

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, daß eine Übertragung der für Flüssigkultur beschriebenen Abbauleistungen der Weißfäulepilze auf den Abbau von PAKs und PCBs in Festphasensystemen möglich ist. Die Größenordnung des Abbaus bei Inkubation von mit Schadstoffen belegten Holzspänen entsprach der in Flüssigkultur.

Im einzelnen konnte gezeigt werden:

- ⇒ Der Abbau von PAKs und PCBs kann durch eine Vielzahl von Weißfäulepilzen bewirkt werden. Als besonders aktiv erwies sich die Gattung *Pleurotus*. Die Unterschiede beim Abbau von Benz[a]pyren zwischen 23 verschiedenen Stämmen der Gattung *Pleurotus* waren sehr gering. Chrysen zeigte die größten Unterschiede bei diesem Pilzvergleich. *Phanerochaete chrysosporium* konnte im Festphasensystem unter Luftsauerstoff und Raumtemperatur nur in wenigen Fällen einen Abbau der untersuchten Substanzen bewirken.
- ⇒ Es konnten alle untersuchten PAKs, einschließlich Indeno[123-cd]pyren mit sechs kondensierten Ringen, abgebaut werden, wenn auch die verschiedenen PAKs nicht gleich gut abbaubar waren. Relativ langsamer abgebaut wurden die Substanzen Chrysen, Benz[b/k]fluoranthren, Benz[e]pyren und Perylen. Es zeigte sich kein Zusammenhang mit dem Kondensationsgrad der Substanzen, da Benz[a]pyren schnell abgebaut wurde. Der Abbau eines PAK-Gemisches eines ehemaligen Gaswerkgeländes betrug innerhalb von 51 Tagen über 85 %.
- ⇒ Bei beiden Substanzgruppen konnte der höchste Abbau auf kontaminierten Holzspänen mit Kartoffelpülpe erzielt werden. Schadstoffe in Böden wurden im Fall der PCBs langsamer, im Fall der PAKs meist gar nicht abgebaut. Der Abbau von PAKs in einem kontaminierten Boden eines ehemaligen Gaswerkgeländes konnte weder durch zusätzliche Induktoren, flüssige Bodenhomogenisierung, Tensidaufschluß, Hochdruckwäsche, noch durch Teilextraktion mit Lösungsmittel-Wasser-Gemischen erhöht werden. Es wurde damit deutlich gezeigt, daß die Bioverfügbarkeit der Schadstoffe in solchen Böden so gering sein kann, daß trotz prinzipieller Abbaubarkeit des Schadstoffgemischs eine biologische Sanierung nicht möglich ist.

- ⇒ Die Mineralisation von ^{14}C -radioaktiv markiertem Anthracen und Benz[a]pyren betrug im Festphasensystem über 16 % innerhalb von zehn Wochen. Anthracen wurde zu einem großen Teil in Anthrachinon umgewandelt und zu ca. 17 % auf der Matrix gebunden. Anthrachinon wurde im Laufe der Inkubationsperiode wieder abgebaut. Für Benz[a]pyren konnten keine Metaboliten gefunden werden. Die Matrixanbindung dieser Substanz lag mit über 40 % der eingesetzten Aktivität deutlich über der des Anthracen; in den extrahierbaren Fraktionen wurde die Bildung von polymerisierten Produkten gefunden.
- ⇒ PCBs sind durch Weißfäulepilze sehr unspezifisch bis zu pentachlorierten Biphenylen abbaubar. Noch höher chlorierte PCBs sind auch durch Weißfäulepilze kaum angreifbar, so vor allem PCBs mit dem 2,2',4,4',5,5'-Substitutionsmuster. PCBs mit 4,4'-Chlorsubstitution sind langsamer abbaubar als anders substituierte PCBs mit gleicher Chloranzahl.
- ⇒ Im Festphasensystem konnte bei Tri- und Tetrachlorbiphenylen eine Mineralisierung des Kohlenstoffgerüsts zu CO_2 von maximal 5,5 % in 50 Tagen beobachtet werden. Die Mineralisation von ^{36}Cl -markierten PCBs in Form der Chloridfreisetzung betrug im vergleichbaren Zeitraum über 40 %. Eine Bindung von chlorhaltigen Metaboliten an die Matrix wurde in einer Größenordnung von 10 % festgestellt. Die Einbindung von ^{14}C -Metaboliten in die Matrix betrug dagegen knapp 20 %.
- ⇒ Typische Metaboliten des PCB-Abbaus sind chlorierte Benzoesäuren, Benzaldehyde und Benzylalkohole. Die Bildung von methoxylierten PCBs konnte nachgewiesen werden, ebenso in geringen Mengen die Entstehung von Chlorphenol, Chlortoluol und Chloracetylen. Als Bindeglied zwischen dem chlorierten Biphenyl und den chlorierten Phenyl-(C1)-Körpern konnte ein Chlorphenyl-Pentanon-Derivat gefunden werden. Es wurden keine 'dead-end-Metabolite' festgestellt.

DANKSAGUNG

Herrn Prof. Dr. A. Hüttermann gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Themas und die Unterstützung der Arbeit in fachlicher wie finanzieller Hinsicht. Herrn Prof. Dr. G. Gottschalk danke ich sehr für die Übernahme des Referats.

