

1 Einleitung

Des Menschen höchstes Gut – die Gesundheit – hat prioritäre Bedeutung. Neben Folgen direkter, akuter Einwirkung auf den menschlichen Körper, wie z. B. Verbrennungen, Verätzungen oder Knochenbrüche, können auch langzeitliche Einflüsse die menschliche Gesundheit bedrohen. Sich kumulierende Einwirkungen können zu generationsübergreifenden Effekten führen. Während die Ursachen der Einflüsse längst nicht mehr bestehen, treten Wirkungen erst in folgenden Generationen auf.

Die Hypothese, dass Chemikalien aus der Umwelt endokrine Effekte hervorrufen können, wurde 1924 von Allen und Doisy und 1938 von Dodds und Mitarbeitern nachgewiesen (BIRKETT & LESTER, 2003). Seitdem wurde über eine Vielzahl von Wirkungen auf das Reproduktionssystem frei lebender Schalentiere, Fische, Reptilien, Vögel und Säuger berichtet (z. B. COLBORN & CLEMENT, 1992, FACEMIRE ET AL., 1994, FRY, 2000, GUILLETTE, 2000, OEHLMANN ET AL., 2000, PURDOM ET AL., 1994, SCHLUMPF & LICHTENSTEIGER, 2000). Die Möglichkeit, dass xenobiotische Umwelthormone für Reproduktionsstörungen, wie gesteigertes Auftreten von Testis-, Prostata- und Mammacarcinomen, Kryptorchismus und Hypospadie sowie abnehmende Spermienzahl und -qualität beim Menschen, verantwortlich seien, wird kontrovers diskutiert (z. B. BASKIN ET AL., 2001, CARLSEN ET AL., 1992, FERNANDEZ ET AL., 1998, GIES ET AL., 2001, JACOBI, 1999, JENSEN ET AL., 1995, KOM(1999)706, MAKELA ET AL., 2000, MØLLER, 2000, NRC, 1999, SCHLUMPF & LICHTENSTEIGER, 2000, SHARPE & SKAKKEBÆK, 1993, TOPPARI ET AL., 1996, TOPPARI & SKAKKEBÆK, 2000, WHITTEMORE, 1994, WWF, 1999). Im Jahr 1993 postulierten SHARPE & SKAKKEBÆK ihre Estrogenhypothese, die aussagt, dass die geschilderten Störungen von Entwicklung und Funktion der männlichen Geschlechtsorgane durch eine erhöhte pränatale Exposition gegenüber Estrogenen verursacht sein könnten (SHARPE & SKAKKEBÆK, 1993). Sie sahen Parallelen zu den Auswirkungen der jahrzehntelangen Anwendung des synthetischen Estrogens Diethylstilbestrol (DES) zur Vermeidung von Aborten bei schwangeren Frauen (z. B. BERNHEIM, 2001, BLAIR, 1992, BLAIR ET AL., 1992, DEGEN, 1995, EEA, 2001, GREENBERG ET AL., 1984, HOGAN ET AL., 1987, IBARRETA & SWAN (2001), KOM(1999)706, MELNICK ET AL., 1987), die den bekanntesten kausalen Zusammenhang zwischen einer Substanz und negativen Wirkungen bei Menschen und ihren Nachkommen darstellen.

Es existieren drei Haupteintragspfade für endokrin aktive Substanzen (EAS) in die aquatische Umwelt:

- Immission von Kläranlagenabläufen und ungereinigtem Abwasser in Oberflächengewässer (z. B. BIRKETT & LESTER, 2003),
- Immission von behandeltem oder unbehandeltem Deponiesickerwasser in Oberflächen- und Grundwässer (z. B. VOGEL, 2002) und
- Immission von Run-Off und Sickerwasser von (z. B. mit Klärschlamm beaufschlagten) landwirtschaftlich genutzten oder landbaulich rekultivierten Flächen in Grund- und Oberflächengewässer (z. B. BILITEWSKI ET AL., 2002, DIZER ET AL., 2001, GEHRING ET AL., 2004, VOGEL ET AL., 2003).

