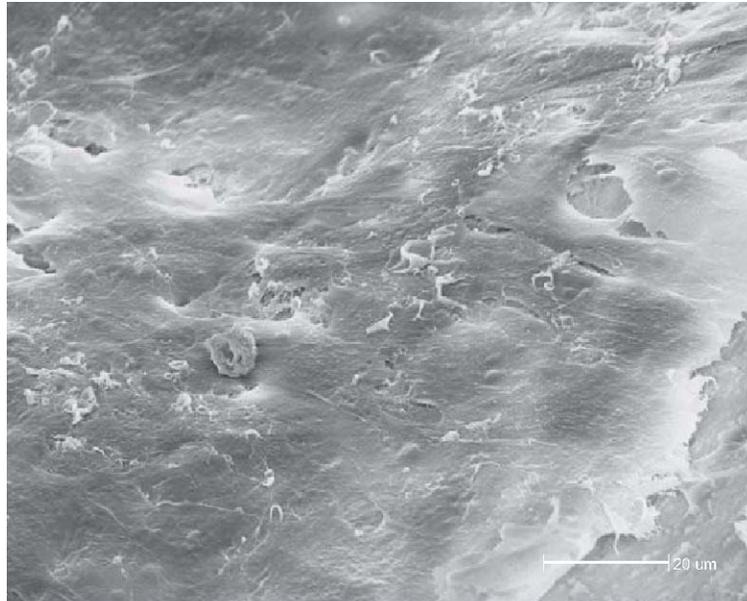


Abbildung 14.3) BG 52s-3d-1000x  
Dichter mehrschichtiger Zellrasen

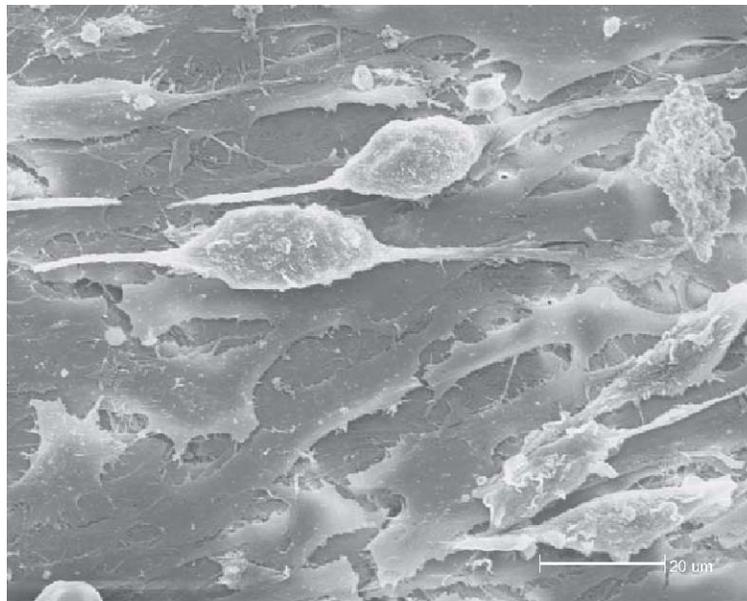


Abbildung 14.4) BG 52s-7d-1000x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen

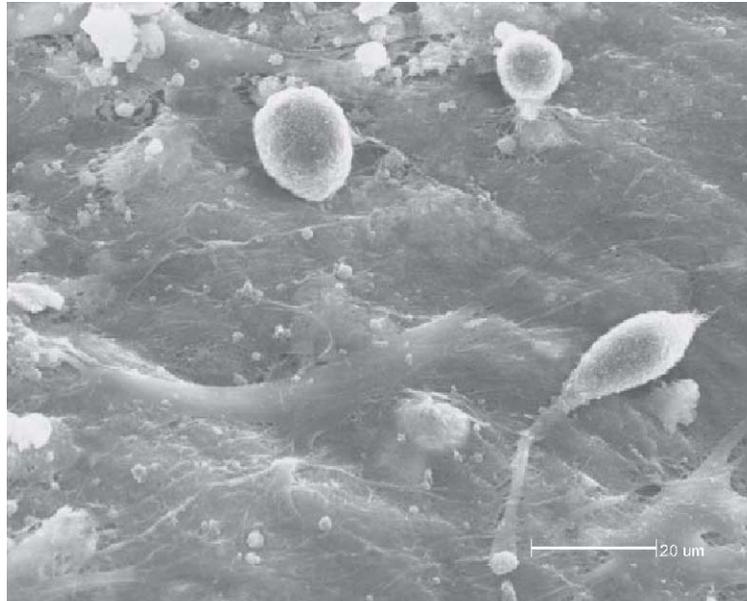


Abbildung 14.5) BG 52s-14d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit gespreiteten Zellen

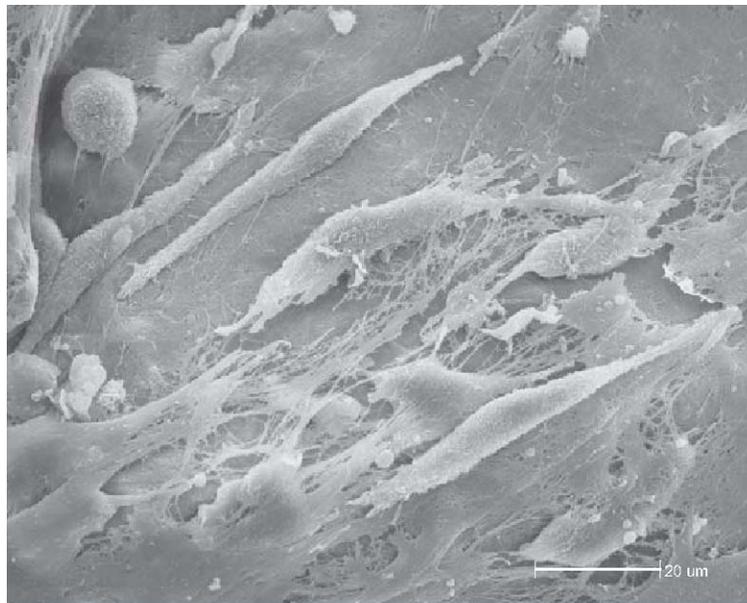


Abbildung 14.6) BG 52s-21d-1000x  
Dichter mehrschichtiger Zellrasen

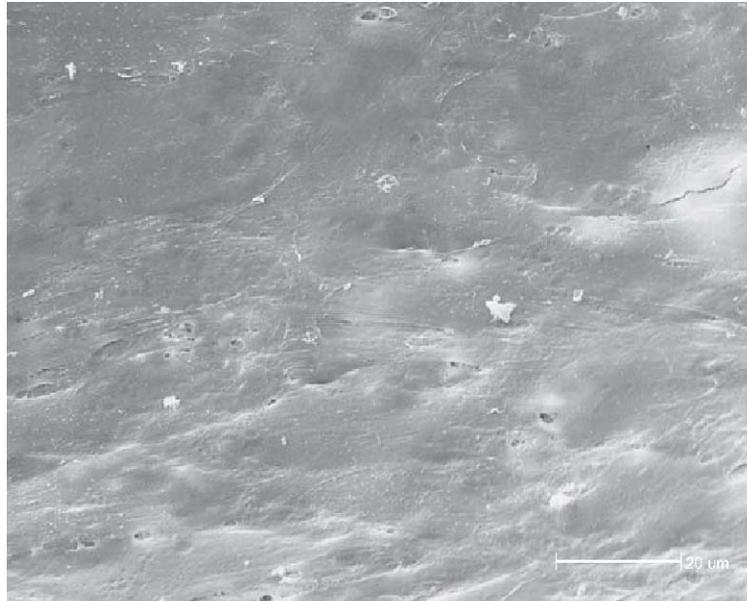


Abbildung 14.7) BG 52s-28d-1000x  
Dichter mehrschichtiger Zellrasen

Am ersten Tag der Untersuchung ist eine Zellformation feststellbar, die sich nach dem 3. Tag zum mehrschichtigen Zellrasen entwickelt. Nach einer Woche erkennt man wiederum eine Zellformation in Verbindung stehender Zellen, die sich nach 14 Tagen zum mehrschichtigen Zellrasen zusammen finden. Am 21. und 28. Tag beobachtet man weitere Zunahmen der Schichten eines Zellrasens.

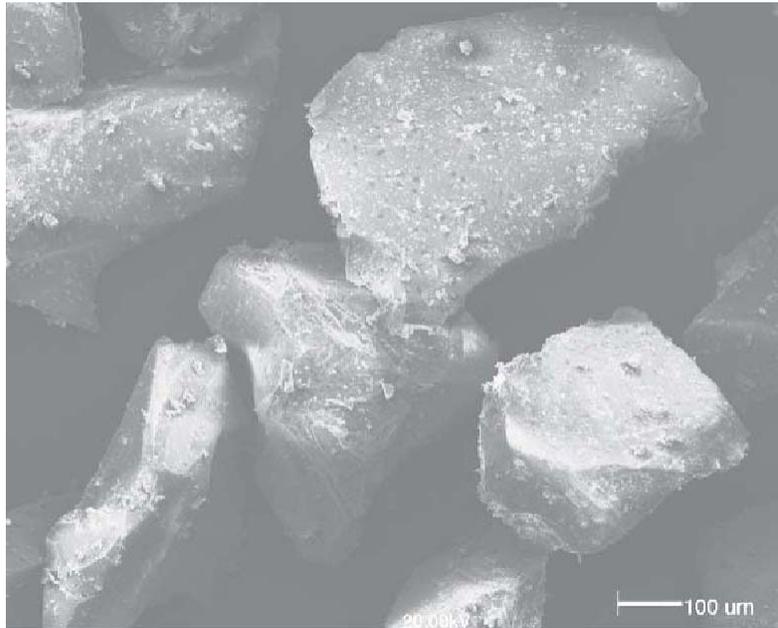


Abbildung 15.1) BG 55s-Leerprobe-100x

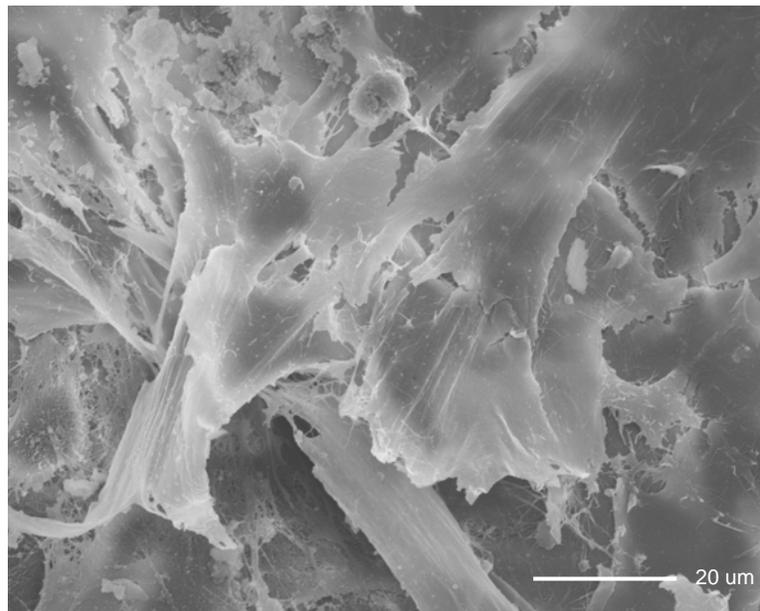


Abbildung 15.2) BG 55s-1d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen mit gespreiteten Zellen