Ganz herzlich möchte ich mich bei allen Mitgliedern des Forstbotanischen Instituts, insbesondere bei Herrn A. Majcherczyk für die fruchtbare Zusammenarbeit, unzählige Diskussionen und Anregungen und dem damit verbundenen Teamgeist bedanken. Ebenfalls bedanken möchte ich mich bei Frau B. Wandt und Frau J. Fraatz sowie vielen Auszubildenden für ihre Bereitschaft, mir immer wieder hilfreich zur Seite zu stehen.

Das zentrale Isotopenlabor hat durch Beratung bei der Synthese der markierten Verbindungen sowie bei der Messung der Proben einen Großteil der Arbeit erst möglich gemacht. Besonders danke ich dabei Herrn Dr. H. Formanek für die intensiven Gespräche, Herrn W. Strulik und Herrn R. Schultz für viele praktische Tips, sowie der ganzen Belegschaft für die Unterstützung bei der Vielzahl von Messungen.

Dem Institut für Bodenkunde der Universität Göttingen danke ich für Rat und Tat, letzteres besonders bei Korngrößenbestimmungen. Der Technischen Universität Hamburg-Harburg, speziell Herrn Dipl.-Ing. M. Wilichowski, gilt mein besonderer Dank für das unproblematische und freundliche Entgegenkommen bei der Durchführung der Bodenklassierung. Dem Institut für ökologische Chemie und Geochemie der Universität Bayreuth gilt mein Dank für die Messung von Kontroll- und Abbauproben auf PCDDs und PCDFs.

Der Firma Henkel, vertreten durch Herrn Jonek, danke ich für die Bereitstellung von Tensidproben, die im Bodenhomogenisierungsverfahren getestet werden konnten.

Des weiteren bedanke ich mich ganz herzlich bei den KorrektorInnen dieser Arbeit, durch deren Mithilfe die Form der Arbeit... und die Verschachtelungen der Sätze, die, wie sie den Inhalt verstellen, so auch, durch sich aufhebende Widersprechungen, nicht zuletzt durch das Fehlen von Kommata zu, vermeidbaren, Fehlern hätte führen können, als natürlich auch die unvermeidliche Zahl (so vermute ich) an Rechtschreib- und Tippfehlern (...?), ...richtiggestellt wurde.

Und nun doch zuletzt, aber deswegen um so wichtiger, danke ich meiner Frau Ingrid sowie meinen Kindern Annika und Daniel, aber natürlich auch dem im Laufe dieser Arbeit geborenen Moritz für die Zeit, die ich zur Ausführung und Fertigstellung der Arbeit freigestellt wurde, gerade auch da, wo Zeitplanungen dem Notwendigen weichen mußten.

LITERATUR

- Abramowicz DA** (1990): Aerobic and anaerobic biodegradation of PCBs - a review. *Critical Reviews in Biotechnol.* 10, 241-249
- Agosin E, Daudin JJ & Odier E** (1985): Screening of white-rot fungi on ¹⁴C-lignin-labelled and ¹⁴C-whole-labelled wheat straw. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 22, 132-138
- Alef K** (1991): *Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie*. ecomed Verlag, Landsberg/Lech
- Altwickler ER, Konduri RKNV, Lin C & Milligan MS** (1992): Rapid formation of polychlorinated dioxins/furans in the post combustion region during heterogeneous combustion. *Chemosphere* 25, 1935-1944
- Ames BN, Lee FD & Durston WE** (1973): An improved bacterial test system for the detection and classification of mutagens and carcinogens. *Roc. Nat. Acad. Science USA* 70, 782-786
- Ander P, Hatakka A & Erikson KE** (1980): Vanillic acid metabolism by the white-rot fungus *Sporotrichum pulverulentum*. *Arch. Microbiol.* 125, 189-202
- Archibald FS, Paice MG & Jurasek L** (1990): Decolorization of kraft bleachery effluent chromophores by *Coriolus (Trametes) versicolor*. *Enzyme and Microbial Technol.* 12, 846-853
- Archibald FS** (1992): Lignin peroxidase activity is not important in biological bleaching and delignification of unbleached kraft pulp by *Trametes versicolor*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 3101-3109
- Arjmand M & Sandermann H** (1987): N-chlorophenyl succinimid: A novel metabolit class isolated from *Phanerochaete chrysosporium*. *Pestizid Biochemistry Physiology* 27, 173-181
- Aust SD & Bumpus JA** (1988): Process for the degradation of coal tar constituents by white rot fungi. PCT WO 88/01255, 25.2.1988
- Aust SD** (1990): Degradation of environmental pollutants by *Phanerochaete chrysosporium*. *Microbial Ecology* 20, 197-209
- Bajpai P & Bajpai PK** (1992): Biobleaching of kraft pulp process. *Biochemistry* 27, 319-325
- Ballschmitter K, Unglert KC & Neu HT** (1977): Abbau von chlorierten Aromaten, PCBs: chlorierte Benzoessäuren als Metabolite der PCBs. *Chemosphere* 1, 51
- Ballschmitter K & Zell M** (1980): Analysis of PCBs by GC. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 302, 20-31
- Ballschmitter K, Wiegand D, Zeddel A, Majcherczyk A & Hüttermann A** (1992): Nachweis des Dioxinabbaus im Boden durch ein biologisches Sanierungsverfahren mit Weißfäulepilzen. Forschungsbericht an das Land Baden-Württemberg. Bericht zum Werkvertrag BNR: 67538
- Barr DP, Shah MM, Grover TA & Aust SD** (1992): Production of hydroxyl radical by lignin peroxidase from *Phanerochaete chrysosporium*. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 298, 480-485
- Bedard DL, Brennan MJ & Unterman R** (1983): Bacterial degradation of PCBs: Evidence of distinct pathways in *Cornybacterium* ssp. MB1 and *Alcaligenes eutrophus* H850. In: Addis G & Komai RY (Hrsg.): *Proceedings: 1983 PCB Seminar Atlanta, Georgia, Electric power research institute, Palo Alto, California*

