

## **Forschungsberichtsblatt:**

### **Funnel-and-Irradiate Technologie (FIT) zur in-situ Aufbereitung belasteter Grundwässer**

Förderkennzeichen: BWW 23006

#### 1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses.

Aus den in Grundwasser durchgeführten Labor- wie auch in-situ-Untersuchungen wurde ersichtlich, dass die Entfernung von PAK, wie auch Benzol und Vinylchlorid (VC) durch Ozonung deutlich schneller erzielt wird als durch UV-Behandlung oder durch auf UV basierenden „advanced oxidation processes“ (AOP's).

Mittels Ozonung wurden die Konzentrationen aller untersuchten Schadstoffe außer Benzol zu 100 % vermindert (Anfangskonzentrationen: PAK bis zu 50 µg/L; Benzol und Vinylchlorid bis zu 20 µg/L); Benzol konnte mit einer Dosierung von 8 mg/L Ozon im Laborversuch nahezu vollständig aus dem Grundwasser entfernt werden, welches nach der Ozonung noch eine Restkonzentration von 0,4 µg/L enthielt. Durch das kombinierte Verfahren UV/Ozon wurde Benzol vollständig aus dem Grundwasser entfernt. Der hohe Energiebedarf im Falle von zusätzlicher UV-Bestrahlung lässt eine Kombination von Ozonung und UV-Bestrahlung zur Eliminierung der Restkonzentrationen an Benzol jedoch nicht zweckmäßig erscheinen.

Die reine UV-Bestrahlung stellt für den Abbau von Benzol und VC nicht die beste Option dar, da ein 90 %iger Abbau von Benzol vergleichsweise das Dreifache an Bestrahlungszeit im Vergleich zur Bestrahlungszeit für den 90 %igen Abbau von Acenaphthen benötigte.

Die alleinige H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Dosierung zur Oxidation der im Grundwasser vorhandenen Schadstoffe war nicht Ziel führend: die Dosierung von 20 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> führte selbst nach einer Kontaktzeit von über 500 Minuten nicht zu einer ausreichenden Eliminierung der Schadstoffe. Das kombinierte Verfahren von UV-Bestrahlung und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (20 mg/L) ist hingegen eine äußerst effektive Methode, insbesondere im Hinblick auf die Eliminierung von Benzol und Vinylchlorid.

#### 2. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse?

Untersuchungen zum PAK-Abbau in Modellwässern mit einem Transmissionsgrad von größer als 99 % für die emittierte Wellenlänge von 254 nm zeigen, dass an Standorten mit geringerer Huminstoff-Konzentration (SAK<sub>254</sub> < 10/m) und geringerer Trübung (< 1 FNU) die in-situ UV-Bestrahlung ein hocheffizientes Verfahren darstellen kann. Hierzu sollte vor dem Einsatz des Verfahrens der Transmissionsgrad des zu bestrahlenden Wassers ermittelt werden, um die Eindringtiefe der UV-Strahlung zu bestimmen. Es ist zu empfehlen, vor dem großtechnischen Einsatz chemische Analysen zur Ermittlung des Belagsbildungspotentials des zu bestrahlenden Wassers durchzuführen. Weiterhin wird empfohlen, die Strahler wäh-

rend des Betriebes regelmäßig auf Beläge zu prüfen bzw. vor der Installation der Strahler einfache Abstreifvorrichtungen vorzusehen.

Generell empfiehlt es sich, UV-Strahler horizontal zu installieren. Bei deutlicher Eisenausfällung sollte das Wasser entweder vor der Bestrahlung durch einfache Belüftung mit anschließender Sandfiltration enteisent werden oder es sollte auf andere Verfahren zurückgegriffen werden.

Bei nur geringer Belagsbildung bietet es sich an, Reinigungsintervalle festzulegen. Die Strahler können entweder manuell gereinigt werden oder mittels automatischer Wischer, wie sie bei der Trinkwasserdesinfektion mit UV-Mitteldruckstrahlern üblich sind.