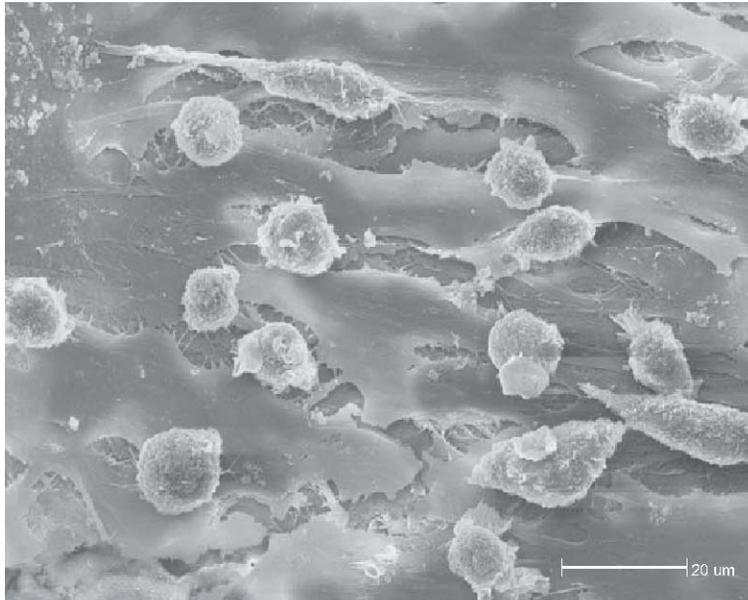


Abbildung 15.3) BG 55s-3d-1000x  
Zellformation in Verbindung stehender Zellen

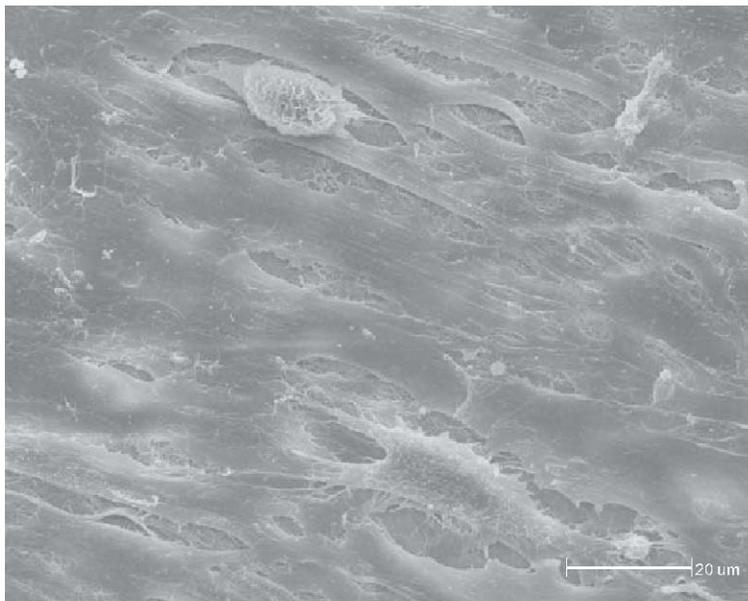


Abbildung 15.4) BG 55s-7d-1000x  
Dichter Zellrasen

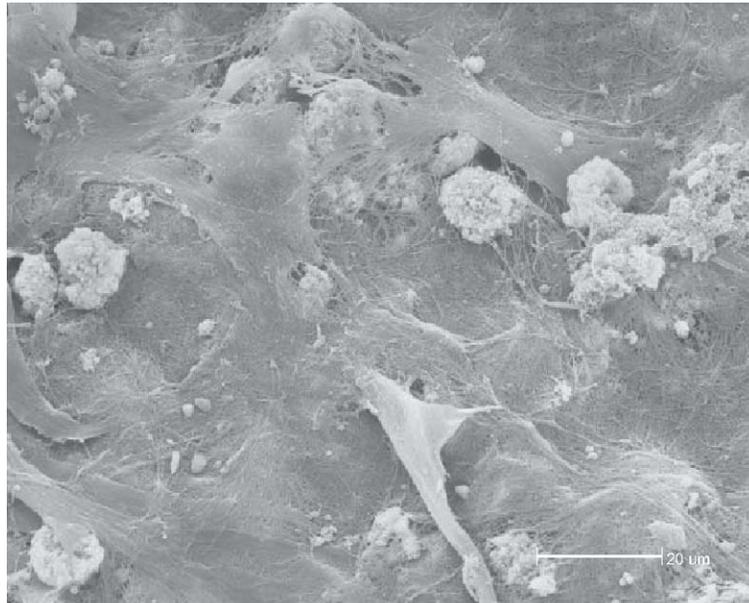


Abbildung 15.5) BG 55s-14d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen

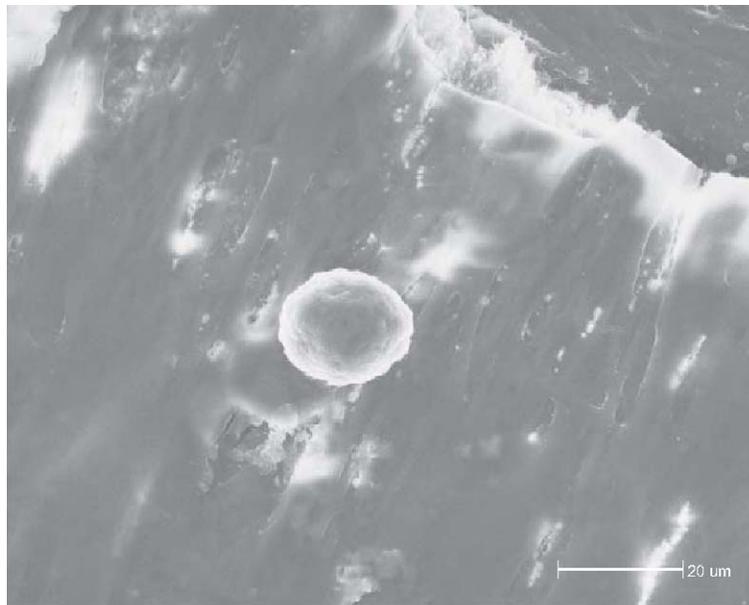


Abbildung 15.6) BG 55s-21d-1000x  
Dichter mehrschichtiger Zellrasen

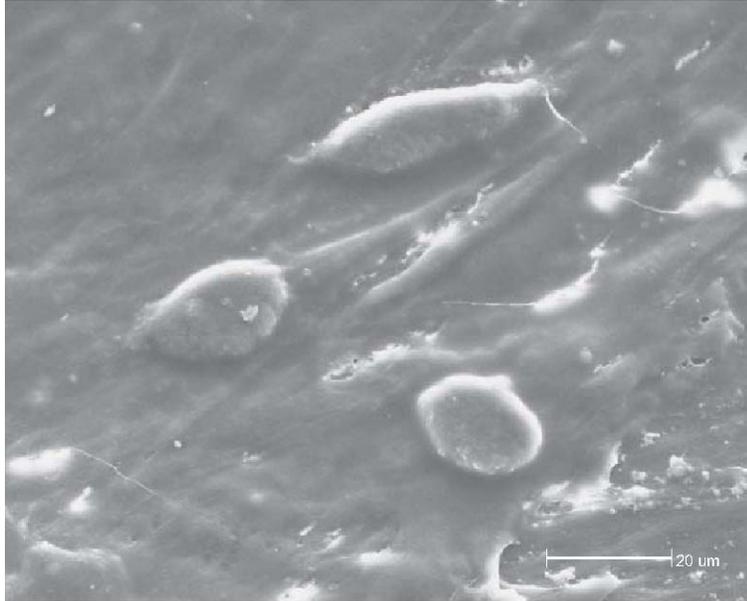


Abbildung 15.7) BG 55s-28d-1000x  
Dichter mehrschichtiger Zellrasen

Am ersten Tag der Untersuchung des Bioglasses 55s beobachtet man die Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens. Am 3. Tag bilden die Zellen eine Zellformation in Verbindung stehender Zellen, die sich am 7. Tag zum Zellrasen verdichten und am 14., 21. und 28. Tag eine Mehrschichtigkeit aufweisen.



Abbildung 16.1) BG 60s-1d-1000x  
Zellrasen

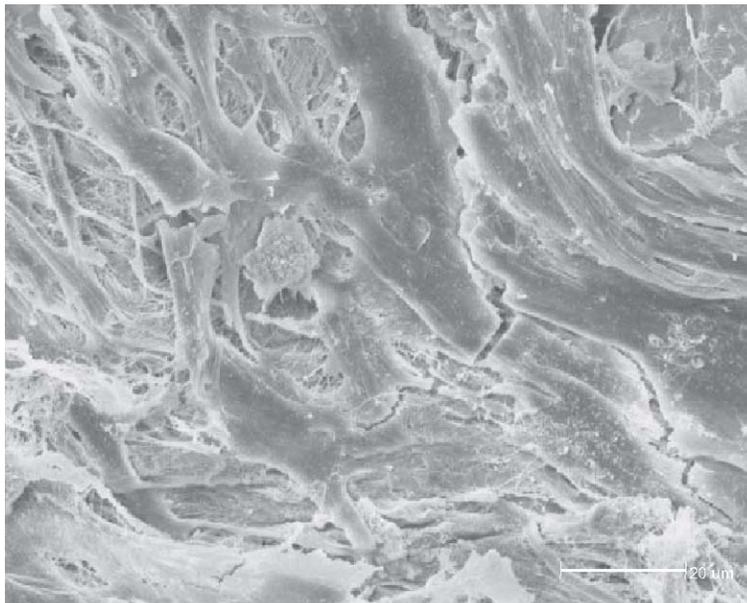


Abbildung 16.2) BG 60s-3d-1000x  
Dichter Zellrasen erkennbar

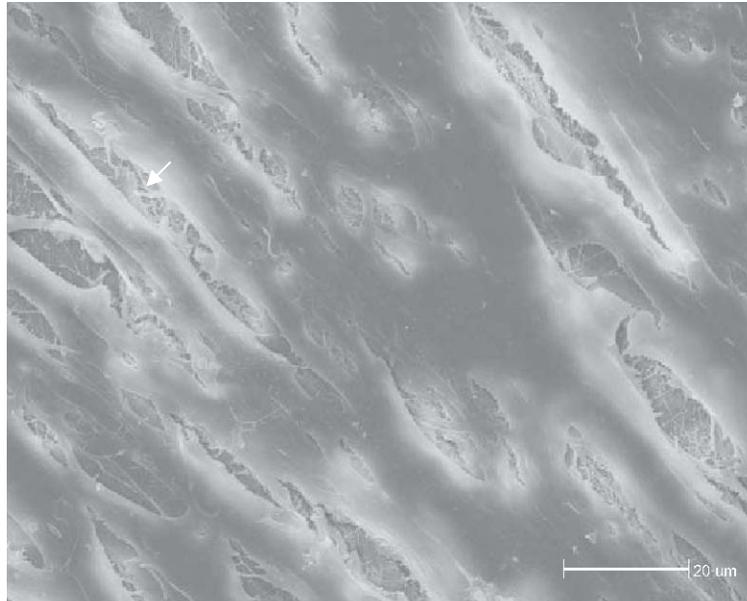


Abbildung 16.3) BG 60s-7d-1000x  
Zellrasen mit sichtbarer Unterlage (Pfeil)

