

Dipl.-Ing. Gürhan Özoğuz, Delmenhorst

**Stickstoffelimination durch immobilisierte Biomasse und entkoppelte Substratversorgung bei hochbelasteten Abwässern**

Reihe **15**: Umwelttechnik

Nr. **168**

# Inhaltsverzeichnis

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| A         | Formelzeichen  | VIII      |
| B         | Literaturverzeichnis   | XIII      |
| <b>1.</b> | <b>Einleitung</b>  | <b>1</b>  |
| <b>2.</b> | <b>Stand des Wissens</b>   | <b>4</b>  |
| 2.1       | Stickstoffelimination  | 4         |
| 2.1.1     | Ziel der Stickstoffelimination   | 4         |
| 2.1.2     | Grundlagen der biologischen Prozesse   | 4         |
| 2.1.2.1   | Nitrifikation  |           |
| 2.1.2.2   | Denitrifikation  |           |
| 2.1.2.3   | Stickstoffverluste in der Flüssigphase   |           |
| 2.1.2.4   | Theoretische Grundlagen zur Ermittlung kinetischer Parameter   |           |
| 2.1.3     | Verfahrenstechnik der Stickstoffelimination  | 24        |
| 2.2       | Biofilme   | 30        |
| 2.2.1     | Entstehung von Biofilmen   | 30        |
| 2.2.2     | Aufbau von Biofilmen   | 32        |
| 2.2.3     | Stofftransport in Biofilmen  | 35        |
| 2.3       | Löslichkeit und Eintrag von Sauerstoff in Wasser und Abwasser  | 41        |
| 2.3.1     | Löslichkeit von Sauerstoff in Wasser und Abwasser  | 41        |
| 2.3.2     | Sauerstoffeintrag in Wasser und Abwasser   | 43        |
| 2.3.3     | Sauerstoffeintrag in Wasser und Abwasser durch nichtporöse Membranen   | 45        |
| 2.3.4     | Einflüsse auf den Sauerstoffübergang an einer querangeströmten Membran   | 55        |
| 2.4       | Verwendete dimensionslose Kennzahlen zur Charakterisierung der Stofftransport- und Reaktionsbedingungen im Reaktor | 59        |
| <b>3.</b> | <b>Ziele der Untersuchungen</b>  | <b>68</b> |
| <b>4.</b> | <b>Anlagenbeschreibung, Meßtechnik und Versuchsdurchführung</b>  | <b>73</b> |
| 4.1       | Membran-Schlauch-Modul-(MSM)Reaktoren zur Stickstoffelimination  | 73        |
| 4.2       | Bestimmung des Permeabilitätskoeffizienten des Silikon-Membranschlauches   | 76        |
| 4.3       | Bestimmung des Stoffübergangskoeffizienten   | 77        |
| 4.4       | Örtliche Stoffprofil-Messung an einer Einzelmembran  | 81        |
| 4.4.1     | Prinzip der polarographischen Sauerstoffbestimmung   | 84        |
| 4.4.2     | Methodik zur Messung mit Nadelelektroden   | 86        |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 4.4.3     | Versuchsaufbau zur Ermittlung der Sauerstoffprofile .....   | 90         |
| 4.5       | Bestimmung der kinetischen Koeffizienten .....  | 92         |
| 4.6       | Verwendete Auswertgleichungen .....   | 93         |
| <b>5.</b> | <b>Diskussion der Versuchsergebnisse .....</b>  | <b>95</b>  |
| 5.1       | Sauerstoffsättigung der verwendeten Nährlösung .....  | 95         |
| 5.2       | Membranspezifischer Stofftransport .....  | 96         |
| 5.2.1     | Membranpermeabilität .....  | 96         |
| 5.2.2     | Stoffübergangskoeffizient .....   | 96         |
| 5.3       | Nitrifikationsleistung im Membran-Schlauch-Modul-(MSM)-Reaktor .....                              | 98         |
| 5.3.1     | MSM-Reaktor A mit einer spezifischen Oberfläche von $20 \text{ m}^2\text{m}^{-3}$ .....           | 98         |
| 5.3.1.1   | Nitrifikationsleistung als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit<br>und der Substratkonzentration |            |
| 5.3.1.2   | Umsatzgrad als Funktion der Raumbelastung   |            |
| 5.3.1.3   | Umsatzgrad in Abhängigkeit der Damköhler-Zahl 1. Art  |            |
| 5.3.1.4   | Stickstoffverluste  |            |
| 5.3.2     | MSM-Reaktor B mit einer spezifischen Oberfläche von $200 \text{ m}^2\text{m}^{-3}$ .....          | 105        |
| 5.3.2.1   | Nitrifikationsleistung als Funktion der Strömungsgeschwindigkeit<br>und der Substratkonzentration |            |
| 5.3.2.2   | Umsatzgrad als Funktion der Raumbelastung   |            |
| 5.3.2.3   | Umsatzgrad in Abhängigkeit der Damköhler-Zahl 1.Art   |            |
| 5.3.2.4   | Stickstoffverluste  |            |
| 5.4       | Stofftransport .....  | 112        |
| 5.4.1     | Ermittlung der optimalen Polarisationsspannung .....  | 113        |
| 5.4.2     | Elektrodenkalibrierung und Kompensation des<br>Temperatureinflusses .....                         | 114        |
| 5.4.3     | Aufbereitung und Darstellung der Meßdaten .....   | 114        |
| 5.4.4     | Diskussion der Ergebnisse .....   | 114        |
| 5.4.4.1   | Sauerstoffprofil-Messungen im MSM-Reaktor B   |            |
| 5.4.4.2   | Stofftransportmessungen im Strömungsrohr  |            |
| 5.4.4.3   | Dimensionsanalyse   |            |
| 5.5       | Kinetik der Nitrifikation von Biofilmen auf Membranschläuchen .....                               | 125        |
| 5.6       | Ausblick .....  | 131        |
| <b>6.</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>135</b> |
| 6.1       | Tabellen  |            |
| 6.2       | Abbildungen   |            |