- Bedard DL, Unterman R, Bopp LH, Brennan MJ, Haberl ML & Johnson C** (1986): Rapid assay for screening and characterizing microorganism for the ability to degrade polychlorinated biphenyls. *Appl. Environ. Microbiol.* 51, 761-768
- Bedard DL** (1990): Bacterial transformation of PCBs. In: Kamely D, Chakrabarty A & Omenn GS (Hrsg.): *Biotechnol. and Biodegradation*. 369-388, Portfolio Publishing Co., Texas
- Bedard DL & Haberl ML** (1990): Influence of chlorine substitution pattern on the degradation of polychlorinated biphenyls by eight bacterial strains. *Microbial Ecology* 20, 87-102
- Behrens D & Wiesner J** (1992): *Dechema-Fachgespräche Umweltschutz : Mikrobiologische Reinigung von Böden*. DECHEMA, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt a. M., 12-36
- Biener E** (1988): Sanierung des Geländes einer ehemaligen Maschinenfabrik durch Bodenluftabsaugung und mikrobiologische Bodenreinigung. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.1.4.*, Decker's Verlag, Heidelberg
- Blanchette RA** (1984): Screening wood decayed by white rot fungi for preferential lignin degradation. *Appl. Environ. Microbiol.* 48, 647-653
- Bollag JM, Liu SY & Minard RD** (1980): Cross-coupling of phenolic humus constituents and 2,4-Dichlorphenol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, 52-56
- Bollag JM & Myers CJ** (1992): Detoxification of aquatic and terrestrial sites through binding of pollutants to humic substances. *Science of the total environment* 118, 357-366
- Bollag JM, Myers CJ & Minard RD** (1992): Biological and chemical interactions of pesticides with soil organic matter. *Science of the total environment* 123, 205-217
- Bopp LH** (1986): Degradation of highly chlorinated PCBs by *Pseudomonas* strain LB400. *J. of Industr. Microbiol.* 1, 23-29
- Braun-Lüllemann A** (1989): Abbau verschiedener gasförmiger Xenobiotika durch Pilze. Diplomarbeit am Forstbotanischen Institut der Universität Göttingen
- Braun-Lüllemann A** (1993): mündliche Mitteilung
- Brodkorb TS & Legge RL** (1992): Enhanced biodegradation of phenanthrene in oil tare- contaminated soils supplemented with *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 3117-3121
- Brown JF, Bedard DL, Brennan MJ, Carnahan JC, Feng H & Wagner RE** (1987): Polychlorinated biphenyl dechlorination in aquatic sediments. *Science* 236, 709-712
- Brunner W, Sutherland FH & Focht DD** (1985): Enhanced biodegradation of polychlorinated biphenyls in soil by analog enrichment and bacterial inoculation. *J. Environ. Quality* 14, 324-328
- Brunner W, Hornung E, Santi H, Wolff E & Piringer OG** (1990): Henry's law constants for polychlorinated biphenyls: Experimental determination and structure-property relationship. *Environ. Science Technol.* 24, 1751-1754
- Brynoik D, Eichler B, Reinert G, Watzdorf v. R & Knackmuß HJ** (1992): Enhanced bioavailability of PAH in multiphasic systems. In: *International symposium soil decontamination using biological processes*, Karlsruhe 6-9 Dec. 1992, reprints 645-650
- Bubner M & Schmidt L** (1963): Synthese von Pentachlorphenol-³⁶Cl. *Kernenergie* 6, 82-83

Bumpus JA, Tien M, Wright D & Aust SD (1985): Oxidation of persistent environmental pollutants by a white rot fungus. *Science* 228, 1434-1436

Bumpus JA & Aust SD (1987a): Biodegradation of environmental pollutants by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *BioEssays* 6, 166-70

Bumpus JA & Aust SD (1987b): Biodegradation of chlorinated organic compounds by *Phanerochaete chrysosporium*. *ACS Symposium Series*, 338 Solving Hazardous Waste problems, 340-349

Bumpus JA & Aust SD (1987c): Biodegradation of DDT [1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane] by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 53, 2001-2008

Bumpus JA (1989): Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, 154-158

Bumpus JA, Powers RH & Sun T (1993): Biodegradation of DDE (1,1-dichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethene) by *Phanerochaete chrysosporium*. *Mycological Research* 97, 95-98

Burns RG (1978): Enzyme activity in soil: some theoretical and practical considerations. In: Burns (Hrsg.): *Soil Enzymes*. Academic press, London, New York, San Francisco

Cavaliere E & Rogan E (1985): Role of radical cations in aromatic hydrocarbon carcinogenesis. *Environ. Health perspectives* 64, 69-84

Cerniglia CE & Gibson DT (1980): Fungal oxidation of benz(a)pyrene and (+)-trans-7,8-dihydroxy-7,8-dihydro-benz(a)pyrene. *J. Biol. Chem.* 255, 5159-5163

Cerniglia CE (1984): Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Advances in Appl. Microbiol.* 30, 31-71