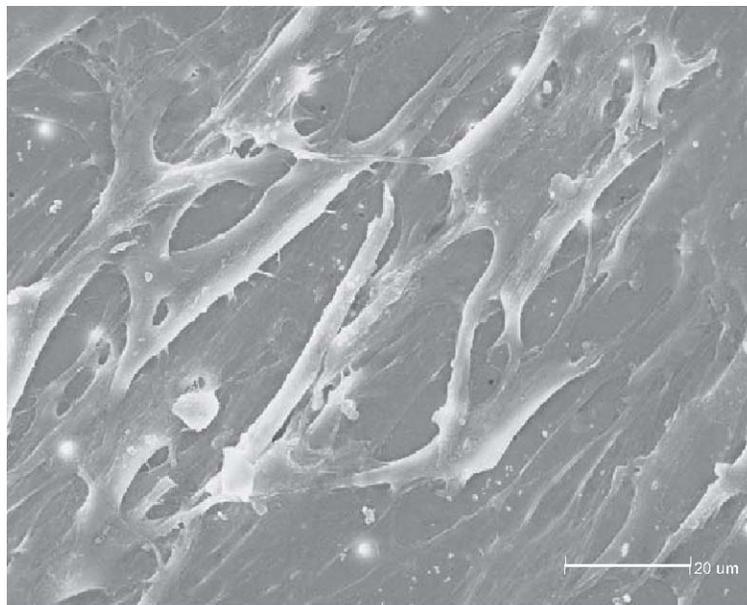


Abbildung 16.4) BG 60s-14d-1000x  
Zellrasen mit gespreiteten Zellen

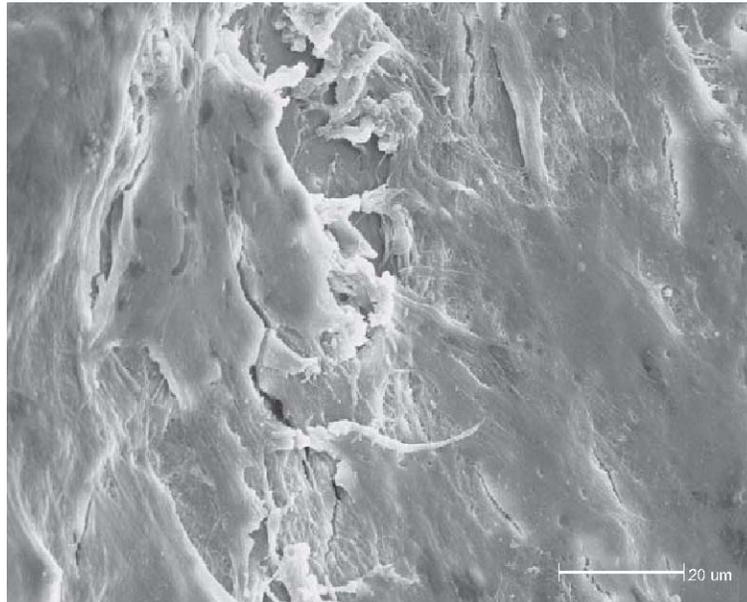


Abbildung 16.5) BG 60s-21d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen

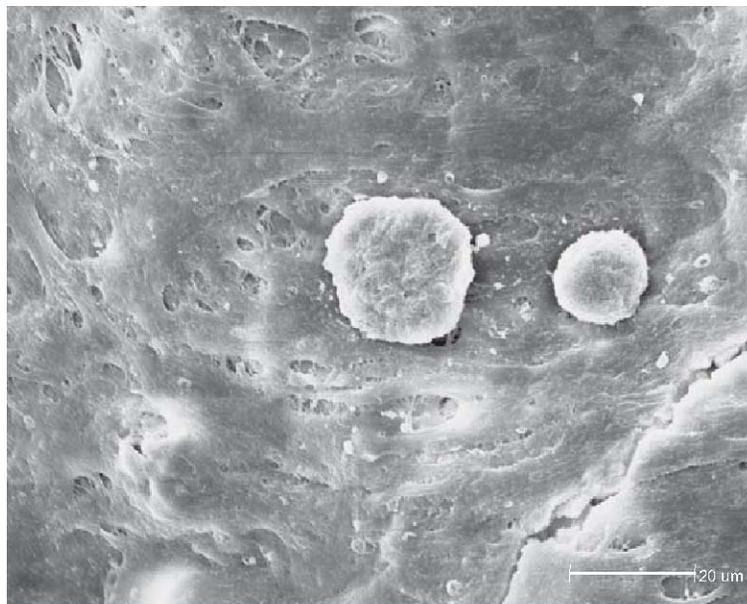


Abbildung 16.6) BG 60s-28d-1000x  
Mehrschichtiger Zellrasen

Bereits am ersten Tag der Untersuchung ist ein Zellrasen erkennbar. Dieses Gebilde ist bis zum 14. Tag weiterhin zu beobachten. Am 21. und 28. Untersuchungstag weist der Zellrasen eine Mehrschichtigkeit auf.

### 3.3 Bestimmung der Ionenkonzentrationen von Zellkulturmedium

#### 3.3.1 Calciumkonzentration in den Substraten

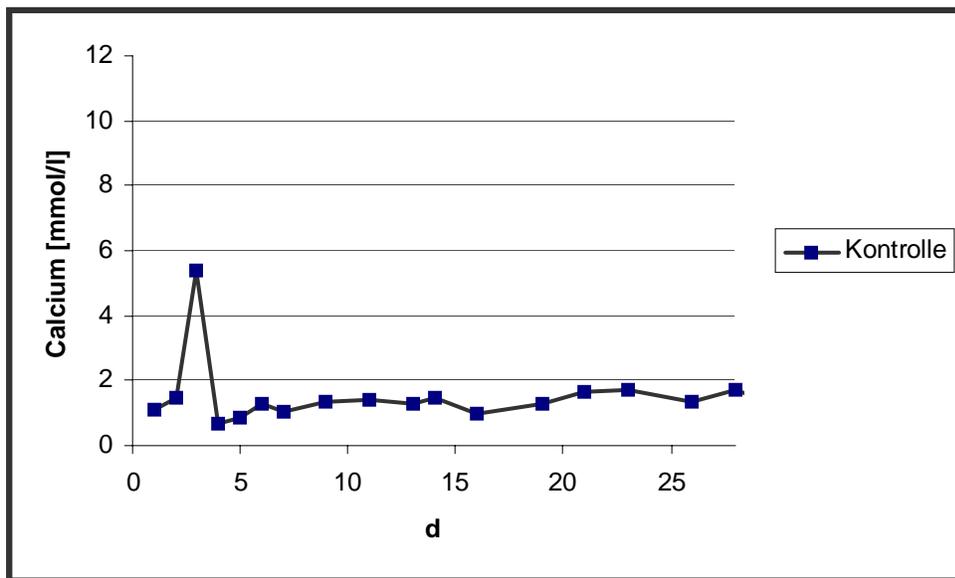


Abbildung 1.1) Die Calciumkonzentration erreichte am 3. Tag mit 5,37 mmol/l die höchste und am 4. Tag mit 0,68 mmol/l die niedrigste Calciumkonzentration.

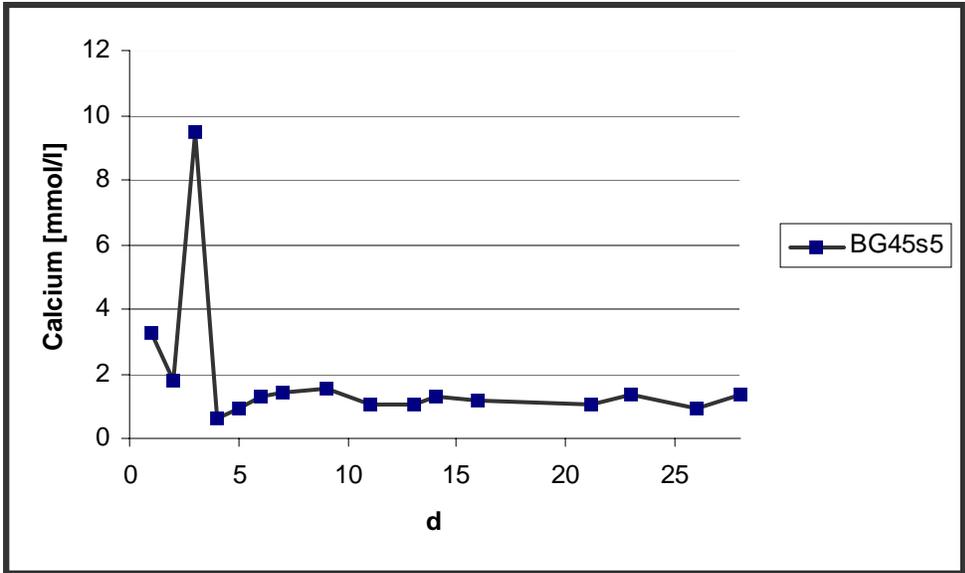


Abbildung 1.2) Die Calciumkonzentration erreichte am 3. Tag mit 9,49 mmol/l die höchste und am 4. Tag mit 0,59 mmol/l die niedrigste Calciumkonzentration.