Ein Eindringen von EAS in die menschliche Nahrungskette nach landwirtschaftlicher Klärschlammverwertung kann nach bestehendem Wissenstand nicht ausgeschlossen werden (MARKARD, 1988). Für einige dieser Substanzen ist die Aufnahme durch Pflanzen bereits belegt (BOKERN ET AL., 1998). Zudem sind viele EAS bereits ubiquitär in der Umwelt verbreitet (z. B. BIRKETT, 2003B).

Die seit einiger Zeit sehr heftig debattierte Frage der landwirtschaftlichen Verwertung von Klärschlamm gipfelte in den Vorschlägen der Bundesregierung für bodenschutzorientierte Grenzwerte für die Belastung mit Schwermetallen (HAHN, 2001). Klärschlamm ist die Schadstoffsene der Abwasserreinigung. In ihm akkumulieren eine Vielzahl von Chemikalien aus Haushalt, Gewerbe und Industrie. Da Deutschland mit über 2,5 Mio. t_{TR}/a Klärschlammfall (STATISTISCHES BUNDESAMT DEUTSCHLAND, 2003) an der europäischen Spitze steht, ist hier eine Vorreiterrolle beim verantwortungsvollen Umgang mit Klärschlamm zu erwarten und anzustreben. Die Frage nach der Gefährdung der Umwelt und des Menschen durch Inhaltsstoffe aus in der Landwirtschaft verbrachtem Klärschlamm und nach notwendigen Konsequenzen ist erst wissenschaftlich und im Anschluss legislativ zu beantworten.

Auch wenn bisher nur Vorschläge zu Schwermetallgrenzwerten vorgelegt wurden, ist beabsichtigt, auch Grenzwerte für organische Schadstoffe in die Klärschlammverordnung aufzunehmen. Dabei geht es nicht nur um eventuell verschärfte Grenzwerte für polychlorierte Biphenyle (PCB), polychlorierte Dibenzo-p-dioxe und -furane (PCDD/F) und adsorbierbare organische Halogenverbindungen (AOX), sondern auch und vor allem um Grenzwerte für bisher nicht sanktionierte Stoffe. Zu ihnen zählen einige der hier betrachteten endokrin aktiven Substanzen, bei denen das Wissensdefizit und der anstehende Forschungsbedarf unstrittig sind (z. B. DFG, 2003, GIES ET AL., 2001, KOM(2001)262, LOLL, 2002, THOMPSON, 2003, VOGEL ET AL., 2001). Die Palette der bisher nachgewiesenen (potenziell) endokrin aktiven Substanzen umfasst u. a. Herbizide, Fungizide, Organochlorinsektizide, Nematizide, Schwermetalle, PCB, PCDD/F, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polybromierte Flammenschutzmittel, Phthalate, Alkylphenole, Alkylphenolethoxylate und -carboxylate, Bisphenole, Butylzinnverbindungen und Steroidhormone (z. B. BIRKETT, 2003A, GREIM, 1998, THALER, 1998).

Ziel der hier präsentierten Forschung war die vergleichende Betrachtung der verschiedenen Klärschlammstabilisierungsverfahren hinsichtlich ihres Potenzials zur Elimination von endokrin aktiven Substanzen in Verbindung mit einer Handlungsempfehlung für Entscheidungsträger in Politik und Wirtschaft. Berücksichtigt werden dabei die in Abwässern und Klärschlämmen gemessenen Konzentrationen, die Bandbreite der Eliminationsleistung von Kläranlagen sowie die großtechnische Bedeutung der untersuchten Verfahren. Emissionen über den Abwasserpfad und den landwirtschaftlich verbrachten Klärschlamm in die Umwelt werden unter dem Aspekt der jeweils noch vorhandenen Restkonzentrationen im Abwasser und Klärschlamm und deren Wirkstärken diskutiert.

In dieser Arbeit werden zu Beginn die Grundlagen der Abwasserreinigung und Klärschlammbehandlung, des Hormonsystems und der hier betrachteten Zielanalyten dargelegt, danach erfolgt die Beschreibung der verwendeten Materialien und Methoden. Im Anschluss werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert. Dabei werden Schlussfolgerungen und der Forschungsbedarf berücksichtigt. Abschließend erfolgt die Zusammenfassung der Ergebnisse. Diese Arbeit legt grundlegende Forschungsergebnisse aus ingenieurtechnischer Sicht dar, zeigt weiteren Forschungsbedarf auf und soll dazu beitragen, das vorherrschende Wissensdefizit weiter zu verringern.