Chet I, Trojanowski J & Hüttermann A (1985): Decolorisation of the dye Poly B-411 and its correlation with lignin degradation by fungi. *MicrobiosLetters* 29, 37-43

Crawford RL (1981): *Lignin biodegradation and transformation*. John Wiley and Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto

Cripps C, Bumpus JA & Aust SD (1990): Biodegradation of azo and heterocyclic dyes by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 1114-1118

Cui F & Dolphin D (1990): The role of manganese in model system related to lignin biodegradation. *Holzforschung* 41, 279-283

Cui F & Dolphin D (1991): Veratryl alcohol as a mediator in lignin model compound biodegradation. *Holzforschung* 45, 31-35

Davis P & Burns RG (1990): Decolorization of phenolic effluents by soluble and immobilized phenol oxidases., *Appl. Environ. Microbiol.* 32, 721-726

Dec J, Shuttleworth KL & Bollag JM (1990): Microbial release of 2,4-Dichlorophenol bound to humic acid or incorporated during humification. *J. Environ. Quality* 19, 546-551

Dhawale SW, Dhawale SS & Deanross D (1992): Degradation of phenanthrene by *Phanerochaete chrysosporium* occurs under ligninolytic as well as nonligninolytic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 3000-3006

DIN 38 412 Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung. Normenausschuß Wasserwesen (NAW) im DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Hersg.). Teil 34 (Stand 1988): Bestimmung der Hemmwirkung von Abwasser auf die Lichtemission von *Photobacterium Phosphoreum*.

Din 51 527 Prüfung von Mineralölerzeugnissen, Normenausschuß Mineralöl- und Brennstoffnormung (NMP) im DIN, Deutsches Institut für Normung e.V., Berlin (Hersg.). Teil 1 (Stand 1987): Bestimmung von polychlorierten Biphenylen (PCB)

Doetsch P & Dreschmann P (1992): Verfahrensdokumente zur mikrobiologischen Bodenbehandlung (On- und Off-site-Verfahren). In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.1.0.0, Decker's Verlag, Heidelberg

Eaton DC (1985): Mineralization of polychlorinated biphenyls by *Phanerochaete chrysosporium*: a ligninolytic fungus. *Enzyme Microb. Technol.* 7, 194-196

Eichhorn J & Hüttermann A (1993): Humus disintegration and N-mineralisation. in press

Eilers A, Michels J & Gottschalk G (1993): Investigation on the metabolism of TNT by the white-rot fungus *Bjerkandera adusta*. *BioEngineering Sonderband März 1993* 233, 54

Elias JG & Neufeld RD (1988): Degradation of fluorene in soil by fungus. *Biotech. and Bioengineering* 33, 1306-1310

Erickson MD (1986): Analytical chemistry of PCBs. Butterworth Publisher, Boston

Farrell RL, Murtagh KE, Tien M, Mozuch MD & Kirk TK (1989): Physical and enzymatical properties of lignin peroxidase isoenzymes from *Phanerochaete chrysosporium*. *Enzyme Microb. Technol.* 11, 322-328

Fava F, Zappoli S, Marchetti L & Morselli L (1991): Biodegradation of chlorinated biphenyls (fenclor 42) in batch cultures with mixed and pure aerobic cultures. *Chemosphere* 22, 3-14

Fernando T, Aust SD & Bumpus JA (1989): Effects of culture parameters on DDT biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. *Chemosphere* 19, 1387-1398

Fernando T, Bumpus JA & Aust SD (1990): Biodegradation of TNT (trinitrotoluene) by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 1666-1671

Ferraro SP, Lee H, Smith LM, Ozretich RJ & Specht DT (1991): Accumulation Factors for 11 Polychlorinated Biphenyl Congeners. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 46, 276-283

Fiebig R, Schulze D, Erlemann P, Slawinski M & Dellweg H (1993): Microbial degradation of polychlorinated biphenyls in contaminated soil. *Biotech. Letters* 15, 93-98

Field JA, DeJong E, Costa GF & DeBont JAM (1992): Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons by new isolates of white rot fungi. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 2219-2226

Filip Z & Preusse T (1985): Phenoloxidierende Enzyme - ihre Eigenschaften und Wirkungen im Boden. *Pedobiologica* 28, 133-142

Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E (1993): Handbuch der Altlastensanierung. Deckers Verlag, Heidelberg