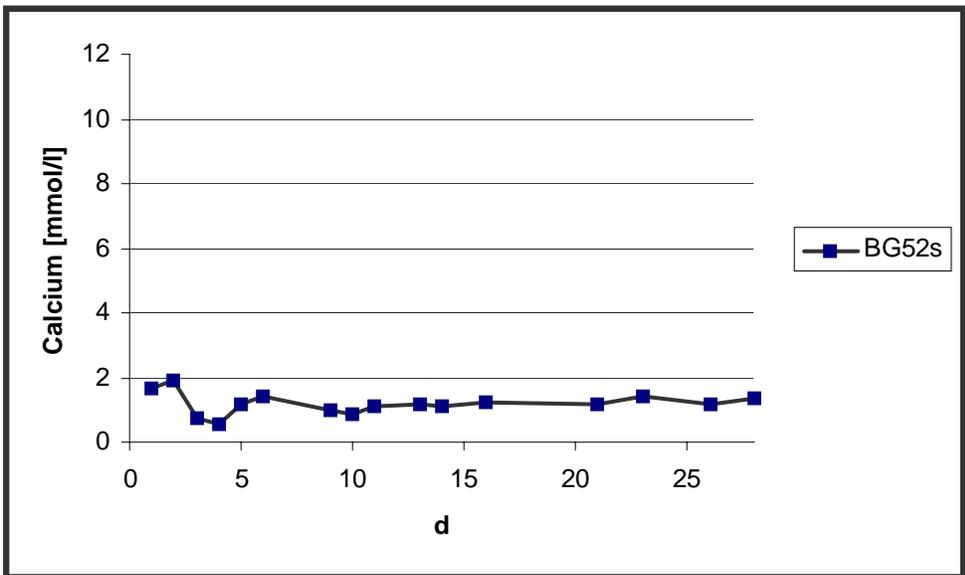


Abbildung 1.3) Am 2. Tag beträgt die Calciumkonzentration mit 1,89 mmol/l die höchste und am 4. Tag mit 0,54 mmol/l die niedrigste Calciumkonzentration.

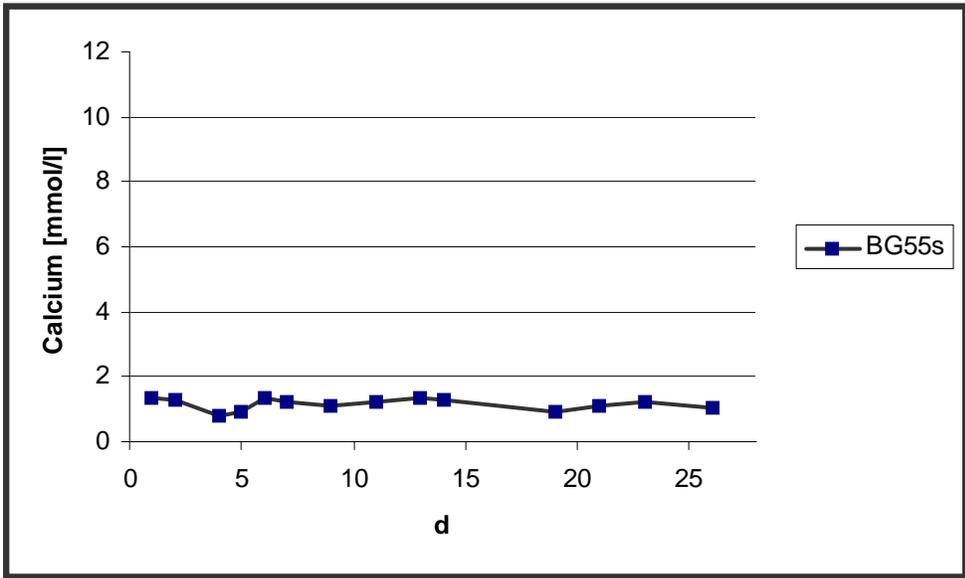


Abbildung 1.4) Am 1. und 13. Tag beträgt die höchste Calciumkonzentration 1,37 mmol/l und am 4. Tag die niedrigste Calciumkonzentration von 0,77 mmol/l.

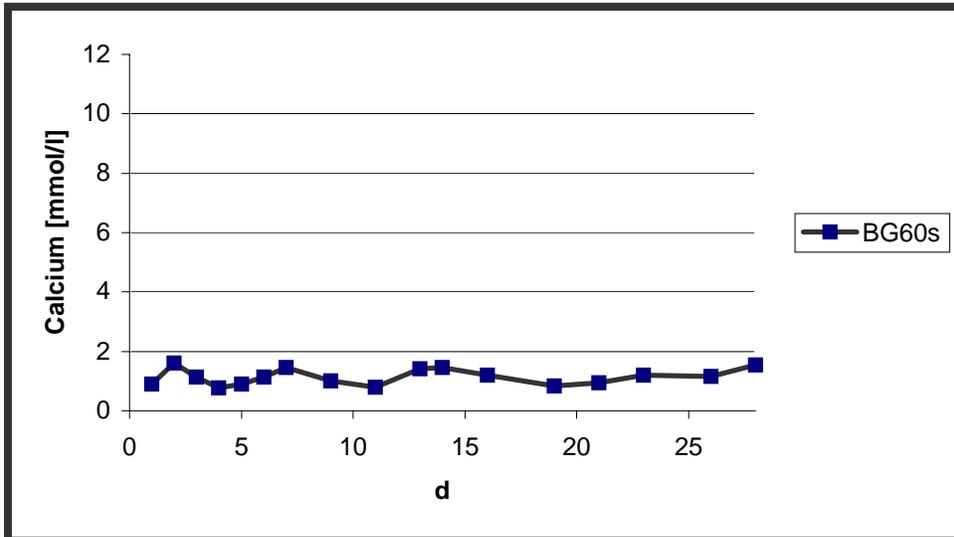


Abbildung 1.5) Am 4. Tag beträgt die Calciumkonzentration 0,78 mmol/l und die höchste Calciumkonzentration ist am 28. Tag mit 1,55 mmol/l feststellbar.

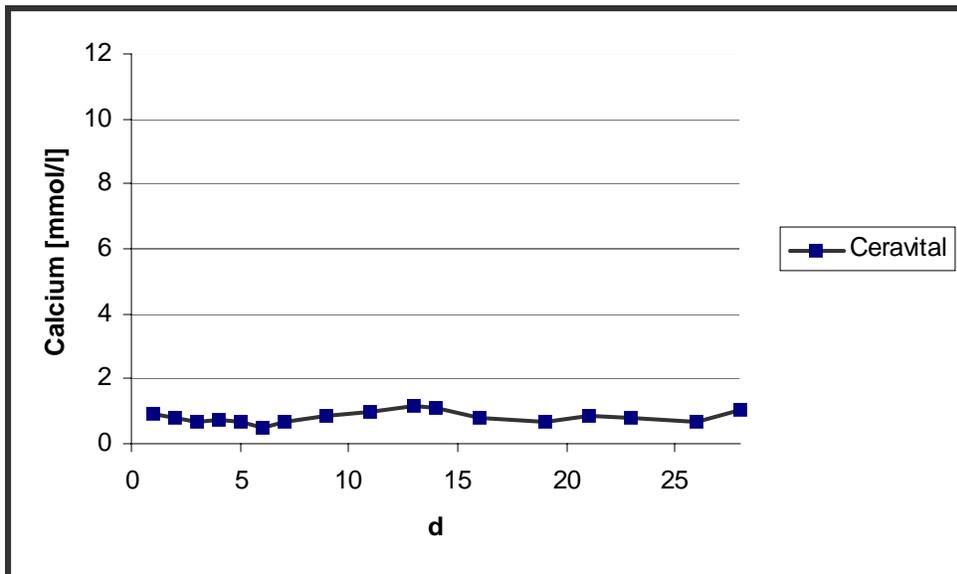


Abbildung 1.6) Am 6. Tag beträgt die Calciumkonzentration den niedrigsten Wert 0,49 mmol/l und am 13. Tag den höchsten Wert 1,15 mmol/l.

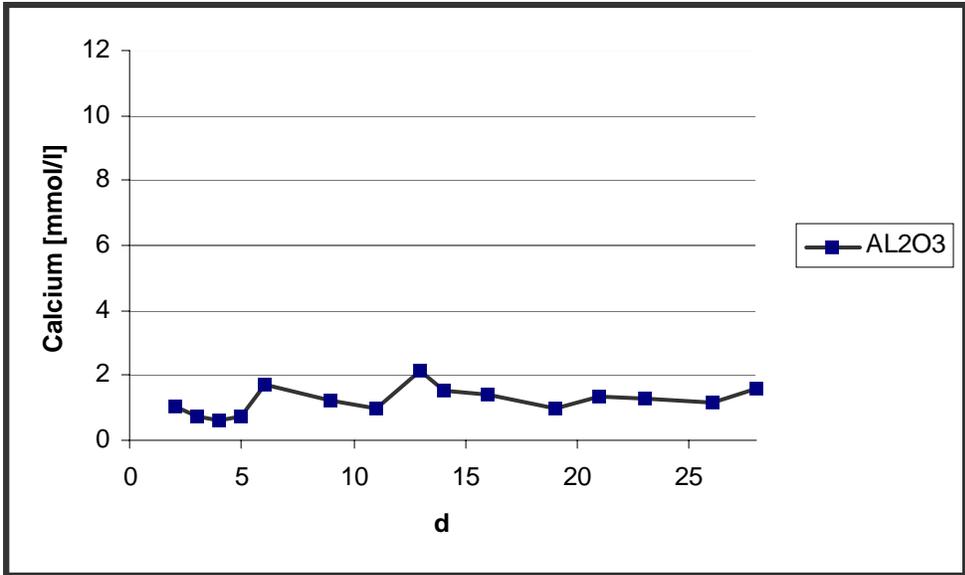


Abbildung 1.7) Am 4. Tag beträgt die niedrigste Calciumkonzentration 0,61 mmol/l und am 13. Tag ist die höchste Calciumkonzentration 2,16 mmol/l.

### 3.3.2 Phosphatkonzentration in den Substraten

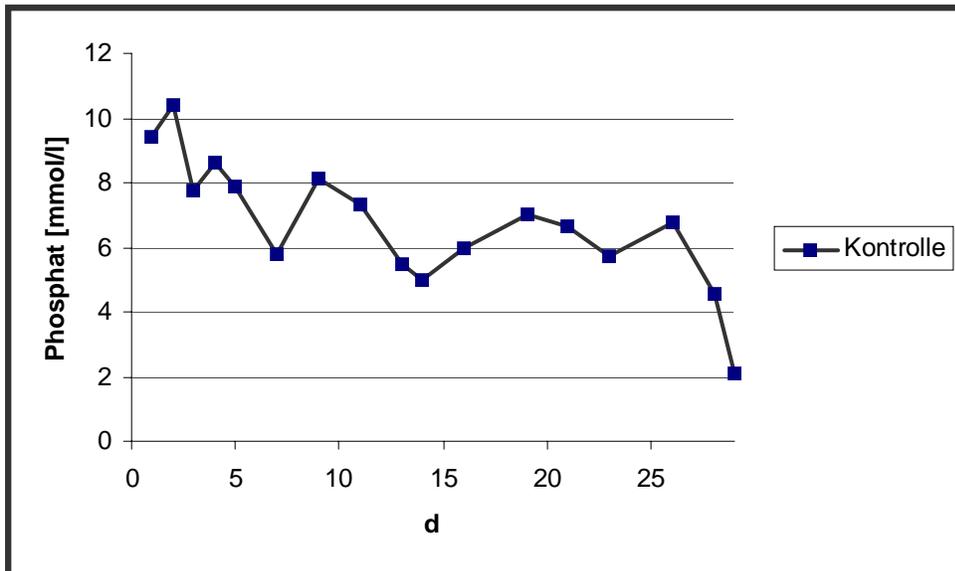


Abbildung 2.1) Am 2. Tag beträgt die Phosphathöchstkonzentration 10,4 mmol/l. Am 28. Tag ist eine Konzentration von 2,08 mmol/l zu vermessen.