### 3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis?

Die aus den durchgeführten Untersuchungen gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die UV-Bestrahlung in Abhängigkeit von der Wasserbeschaffenheit ein effizientes Verfahren zur Schadstoffeliminierung darstellen kann. So wurden während der in-situ UV-Bestrahlung einige Vertreter der Stoffgruppe der PAK zu 90 % aus dem Grundwasser entfernt.

Dennoch wurden durch die Anwendung der in-situ UV-Bestrahlung am Gaswerksstandort in Karlsruhe sowohl für den Hauptschadstoff Acenaphthen, als auch für Benzol und Vinylchlorid keine überzeugenden Ergebnisse erzielt. Insgesamt konnten diese drei Verbindungen durch die in-situ UV-Bestrahlung nur zu ca. 50 % abgebaut werden. Bei einem Gesamtenergieverbrauch von 1.33 kWh je m<sup>3</sup> für die Erzeugung der UV-Strahlung im Vergleich zum Energieverbrauch bei der Anwendung des Ozonverfahrens (16 g/m<sup>3</sup>) von 0,32 kWh/m<sup>3</sup> ergibt sich für die UV-Bestrahlung ein ungünstigeres Bild. Auch die hohen Eisen- und Huminstoffkonzentrationen im Grundwasser, die zu Belagsbildungen auf den Strahlerhüllrohren sowie zu Konkurrenzreaktionen führten, lassen die Anwendung von UV-Bestrahlung an diesem Standort nicht zweckmäßig erscheinen.

Die Entscheidung, das UV-Verfahren am Standort des Karlsruher Gaswerksgeländes in-situ zu testen, wurde erst in der Bauphase der Funnel and Gate Sanierungsanlage getroffen. Dadurch bedingt gestaltete sich der Einbau der Strahlermodule, vor allem wegen der engen räumlichen Bedingungen in der Bestrahlungskammer, als sehr schwierig und die Module mussten exakt eingepasst werden, um ein Verkeilen dieser in der Zustromkammer zu vermeiden. Eine auf die UV-Bestrahlung zugeschnittene Bestrahlungskammer mit anderer Geometrie würde die Praxistauglichkeit deutlich erhöhen.

Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass der langsame Grundwasserfluss ausreichend lange Retentionszeiten in der Bestrahlungszone gewährleisten würde. Dies war auch erfüllt. Es konnte jedoch gezeigt werden, dass das Grundwasser wegen der sich bildenden Eisenverbindungen eine sehr niedrige UV-Durchlässigkeit aufwies. Somit erfolgte die Bestrahlung nur in der unmittelbaren Umgebung der Strahler, wodurch die Effektivität der Bestrahlung

drastisch reduziert wurde. Die Anwendung der UV-Bestrahlung ist an diesem Standort somit nicht empfehlenswert.

In ersten großtechnischen in-situ Ozonungsversuchen konnte gezeigt werden, dass mit dem Verfahren der Ozonung deutlich bessere Ergebnisse erzielt wurden als mit der UV-Bestrahlung. Sämtliche PAK - wie auch Vinylchlorid - konnten komplett entfernt werden; Benzol wurde zu 90 % aus dem Grundwasser eliminiert. Der genaue Ozonbedarf sollte durch weiterführende Untersuchungen festgestellt werden und die technische Vorgehensweise weiter optimiert werden.

Es wird daher empfohlen, in einem weiteren Forschungsprojekt die in-situ Ozonung als quasi-passives Verfahren durch Verwendung von Luft zur Ozonerzeugung am Gaswerksstandort Karlsruhe zu erproben. Wir bitten um Mitteilung, ob eine derartige Projektskizze eingereicht werden soll. (Fax Prof. Maier 0721-599 3319)

Prof. Dr. D. Maier und J. Eggers