- Freudenberg K** (1965): Lignin: Its constitution and formation from hydroxy cinnamyl alcohols. *Science* 148, 595-600
- Fritsch G** (1988): Verfestigungsverfahren zur Altlastensanierung, vier Fallbespiele. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E. (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 5.4.2.1.3*, Decker's Verlag, Heidelberg
- Fukui H, Presnell TL, Joyce TW & Chang H** (1992): Dechlorination and detoxification of bleach plant effluent by *Phanerochaete chrysosporium*. *J. Biotech.* 24, 267-275
- Futoma DJ, Smith SR, Smith TE & Tanaka J** (1981): Polycyclic aromatic hydrocarbons in water systems. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Galeno G & Agosin E** (1990): Screening of white-rot fungi for efficient, decolourization of bleach pulp effluents. *Biotech., Letters* 12, 869-872
- George EJ & Neufeld RD** (1988): Degradation of fluorene in soil by fungus. *Biotech. and Bioengineering* 33, 1306-1310
- Gerhartz W** (Hrsg) (1986): *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (4. Aufl./Bd.9): S.323 ff. und S.504 ff., VCH-Verlag, Weinheim
- Gibson DT & Mahadevan V** (1975): Oxidation of the carcinogenic benz[a]pyrene and benz[a]anthracene to dihydrodiols by a bacterium. *Science* 189, 295-297
- Gläser E** (1988): Zweistufige Hochtemperaturbehandlungsanlage für organisch verunreinigte Böden - Fallbeispiel Züblin -. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E. (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.4.1.*, Decker's Verlag, Heidelberg
- Gläser E & Nußbaumer M** (1991): Technologien zur Reinigung kontaminierter Böden und deren Grenzen. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E. (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.0.3.*, Decker's Verlag, Heidelberg
- Glenn JK, Morgan MA, Mayfield MB, Kuwahara M & Gold MH** (1983): An extracellular H₂O₂ requiring enzyme preparation involved in lignin biodegradation by the white-rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Biochem. Biophys. Res. Comm.* 114, 1077-1083
- Goetz D, Holz C & Meyenburg G** (1993): Veränderung von Bodeneigenschaften durch thermische Behandlung bei 1000°C im Drehrohrofen. In: Arendt F, Annokke GJ, Bosman R & Vd Brink WJ (Herg.), *Altlastensanierung '93*, 877-886, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL
- Gold MH, Kutsuki H & Morgan M** (1983): Oxidative degradation of lignin by photochemical and chemical radical generating systems. *Photochem. Photobiological* 28, 647-651
- Gold MH, Kuwahara M, Chiu AA & Glenn J** (1984): Purification and characterisation of an extracellular H₂O₂-requirering diarylpropane oxygenase from the white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 234, 353-362
- Gottschalk G** (1986): *Bacterial metabolism*. Springer Verlag
- Grifoll M, Casellas M, Bayona JM & Solanas AM** (1992): Isolation and characterization of a fluorene-degrading bacterium - identification of ring oxidation and ring fission products. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 2910-2917

Gudehus G, Swinianski J & Würdemann H (1993): Biologische in-situ Sanierung kiesig-sandiger Gaswerksböden. In: Arendt F, Annokkee GJ, Bosman R & Vd Brink WJ (Hrsg.), Altlastensanierung '93, 1083-1090, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL

Haemmerli SD, Leisola MSA & Fiechter A (1986a): Polymerisation of lignins by ligninase from *Phanerochaete chrysosporium*. FEMS Microbiol. Lett. 35, 33-36

Haemmerli SD, Leisola MSA, Sanglard D & Fiechter A (1986b): Oxidation of Benzo(a)pyrene by extracellular ligninase of *Phanerochaete chrysosporium*. J. of Biological Chemistry 261, 6900-6903

Haider KM & Martin JP (1988): Mineralisation of ¹⁴C-labeled humic acids and humic-acid bound ¹⁴C-xenobiotics by *Phanerochaete chrysosporium*. Soil Biol. Biochem. 20, 425-429

Hallinger S, Ziegler W, Wallenöfer PR & Engelhardt G (1988): Verhalten von 3,4-Dichloranilin in wachsenden Pilzkulturen. Chemosphere 17, 543-550

Hammel KE, Tien M, Kalyanaraman B & Kirk TK (1985): Mechanism of oxidative C α -C β cleavage of a lignin model dimer by *Phanerochaete chrysosporium* ligninase. J. Biol. Chem. 260, 8348-53

Hammel KE, Kalyanaraman B & Kirk TK (1986): Oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons and Dibenzo(p)dioxins by *Phanerochaete chrysosporium* ligninase. J. of Biological Chemistry 261, 16948-16952

Hammel KE & Tardone J (1988): The oxidative 4-dechlorination of polychlorinated phenols is catalyzed by the extracellular fungal lignin peroxidase. Biochemistry 27, 6563-6568

Harvey J, Schoemaker HE & Palmer JM (1986): Veratryl alcohol as a mediator and the role of radical cations in lignin biodegradation by *Phanerochaete chrysosporium*. FEBS Letters 195, 242-245

Harvey J & Palmer JM (1990): Oxidation of phenolic compounds by ligninase. J. Biotech. 23, 169-79

Hatakka AI & Pirhonen TI (1985): Cultivation of wood-rotting fungi on agriculture lignocellulosic materials for production of crude protein. Agriculture Waste 12, 81-89

Hawari J, Demeter A & Samson R (1992): Sensitized photolysis of polychlorobiphenyls in alkaline 2-propanol - dechlorination of Aroclor 1254 in soil samples by solar radiation. Environ. Science & Technology 26, 2022-2027

Heitkamp MA, Franklin W & Cerniglia CE (1988a): Microbial metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons: Isolation and characterisation of a pyrene-degrading bacterium. Appl. and Environm. Microbiol. 54, 2549-2555

Heitkamp MA, Freeman JP, Miller DW & Cerniglia CE (1988b): Pyrene degradation by a mycobacterium sp.: Identification of ring oxidation and ring fission products. Applied and Environmental Microbiology 54, 2556-2565

Hickey WJ, Searles DB & Focht DD (1993): Enhanced Mineralisation of polychlorinated biphenyls in soil inoculated with chlorbenzoat-degrading bacteria. Applied and Environmental Microbiology 59, 1194-1200

Hoekstra EJ & Leer WB (1993): Natürliche Entstehung von chlorierten organischen Verbindungen im Boden. In: Arendt F, Annokkee GJ, Bosman R, Vd Brink WJ (Herg.), Altlastensanierung '93, 213-223, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL