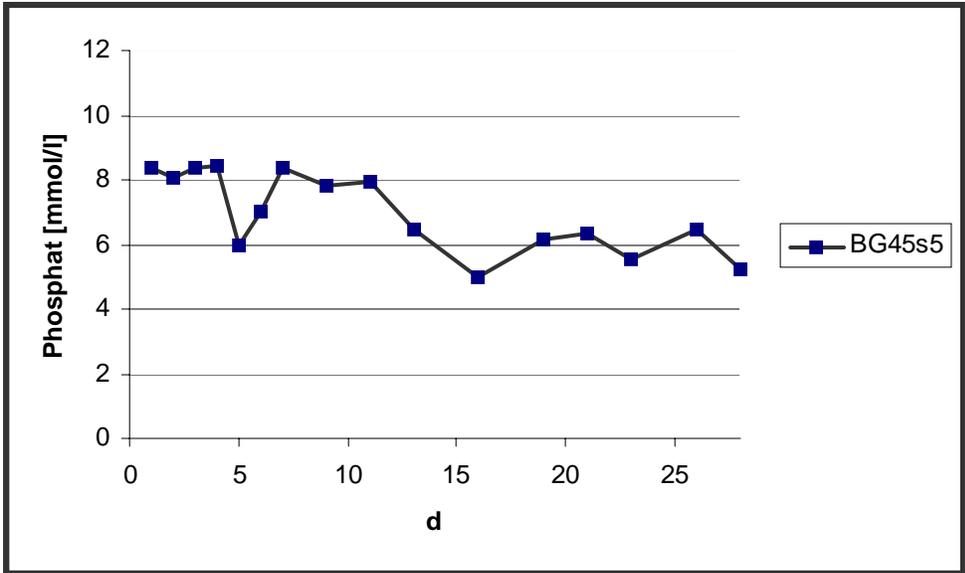


Abbildung 2.2) Am 4. Tag beträgt die Phosphatkonzentration hohe 8,46 mmol/l und am 28. Tag den niedrigsten Wert von 5,25 mmol/l.

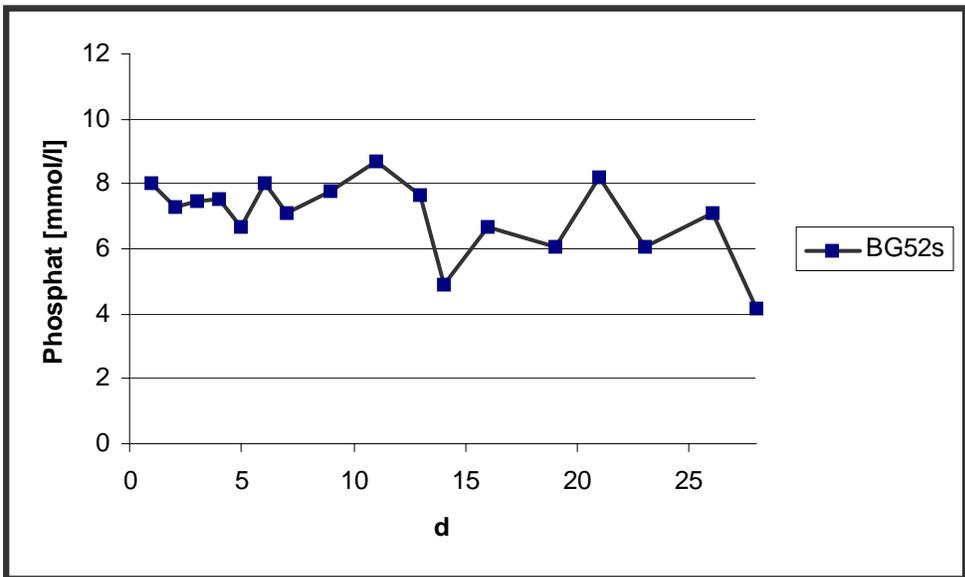


Abbildung 2.3) Am 11. Tag beträgt die Phosphathöchstkonzentration 8,69 mmol/l und am 28. Tag wird die niedrige Konzentration von 4,19 mmol/l gemessen.

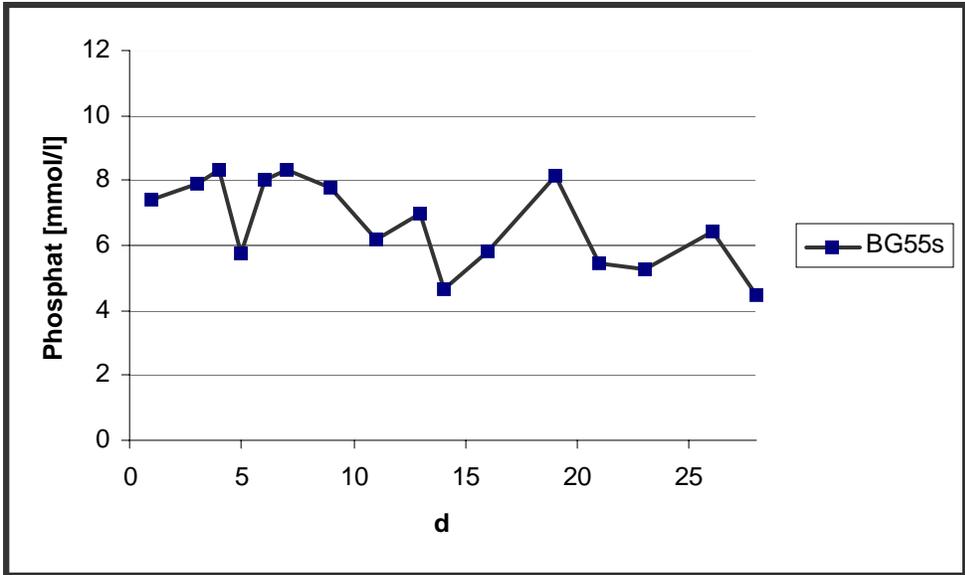


Abbildung 2.4) Am 4. Tag beträgt die Phosphatkonzentration 8,34 mmol/l und am 28. Tag den niedrigsten Wert von 4,44 mmol/l.

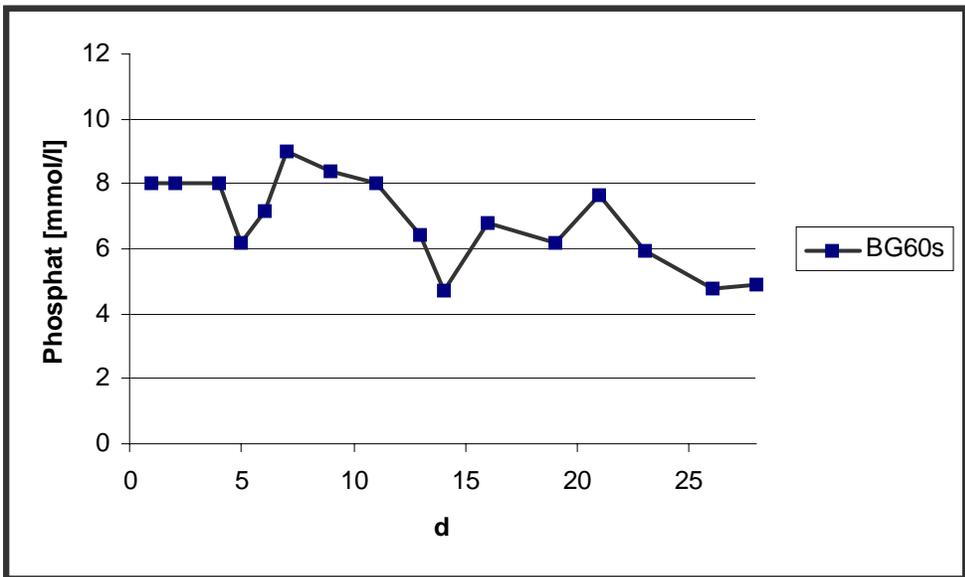


Abbildung 2.5) Nach einer Woche erreicht die Phosphatkonzentration die höchste 8,99 mmol/l und am 14. Tag die niedrige Konzentration von 4,70 mmol/l.

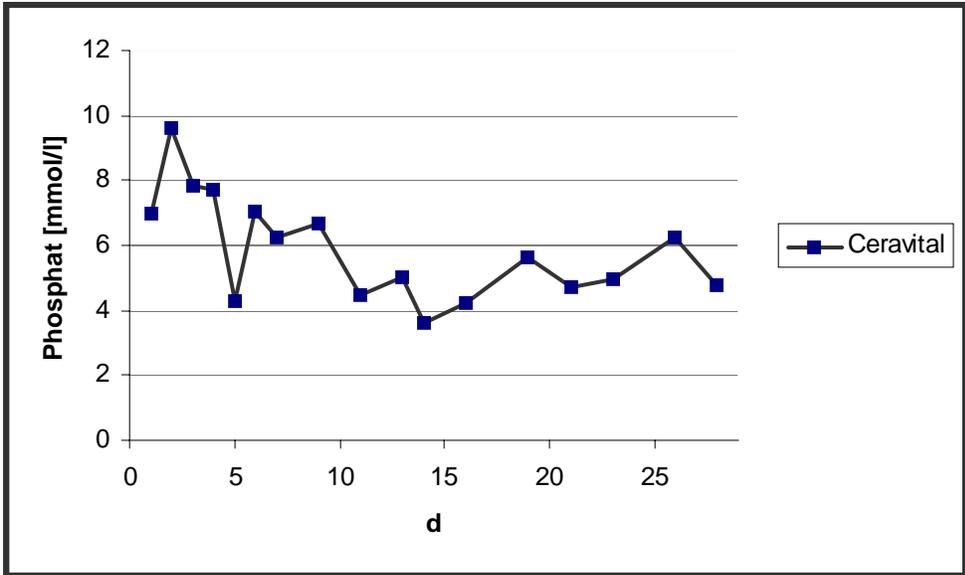


Abbildung 2.6) Am 2. Tag erreichte die Phosphatkonzentration die höchste 9,59 mmol/l und am 14. Tag den niedrigen Wert von 3,60 mmol/l.

