

Inhalt

| | | |
|---------|--|----|
| 1. | Ein kurzer Überblick: was sind Biofilme und warum sind sie interessant? | 1 |
| 1.1 | Technisch genutzte Biofilme | 3 |
| 1.2 | Unerwünschte Biofilme | 6 |
| 1.2.1 | Kosten, die durch unerwünschte Biofilme verursacht werden | 8 |
| 1.2.2 | Gegenmaßnahmen | 10 |
| 1.2.3 | Aufbau dieser Arbeit | 13 |
| 2. | Biofilme als besondere mikrobielle Lebensform | 15 |
| 3. | Die Entwicklung von Biofilmen | 22 |
| 3.1 | Induktionsphase | 24 |
| 3.1.1 | Conditioning film | 24 |
| 3.1.2 | Primäradhäsion | 26 |
| 3.1.2.1 | Hydrophobe Wechselwirkungen | 29 |
| 3.2.1.2 | Elektrostatistische Wechselwirkungen | 39 |
| 3.2.1.3 | Wasserstoffbrückenbindungen | 44 |
| 3.2.1.4 | Rolle der extrazellulären polymeren Substanzen (EPS) | 45 |
| 3.2.1.5 | Einfluß der Zellzahl im Wasser | 50 |
| 3.2.1.6 | Einfluß der Scherkräfte | 51 |
| 3.2.1.7 | In-situ-Monitoring der Primäradhäsion mit Hilfe der FTIR-ATR-Spektroskopie | 53 |
| 3.2 | Logarithmische Akkumulation (Wachstumsphase) | 56 |
| 3.3 | Plateau-Phase | 57 |
| 4 | Zusammensetzung, Aufbau und Eigenschaften von Biofilmen | 59 |
| 4.1 | Extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) | 60 |
| 4.2 | Dicke | 65 |
| 4.3 | Dichte | 66 |
| 4.4 | Diffusionskoeffizienten | 66 |
| 4.5 | Sorptionsverhalten von Biofilmen | 67 |
| 4.5.1 | EPS und Wasser | 69 |
| 4.5.2 | Bindung anorganischer Stoffe | 70 |
| 4.5.3 | Bindung organischer Stoffe | 72 |
| 4.5.4 | Partikel | 77 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.6 | Reibungswiderstand und Wärmeleitfähigkeit von Biofilmen | 77 |
| 4.7 | Räumliche Heterogenität | 78 |
| 4.7.1 | Mikrokonsortien | 81 |
| 4.8 | Zeitliche Heterogenität | 83 |
| 5 | Wichtigste Kennzeichen von Biofilmen | 84 |
| 6. | Unerwünschte Biofilme - Phänomene und Mechanismen | 86 |
| 6.1. | Biofouling und seine Erscheinungsformen | 86 |
| 6.1.1 | Trinkwasser | 88 |
| 6.1.1.1 | Pathogene und potentiell pathogene Keime in Biofilmen | 88 |
| 6.1.1.2 | Massenvermehrung von nicht-pathogenen Keimen auf Oberflächen ... | 89 |
| 6.1.2 | Biofouling und die Keime im Reinwasser | 92 |
| 6.1.2.1 | Die Nährstoff-Frage | 96 |
| 6.1.3 | Biofouling in Wasseraufbereitungs-Anlagen | 98 |
| 6.1.4 | Biofouling auf Wärmetauschern | 111 |
| 6.1.5 | Biofouling in Erdöl-Industrieanlagen | 112 |
| 6.1.6 | Biofouling auf Schiffsrümpfen | 113 |
| 6.1.7 | Abwasser | 113 |
| 6.2 | Materialschädigung durch Biofilme: "Biodeterioration" | 114 |
| 6.2.1 | Metalle: Mikrobiell induzierte Korrosion (MIC, "Biokorrosion") | 115 |
| 6.2.1.1 | MIC durch sulfatreduzierende Bakterien | 117 |
| 6.2.1.2 | MIC durch säurebildende Mikroorganismen | 119 |
| 6.2.1.3 | MIC durch schleimbildende Mikroorganismen | 121 |
| 6.2.1.4 | MIC durch Eisen- und Manganbakterien | 122 |
| 6.2.1.5 | Biofouling und MIC | 123 |
| 6.2.2 | Schädigung von mineralischen Baustoffen: "mikrobiell induzierte Verwitterung" | 124 |
| 6.2.3 | Schädigung von Kunststoffen | 132 |
| 6.2.4 | Schädigung anderer Materialien durch mikrobiellen Angriff | 138 |
| 6.2.5 | Überblick der Schädigungsmechanismen bei nichtmetallischen Werkstoffen | 139 |
| 7. | Bekämpfung unerwünschter Biofilme | 140 |
| 7.1 | Nachweis von Biofilmen | 140 |
| 7.1.1 | Ein Beispiel: die Erkennung von primärem Biofouling auf Umkehrosiose-Membranen | 145 |
| 7.1.2 | Nachweis von Schäden, die auf Biodeterioration beruhen | 151 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 7.1.3 | Nachweis von mikrobiell induzierter Korrosion (MIC, "Biokorrosion") . . . | 152 |
| 7.2 | Beseitigung von Biofilmen | 154 |
| 7.2.1 | Biozide | 154 |
| 7.2.2 | Reinigung von Oberflächen und mechanische Widerstandskraft von Biofilmen | 161 |
| 7.2.3 | Reinigungsstrategie | 166 |
| 7.2.4 | Erfolgskontrolle | 169 |
| 7.2.4 | Beseitigung von Schäden, die durch Biodeterioration entstanden sind . . . | 176 |
| 7.2.5 | Beseitigung von MIC-Schäden | 177 |
| 7.3 | Verhinderung von unerwünschten Biofilmen | 177 |
| 7.3.1 | Inhibition der Primärbesiedlung | 179 |
| 7.3.2 | Verhinderung der Biodeterioration | 193 |
| 7.3.3 | Verhinderung von MIC | 196 |
| 8 | "Mit den Biofilmen leben" - Biozid-freie Anti-Fouling-Strategien | 200 |
| 8.1 | Starke und wechselnde Scherkräfte | 203 |
| 8.2 | Temperatur | 205 |
| 8.3 | Nährstoffe | 207 |
| 8.4 | Monitoring-Systeme für Biofilm-Entwicklung | 215 |
| 8.5 | Monitoring-Systeme für MIC | 218 |
| 8.6 | Wie schützen sich lebende Organismen gegen Biofouling? | 221 |
| 8.7 | Ausblick | 223 |
| 8.7.1 | Kurzfristige Maßnahmen | 223 |
| 8.7.2 | Langfristige Maßnahmen | 224 |
| 9 | Literatur | 227 |
| 10 | Danksagung | 275 |
| 11 | Anhang Verzeichnis der Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft | 277 |