- Holt CE, Gockel H & Hüttermann A** (1983): The mating system of *Fomes annosus* (*Heterobasidium Annosum*). European J. Forest Pathology 13, 174-181
- Hüttermann A & Trojanowski J** (1987): Ein Konzept für eine in-situ Sanierung von mit schwer abbaubaren Aromaten belasteten Böden durch Inkubation mit dafür geeigneten Weißfäulepilzen und Stroh. In: Franzius V (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte - 1986. Neue Verfahren zur Bodenreinigung. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis Bd 18, 205-218, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin.
- Hüttermann A, Trojanowski J & Loske D** (1988a): Verfahren zum Abbau schwer abbaubarer Aromaten in kontaminierten Böden bzw. Deponiestoffen mit Mikroorganismen. Patentschrift DE 3731816 C1.
- Hüttermann A, Loske D & Majcherczyk A** (1988b): Der Einsatz von Weißfäulepilzen bei der Sanierung besonders problematischer Altlasten. In: T.-Kozmiensky KJ: Altlasten 2. 713-726, EF-V., Berlin
- Hüttermann A, Majcherczyk A & Grothey V** (1989a): Verfahren zur Aufarbeitung von Stroh als Substrat für die Anzucht von Pilzkulturen. Patentschrift DE 3938659.7
- Hüttermann A, Loske D, Majcherczyk A & Zadrazil F** (1989b): Reclamation of PAH-contaminated soils with active fungus-straw-substrata. In: Thome-Kozmiensky KJ (Hrsg.): Recycling International Vol. 3., 2191-2199, EF-Verlag, Berlin
- Hüttermann A, Majcherczyk A, Zeddel A & Kelschbach M** (1992): Biologische Reinigung verseuchter Böden. BADK-Informationen 3/1992, 70-75 u. 4/1992, 95-101
- Hüttermann A, Majcherczyk A, Braun-Lüllemann A, Zeddel A, Milstein O, Fritsche W, Günther T, Chet I & Hadar Y** (1993): Sanierung von organisch belasteten Böden durch Mykorrhiza-Pilze. Zwischenbericht des Forschungsvorhabens.
- Huynh Van-Ba, Chang H, Joyce TW & Kirk TK** (1985): Dechlorination of chlor-organics by a white rot fungus, Tappi Journal 68, 98-102
- Jäger A, Croan P & Kirk TK** (1985): Production of ligninase and degradation of lignin in agitated submerged cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 50, 1274-1278
- Joshi DK & Gold MH** (1993): Degradation of 2,4,5-Trichlorphenol by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. and Environm. Microbiol. 59, 1779-1785
- Kästner M, Mahro B & Wienberg R** (1993): Biologischer Schadstoffabbau in kontaminierten Böden. Economica Verlag, Bonn
- Kahaziyevev FK & Gulko AY** (1990): Some properties of the humus peroxidase complex. Scripta Technica, Inc 1990 übersetzt von Pochvovedeniye 2, 30-36
- Katayama A, Uchida H & Kuwatsuka S** (1992): Degradation of white-rot fungi under nutrient-rich conditions. J. Pesticide science 17, 279-281
- Kelschbach M** (1991): Einfluß von Sauerstoff und Kohlendioxid auf das Wachstum und Xenobiotika-Abbau von Weißfäulepilzen. Diplomarbeit am Institut für Forstbotanik, Göttingen
- Kennedy DW, Aust SD & Bumpus JA** (1990): Comparative biodegradation of alkyl insecticides by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* (BKM-F-1767). Appl. Environ. Microbiol. 56, 2347-2353
- Kerem Z, Friesem D & Hadar Y** (1992): Lignocellulose degradation during solid-state fermentation: *Pleurotus ostreatus* versus *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 58, 1121-1127