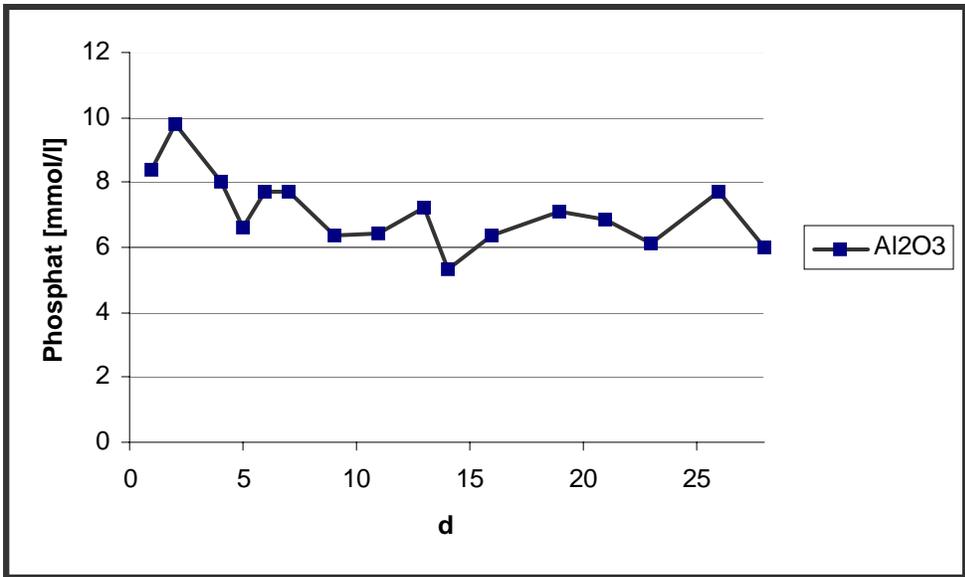


Abbildung 2.7) Am 2. Tag beträgt die Phosphatkonzentration hohe 9,81 mmol/l und am 14. Tag den niedrigen Wert von 5,34 mmol/l.