- Kern HW** (1989): Improvement in the production of extracellular lignin peroxidase by *Phanerochaete chrysosporium*: Effect of solid manganese(IV)oxid. Appl. Microbiol. Biotech. 32, 223-234
- Kersten J, Kalyanaraman B, Hammel KE, Reinhammer B & Kirk TK** (1990): Comparison of lignin peroxidase, horseradish peroxidase and laccase in the oxidation of methoxybenzene. Biochem. J. 268, 475-480
- Keuth S & Rehm HJ** (1991): Biodegradation of phenanthrene by *Arthrobacter polychromogenes* isolated from a contaminated soil. Appl. Microbiol. Biotechnol. 34, 804-808
- Kharazipour R, Hüttermann A & Mayer F** (1992): Verfahren zur Gewinnung von phenoloxidierenden Enzymen aus Kulturen von Weißfäulepilzen. Patent P40 33246
- Kilger R** (1989) Verfahren zur Behandlung kontaminierter Böden -Überblick-. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K, & Brandt E. (Hrsg.): Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.0.1., Decker's Verlag, Heidelberg
- Kirk TK, Schultz E, Connors WJ, Lorenz LF & Zeikus JG** (1978): Influence of culture parameters on lignin metabolism by *Phanerochaete chrysosporium*. Archives Microbiol. 117, 277-285
- Kirk TK** (1981): Towards elucidating the mechanism of action of the lignolytic system in basidiomycetes. In: Alexander H. (Hrsg.): Trends in the biology of fermentation for fuels and chemicals. 131-148, Plenum press, New York
- Kirk TK & Farrall RL** (1987): Enzymatic 'combustion': The microbial degradation of lignin. Annu. Rev. Microbiol. 41, 465-505
- Kleijntjens RH, Meeder TA, Geerdink MJ & Luyben K** (1990): Entwurf eines Slurry-Prozesses zur biotechnologischen Altlastensanierung. In: Arendt F, Hinsenveld M & Vd Brink WJ (Hrsg.): Altlastensanierung '90, 1103-1105, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL
- Knackmuss HJ** (1991): Chemische Strukturen und biologische Abbaubarkeit. In: Behrens D., Wiesner J. (Hrsg.): Mikrobiologische Reinigung von Böden. 41-67, Dechema-Fachgespräche Umweltschutz, DECHEMA, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt a. M
- Koch R** (1989): Umweltchemikalien. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim
- Köhler A, Jäger A, Willershausen H & Graf H** (1988): Extracellular Ligninase of *Phanerochaete chrysosporium* Burd. has no role in the degradation of DDT. Appl. Microbiol. Biotech. 29, 618-620
- Kohler HPE, Kohler-Staub D & Focht DD** (1988): Cometabolism of polychlorinated biphenyls: Enhanced transformation of Arochlor 1254 by growing bacterial cells. Applied and Environmental Microbiology 54, 1940-1945
- Kondo R, Yamagami H & Sakai K** (1993): Xylosylation of phenolic hydroxyl group of the monomeric lignin model compound 4-Methylguacol and Vanillylalcohol by *Coriolus (Trametes) versicolor*. Applied and Environmental Microbiology 59, 438-441
- Korte F** (1980): Ökologische Chemie. Thieme Verlag Stuttgart
- Krengel-Rothensee K** (1993): PAH-Analytik von Bodenproben. BioEngineering 1, 13-18
- Kuwahara M, Glenn JK, Morgan MA & Gold M** (1984): Separation and characterisation of two extracellular H₂O₂-dependent oxidases from lignolytic cultures of *Phanerochaete chrysosporium*. FEBS 169, 247-250

Lackner R, Srebotnik E & Messner K (1991): Oxidative degradation of high molecular weight chlorlignin by manganese peroxidase of *Phanerochaete chrysosporium*. Biochem. and Biophys. Research Comm. 178, 1092-1098

Lamar RT & Dietrich DM (1990a): In situ depletion of pentachlorophenol from contaminated soil by *Phanerochaete* ssp. Appl. Environ. Microbiol. 56, 3093-3100

Lamar RT, Glaser JA & Kirk TK (1990b): Fate of PCP in sterile soils inoculated with white rot basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*: mineralisation, volatilization and depletion of PCP. Soil Biol. Biochem. 22, 433-440

Lamar RT, Larsen MJ & Kirk TK (1990c): Sensitivity to and degradation of pentachlorophenol by *Phanerochaete* spp. Appl. Environ. Microbiol. 56, 3519-3526

Lamar RT & Dietrich DM (1992): Use of lignin-degrading fungi in the disposal of pentachlorophenol-treated wood. J. Industrial Microbiol. 9, 181-191

Langer G (1991): Literatur- und Firmenrecherche zu Verfahren des Dioxinabbaus sowie weiterer aromatischer Kohlenwasserstoffe im Boden durch Weißfäulepilze. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Referat 51

Lawes BC (1991): Soil-induced decomposition of hydrogen peroxide. In: R. Hinchee (Hrsg.) In situ and On-Site Bioreclamation, Battelle Institute, Columbus, Ohio, 143-156

Leatham GF & Kirk TK (1983): Regulation of lignolytic activity by nutrient nitrogen in white-rot fungi. FEMS 16, 65-67

Leisola M & Fiechter A (1985): Ligninase production in agitated conditions by *Phanerochaete chrysosporium*. FEMS Microbiological Letters 29, 33-36

Lelley J (1991): Pilzanbau, Biotechnologie der Kulturspeisepilze. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

Leonowicz A, Lundell T, Rogalski J & Hatakka A. (1991): Demethylation and reduction of veratric acid by selected white rot fungi. Acta Microbiologica Polonica 40, 205-220

Lin JE & Wang HY (1990): Degradation kinetics of pentachlorophenol by *Phanerochaete chrysosporium*. Biotech. and Bioengineering 35, 1125-1134

Linko S & Haapla R (1993): A critical study of lignin peroxidase activity assay by veratryl alcohol oxidation. Biotech. Technique 7, 75-80

Liu D, Maguire RJ, Pacepavicius GJ & Nagy E (1992): Microbial degradation of polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic nitrogen heterocyclics. Environ. Toxicology and water quality 7, 355-372

Loehr RC, Rogers LA & Erickson DC (1992): Mobility of residues at petroleum industry hazardous waste land treatment sites. Water Science and Technology 25, 191-196

Loske D (1991): Abbau von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch Weißfäulepilze. Dissertation am Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fachbereich der Universität Göttingen

Lundquist K & Kirk TK (1978): De novo synthesis and decomposition of veratryl alcohol by a lignin-degrading basidiomycete. Phytochemistry 1676