### 3.4 Elementenergebnisse verschiedener Substrate anhand der EDX-Analyse

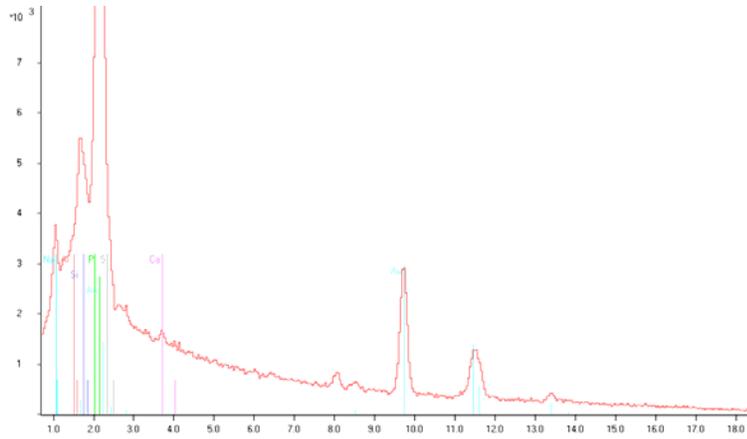


Abbildung 1.1) Kontrolle 21d

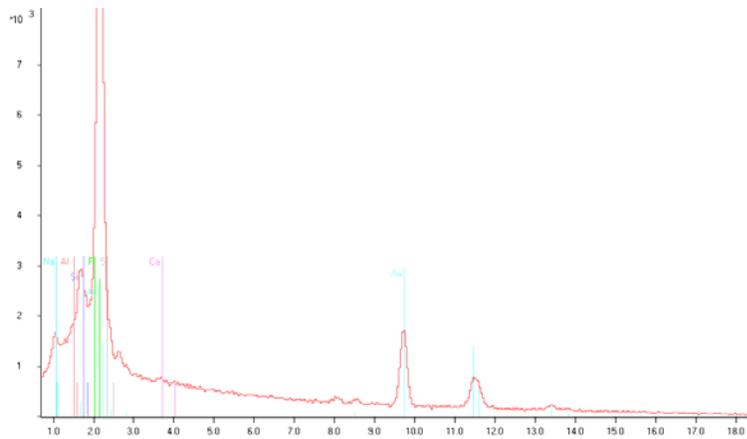


Abbildung 1.2) Kontrolle 28d

%	Ca	P	Si
21d	0,53	2,75	1,61
28d	0,50	2,88	1,80

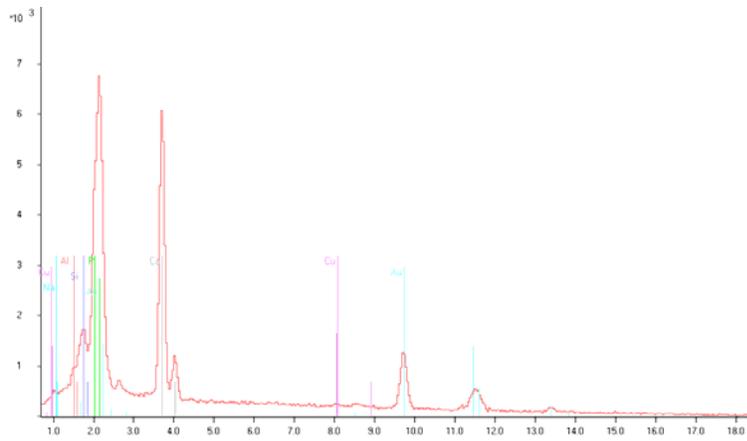


Abbildung 2.1) BG 45s5-21d

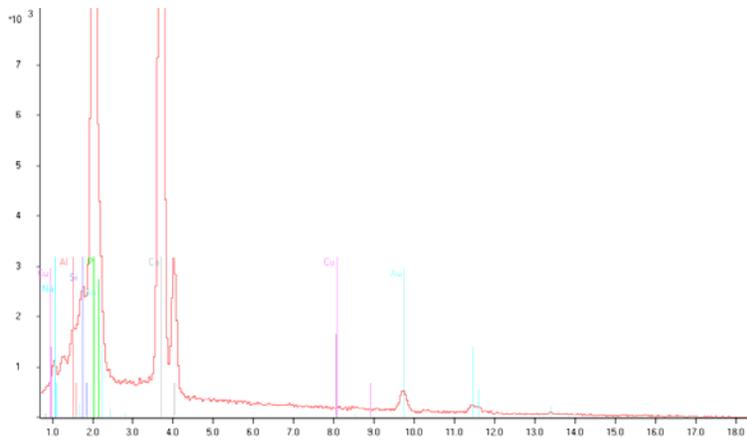


Abbildung 2.2) BG 45s5-28d

%	Ca	P	Si
21d	16,32	5,61	1,83
28d	28,68	13,64	1,81

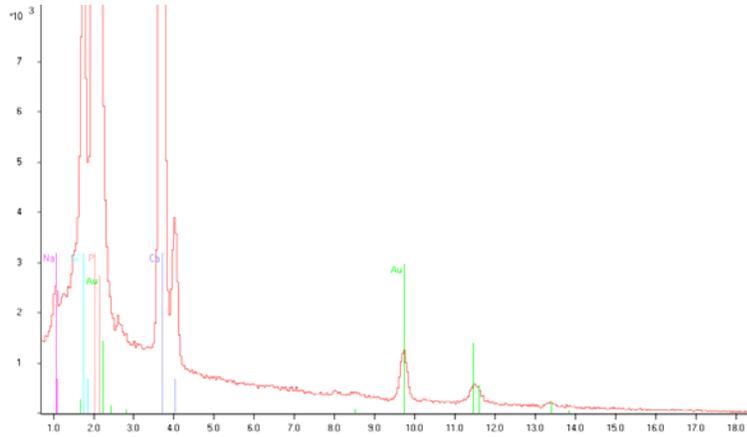


Abbildung 3.1) BG 52s-21d

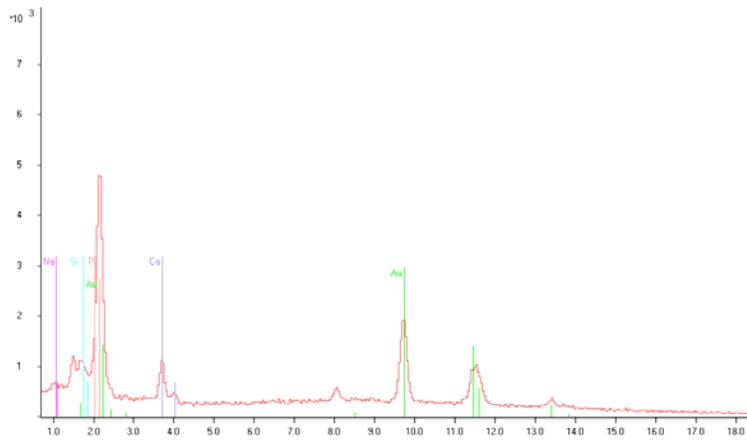


Abbildung 3.2) BG 52s-28d

%	Ca	P	Si
21d	43,49	23,38	9,44
28d	10,14	4,57	2,84

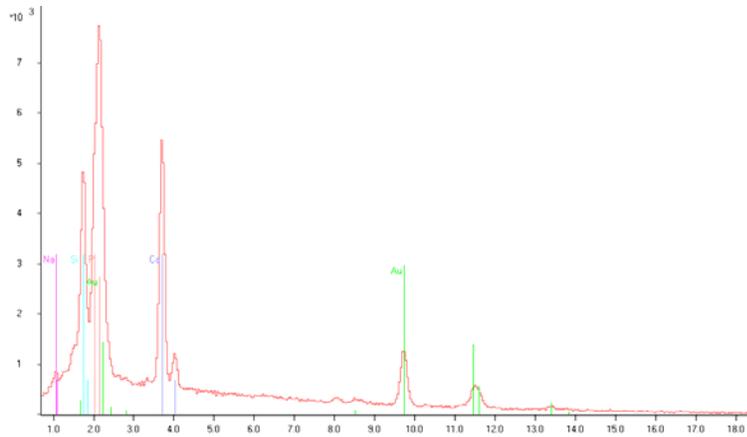


Abbildung 4.1) BG 55s-21d

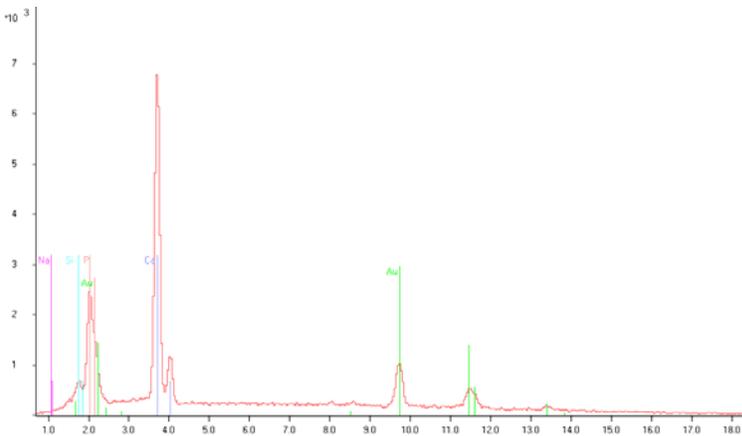


Abbildung 4.2) BG 55s-28d

%	Ca	P	Si
21d	22,62	11,62	10,55
28d	28,11	7,12	2,61

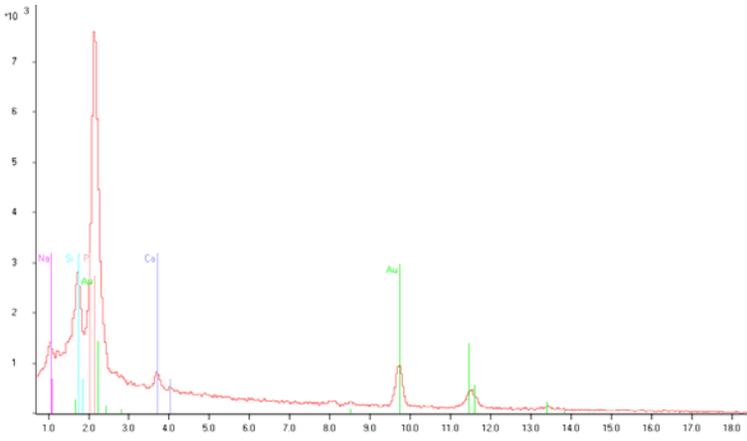


Abbildung 5.1) BG 60s-28d

%	Ca	P	Si
28d	3,65	8,38	9,34

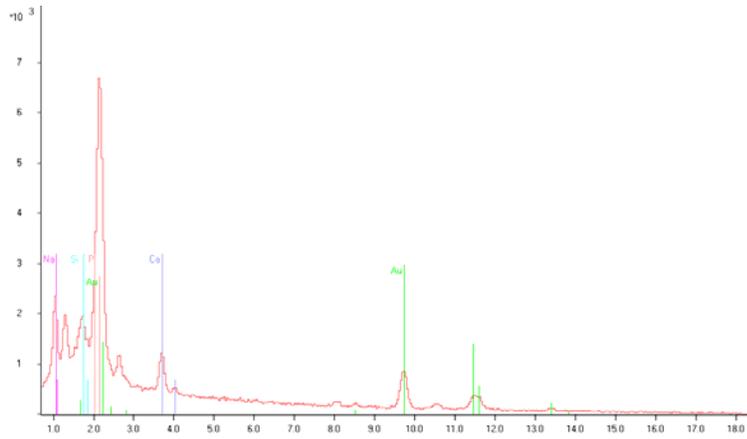


Abbildung 6.1) Ceravital-21d

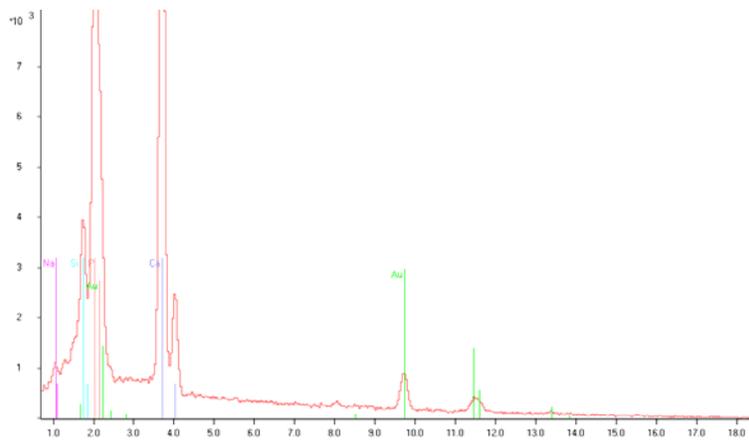


Abbildung 6.2) Ceravital-28d

%	Ca	P	Si
21d	7,87	8,82	5,56
28d	44,25	19,80	5,84

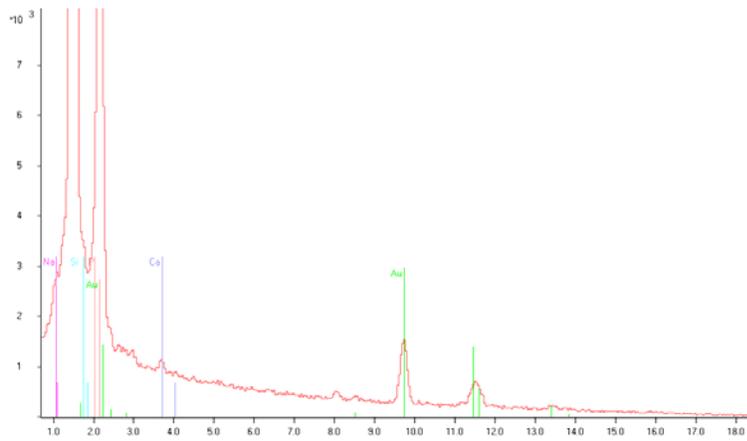


Abbildung 7.1) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-21d

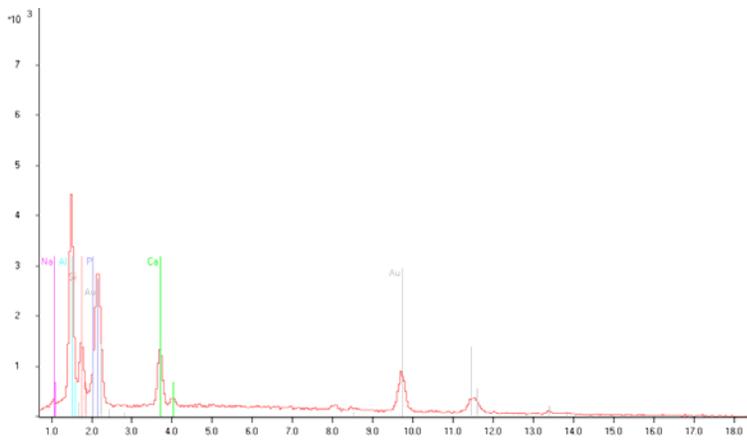


Abbildung 7.2) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-28d

%	Ca	P	Si
21d	12,94	7,47	20,42
28d	10,29	3,96	10,29

Im Vergleich zum Kontrollsubstrat ist eine Erhöhung der Oberflächenkonzentration von Calcium (Ca), Phosphat (P) und Silizium (Si) in allen untersuchten Substraten feststellbar. Die höchste Calciumkonzentration wurde auf der Oberfläche des Ceravital am 28. Untersuchungstag mit einem Wert von 44,25 % gemessen. Dagegen wurde die niedrigste Calciumkonzentration nach Polystyrol auf der Oberfläche des Bioglasses 60s mit einem Wert von 3,65 % ebenso am 28. Untersuchungstag festgestellt.

Die höchste Phosphatkonzentration wurde auf der Oberfläche des Bioglasses 52s mit einem Wert von 23,38 % am 21. Untersuchungstag und die niedrigste nach Polystyrol auf der Probenoberfläche des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mit 3,96 % am 28. Untersuchungstag gemessen.

Auf der Oberfläche des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  wurde am 21. Untersuchungstag die höchste Siliziumkonzentration von 20,42 % und nach Polystyrol die niedrigste Siliziumkonzentration auf der Probenoberfläche des Bioglasses 45s5 am 28. Untersuchungstag mit 1,81 % festgestellt.

### *Vergleich der REM-Bilder mit den Ionen- und EDX-Werten*

Am ersten Untersuchungstag wurde eine deutlich hohe Phosphatkonzentration in den untersuchten Substratmedien gemessen. Zu diesem Zeitpunkt ist auf dem REM-Bild des Polystyrols bereits eine Zellkolonie bei sehr hohem Phosphatgehalt von 9,39 mmol/l und mäßiger Calciumkonzentration von 1,10 mmol/l im Medium erkennbar. Die Calciumkonzentrationskurven der untersuchten Biogläser 52s, 55s und 60s sowie Ceravital und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  verliefen unter dem Wert von 2 mmol/l und wichen von einer geraden Linie wenig ab. Die Phosphatkonzentrationskurven der untersuchten Substrate unterliegen großen Schwankungen im Vergleich zur annähernd konstanten Calciumkonzentration, außer der Calciumkonzentration des Bioglasses 45s5 und dem Polystyrol. Die Phosphatkonzentration der Kontrolluntersuchung deutet auf eine deutlich abnehmende Tendenz während eines Zeitverlaufs hin. Die Abnahme der Phosphatkonzentration ist ebenso aus den Konzentrationskurven der untersuchten Substrate ersichtlich.

Ein ähnliches Ergebnis ist in der Untersuchung des Bioglasses 52s am ersten Tag feststellbar. Hier ist ebenso eine Zellkolonie bei einem erhöhten Phosphatgehalt von 7,99 mmol/l und einer Calciumkonzentration von 1,68 mmol/l erkennbar.

Eine erhöhte Calciumkonzentration von 3,28 mmol/l und eine ebenso hohe Phosphatkonzentration von 8,35 mmol/l wurden am 1. Tag im Medium des Bioglasses 45s5 gemessen. An diesem Tag bildeten die Osteoblasten bereits einen Zellrasen.

Ein Zellrasen wurde bei der Untersuchung des Bioglasses 60s an diesem Tag bei einer niedrigen Calciumkonzentration von 0,91 mmol/l und einer darüber hinaus hohen Phosphatkonzentration von 8,04 mmol/l beobachtet.

Ein deutliches Zellwachstum zum mehrschichtigen Zellrasen wurde bereits am ersten Tag der Untersuchung von Bioglas 55s bei hoher Phosphatkonzentration von 7,43 mmol/l und ebenso erhöhter Calciumkonzentration von 1,37 mmol/l erkennbar.

Am 3. Untersuchungstag sind sehr hohe Calciumkonzentrationen in den Medien des Polystyrols und des Bioglasses 45s5 gemessen worden. Die Calciumkonzentration im Polystyrolmedium betrug 5,37 mmol/l und im Medium des Bioglasses 9,49 mmol/l. Die

zuletzt genannte Calciumkonzentration blieb als der Höchstwert unter den untersuchten Substraten.

Am 3. Tag betrug die Phosphatkonzentration im Polystyrolmedium einen hohen Wert von 7,74 mmol/l und im Medium des Bioglasses 45s5 noch höhere 8,39 mmol/l. An diesem Tag haben sich die Osteoblasten auf der Grundlage des Polystyrols zum Zellrasen und auf dem Bioglas 45s5 zum mehrschichtigen Zellrasen zusammengefunden.

Am 3. Untersuchungstag wurde im Gegensatz zu den genannten Werten eine niedrige Calciumkonzentration von 0,72 mmol/l im Medium des Bioglasses 52s, bei gleichzeitig erhöhter Phosphatkonzentration von 7,49 mmol/l, festgestellt. Zu diesem Zeitpunkt wurde ein mehrschichtiger Zellrasen auf dem REM-Bild dargestellt.

Nach einer Untersuchungswoche wurden abfallende Calcium- und Phosphatkonzentrationswerte von 1,04 mmol/l und 5,80 mmol/l im Polystyrolmedium bei der Bildung einer Zellkolonie beobachtet. Eine Abnahme der Calciumkonzentration wurde zu dieser Zeit auch im Medium des Bioglasses 45s5 mit 1,44 mmol/l bei einem erhöhten Phosphatwert von 8,97 mmol/l beobachtet. Der mehrschichtige Zellrasen entwickelte sich auf dem Substrat weiter. Ein dichter Zellrasen bildete sich zu dem Zeitpunkt auf der Grundlage des Bioglasses 55s, als eine niedrige Calciumkonzentration von 1,22 mmol/l bei erhöhtem Phosphatwert von 8,33 mmol/l im Medium vorlag. Das gleiche Bild herrschte bei ähnlich hohem Phosphatwert von 8,99 mmol/l und mäßig hohem Calciumwert von 1,45 mmol/l im Medium des Bioglasses 60s vor.

Nach einer zweiwöchigen Untersuchung ist eine niedrige Phosphatkonzentration bei einer mäßig bis hohen Calciumkonzentration in den Medien der untersuchten Substrate festgestellt worden. In der Kontrolluntersuchung wurde eine Abnahme der Phosphatkonzentration auf 4,98 mmol/l bei einer Zellrasenbildung beobachtet.

In dieser Zeit war auf der Basis von Bioglas 45s5 darüber hinaus ein mehrschichtiger Zellrasen zu beobachten, während die Calciumkonzentration mäßige 1,05 mmol/l betrug.

Eine Phosphatkonzentrationsabnahme von 4,87 mmol/l war ebenso im Medium des Bioglasses 52s in dieser Zeit messbar, während die Calciumkonzentration einem mittleren

Wert von 1,08 mmol/l aufwies. Die Zellen bildeten sich hier ebenfalls zum mehrschichtigen Zellrasen aus.

Ein ähnliches Zellwachstum war bei der Untersuchung des Bioglasses 55s zur gleichen Zeit festzustellen, wobei die Calciumkonzentration einen erhöhten Wert von 1,30 mmol/l und Phosphatkonzentration niedrige 4,68 mmol/l betrug.

Das Zellwachstum auf der Basis des Bioglasses 60s zeugte zu der Zeit lediglich von der Bildung eines Zellrasens bei niedriger Phosphatkonzentration von 4,70 mmol/l und erhöhter Calciumkonzentration von 1,45 mmol/l.

Sehr niedrig war die Phosphatkonzentration des Ceravitalmediums zur gleichen Zeit. Sie betrug 3,60 mmol/l bei mäßiger Calciumkonzentration von 1,13 mmol/l. Die Zellen waren in diesem Fall nur dazu befähigt, sich zu einer Zellkolonie zusammenzufinden.

Nach dem 21. Untersuchungstag ist die Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens auf der Basis aller untersuchten Bioglasarten sowie des Polystyrols deutlich auszumachen. In dieser Zeit beträgt die Phosphatkonzentration mäßige 6,64 mmol/l und eine erhöhte Calciumkonzentration 1,63 mmol/l im Medium des Polystyrols.

Die Calciumkonzentration ist im Medium des Bioglasses 45s5 mit einem mittleren Wert von 1,05 mmol/l und einen ebenso niedrigen Phosphatwert von 6,33 mmol/l vertreten.

Eine erhöhte Phosphatkonzentration ist im Medium des Bioglasses 52s mit einem Wert von 8,21 mmol/l zu verzeichnen, während die Calciumkonzentration in dieser Zeit einen mittleren Wert von 1,15 mmol/l aufweist.

Die Phosphatkonzentration sinkt im Medium des Bioglasses 55s auf einen Wert von 5,45 mmol/l. Die Calciumkonzentration bleibt auf dem mäßigen Stand von 1,08 mmol/l.

Die Phosphatkonzentration erhöht sich im Medium des Bioglasses 60s auf 7,67 mmol/l, während die Calciumkonzentration einen niedrigen Wert von 0,94 mmol/l, beim gleichen Zellwachstum wie die bereits erwähnten Substrate, an diesem 21. Untersuchungstag aufweist.

Auf der Grundlage des Ceravital haben sich die Osteoblasten in dieser Zeit lediglich zu einer Zellkolonie zusammengefunden. Im Medium sind eine niedrige Calciumkonzentration von 0,87 mmol/l sowie eine niedrige Phosphatkonzentration von 4,72 mmol/l messbar.

Am 21. Tag sind nach einer EDX-Analyse niedrigste Calcium-, Phosphat- und Siliziumwerte von 0,53 %, 2,75 % und 1,61 % auf der Oberfläche der Polystyrolprobe festgestellt worden.

Die Probenoberfläche des Bioglasses 45s5 lieferte in der EDX-Analyse einen Phosphatwert von 5,61 %, die Calciumkonzentration einen Wert von 16,32 % und Siliziumwert 1,83 %.

Die Werte steigen steil auf der Oberfläche der Bioglas-52s-Probe, wobei die Calciumkonzentration den höchsten Wert von 43,49 % hatte, die Phosphathöchstkonzentration 23,38 % und Siliziumkonzentration 9,44 % beträgt.

Bioglas 55s hat eine hohe Konzentration von Calcium mit 22,62 %, Phosphat mit 11,62 % und Silizium mit 10,55 %.

Die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Probe liefert in der EDX-Untersuchung des 21. Tages eine niedrige Calciumkonzentration von 12,94 %, einen Phosphatwert von 7,47 % und die höchste Siliziumkonzentration von 20,42 %.

In dieser Zeit ist ferner ein sinkender Calciumwert von 7,87 %, eine Phosphatkonzentration von 8,82 % und ein niedriger Siliziumwert von 5,56 % auf der Oberfläche der Ceravitalprobe zu verzeichnen.

Am 28. Untersuchungstag ist die Bildung eines mehrschichtigen Zellrasens auf der Grundlage des Polystyrols und der Biogläser 45s5, 52s, 55s und 60s erkennbar. Dieses Zellwachstum geht an diesem Tag einher mit einer generellen Erhöhung der Calciumkonzentration und Senkung der Phosphatkonzentration in den Medien der genannten Substrate.

Im Polystyrolmedium ist am 28. Tag eine Senkung der Phosphatkonzentration auf den Wert von 4,55 mmol/l bei einer Calciumkonzentration von 1,71 mmol/l zu verbuchen. Die EDX-Analyse liefert auch an diesem Tag die geringste Calciumkonzentration von 0,50 % sowie eine Phosphatkonzentration von 2,88 % und eine Siliziumkonzentration von 1,80 % auf der Oberfläche der Kontrollprobe.

Im Medium des Bioglasses 45s5 ist ebenfalls eine niedrige Phosphatkonzentration von 5,25 mmol/l bei einer leicht erhöhten Calciumkonzentration von 1,37 mmol/l feststellbar. Die EDX-Untersuchung ergibt einen deutlichen Anstieg der Calcium- und

Phosphatkonzentrationen von 28,68 % und 13,64 %. Die Siliziumkonzentration bleibt jedoch auf dem Wert von 1,81 % wenig verändert.

Im Medium des Bioglasses 52s ist am 28. Untersuchungstag, wie auch in den Medien der Biogläser 45s, 60s sowie im Ceravital,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und im Kontrollmedium eine erhöhte Calciumkonzentration von 1,35 mmol/l festzustellen. Die Phosphatkonzentration hat an diesem Tag einen niedrigen Wert von 4,19 mmol/l. Die Phosphatkonzentrationsabnahme ist ebenso in den Medien aller Bioglasarten und im Kontrollmedium feststellbar. Die EDX-Analyse liefert im Vergleich zur Oberfläche der Biogläser 45s5, 55s und des Ceravital niedrige Calcium- und Phosphatkonzentrationen von 10,14 % und 4,57 %. Die Siliziumkonzentration beträgt an dem Tag 2,84 %.

Im Medium des Bioglasses 55s ist am 28. Untersuchungstag, so wie bei anderen untersuchten Substraten, eine geringe Konzentration des Phosphats von 4,44 mmol/l aufzufinden. Die Calciumkonzentration der Oberfläche ist vergleichbar mit dem Wert des Bioglasses 45s5 11 % an diesem Tag. Die EDX-Analyse liefert einen ähnlichen Phosphatwert von 7,12 % wie Bioglas 60s und ähnlich geringe Siliziumkonzentration von 2,61 % wie Polystyrol oder die Biogläser 45s5 und 52s.

Bioglas 60s zeigt eine erhöhte Calciumkonzentration von 1,55 mmol/l im Medium am letzten Untersuchungstag, im Gegensatz zur geringen Phosphatkonzentration von 4,87 mmol/l. Die EDX-Analyse ergibt eine sehr geringe Calciumkonzentration von 3,65 %, verglichen mit anderen Bioglassorten, wie Ceravital und  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Die gemessene Phosphatkonzentration der Oberfläche beträgt 8,38 %, während die Siliziumkonzentration einen hohen Wert von 9,34 % im Vergleich zum Polystyrol, Ceravital und den weiteren Bioglasarten aufweist.

Das Ceravitalmedium enthält am 28. Untersuchungstag 1,07 mmol Calcium, während die Calcium- und Phosphatkonzentrationen der Oberfläche die höchsten Werte von 44,25 % und 19,80 % erreichen. Die Siliziumkonzentration rangiert im mittleren Bereich von 5,84 %. Am letzten Untersuchungstag beträgt die Calciumkonzentration im Medium des  $\text{Al}_2\text{O}_3$  einen erhöhten Wert von 1,57 mmol/l bei 6,01 mmol/l Phosphatkonzentration. Vergleichbar mit Bioglas 52s, beträgt die Calciumkonzentration der Oberfläche 10,29 % bei einer geringen Phosphatkonzentration von 3,96 %. An diesem Tag wird bei der

Siliziumkonzentration der höchste Wert zu den untersuchten Substraten von 10,29 % gemessen.