- Mackeprang M, Schönwald I, Wagner I & Zarth M** (1993): Pilotversuch zur in-situ Oxidation von Propandiol im Boden. In: Arendt F, Annokke GJ, Bosman R & Vd Brink WJ (Herg.), Altlastensanierung '93, 1293-1301, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL
- Mahaffey WR, Gibson DT & Cerniglia CE** (1988): Bacterial oxidation of chemical carcinogens: Formation of polycyclic aromatic acids from benz[a]anthracene. *Appl. and Environm. Microbiol.* 54, 2415-2423
- Majcherczyk A, Brown-Lüllemann A & Hüttermann A** (1989): Biofiltration of polluted air by a complex filter based on white-rot fungi growing on lignocellulosic substrate. *Advances in biological treatment of lignocellulosic materials*, Elsevier Applied Science, London, 323-329
- Marco GJ & Novak RA** (1991): Natural product interactions during aniline metabolism including their incorporation in biopolymers. *J. of Agricultural and Food Chemistry* 39, 2101-2111
- Matzner E** (1984): Annual rates of deposition of PAH in long-term transported aerosols. *Water Air Soil Pollution* 21, 425-431
- McFarland MJ, Qiu XJ, Sims JL, Randolph ME & Sims RC** (1992): Remediation of petroleum impacted soils in fungal compost bioreactors. *Water Science Technol.* 25, 197-206
- Messner K, Jaklin-Farcher S, Ertler G & Blaha A** (1988): Entfärbung und Dechlorierung von Bleichereiabwässern durch *Phanerochaete chrysosporium* immobilisiert auf Schaumstoff. *Forum Mikrobiologie* 11, 492-497
- Michels J & Gottschalk G** (1993): The lignolytic system of *Phanerochaete chrysosporium* is inhibited by hydroxylamino-dinitrotoluene, an early intermediate in the degradation of 2,4,6-trinitrotoluol. *BioEngineering Sonderband März 1993*, 245, 56
- Mileski GJ, Bumpus JA, Jurek MA & Aust SD** (1988): Biodegradation of PCP by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 54, 2885-2889
- Milstein O, Nicklas B & Hüttermann A** (1989): Oxidation of aromatic compounds in organic solvents with laccase from *Trametes versicolor*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 31, 70-74
- Morgan P, Lewis T & Watkinson RJ** (1991): Comparison of ability of white-rot fungi to mineralize selected xenobiotic compounds. *Appl. Microbiol. Biotech.* 34, 693-696
- Morgan P, Lee SA, Lewis ST, Sheppard AN & Watkinson RJ** (1993): Growth and biodegradation by white-rot fungi inoculated into soil. *Soil Biology & Biochem.* 25, 279-287
- Motosugi K & Soda K** (1983): Microbial degradation of synthetic organochlorine compounds. *Experientia* 39, 1214-1220
- Mueller JG, Chapman PJ, Blattman BO & Prichard PH** (1990): Isolation and characterisation of a fluoranthene-utilizing strain of *Pseudomonas paucimobilis*. *Appl. and Environ. Microbiol.* 56, 1079-86
- Müller HW & Trösch W** (1986): Screening of white-rot fungi for biological pretreatment of white straw for biogas production. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 24, 180-185
- Müller W, Rohleder H, Klein W & Korte F** (1974): Modellstudie zur Abfallbeseitigung, Verhalten repräsentativer xenobiotischer Substanzen bei der Müllkompostierung. *GSF-Bericht Ö* 104
- Müller R & Lingens F** (1986): Mikrobieller Abbau halogenierter Kohlenwasserstoffe: Ein Beitrag zur Lösung vieler Umweltprobleme?, *Angew. Chemie* 98, 778-787

Muheim A, Waldner R, Leisola MSA & Fiechter A (1990): An extracellular aryl-alcohol oxidase from the white-rot fungus *Bjerkandera adusta*. *Enzyme Microbiol. Technol.* 12, 204-209

Naik BN & Rastogi SC.(1983): Induction of p-Diphenol Oxidase in a wood rotting white-rot and its action on industrial lignin wastes. *Geobios* 10, 218-222

Naumann K (1993): Chlorchemie der Natur. *Chemie in unserer Zeit* 1, 33-41

Neilson AH, Allard AS & Remberger M (1986): Biodegradation and transformation of recalcitrant compounds. In: Hutzinger O. (Hrsg.): *Handbook of Environmental chemistry*. Vol. 2, part C, 29-83, Springer Verlag, Berlin

Nicolls H (1991): Organic contaminants in soil and groundwater. In: Jones K.C. (Hrsg.): *Organic Contaminants in the Environment*, 83-132, Elsevier Applied Science, London, N. Y.

Öberg LG, Glas B, Swanson SE, Rappe C & Paul KG (1990): Peroxidase-catalyzed oxidation of chlorophenols to polychlorinated dibenzo-para-dioxins and dibenzofurans. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 19, 930-938

Odum EP (1980): *Grundlagen der Ökologie*. Thieme Verlag, Stuttgart, 113 u. 712

Otjen L & Blanchette R (1987): Assessment of 30 white rot basidiomycetes for selective lignin degradation. *Holzforschung* 41, 343-349

Palar H & Angershöfer D (1991): *Chemische Ökotoxikologie*. Springer-Verlag Berlin

Parson JR, Sijm DTHM, Laar Av & Hutzinger O (1988): Biodegradation of chlorinated biphenyls and benzoic acids by a *Pseudomonas* strain. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 29, 81-84

Paszczynski A, Van-Ba H & Crawford R (1986): Comparison of lignase-1 and peroxidase-M2 from the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. *Archives Biochem. Biophysics* 224, 750-765

Pelizzetti E, Minero C, Carlin V & Borgarello E (1992): Photocatalytic soil decontamination. *Chemosphere* 25, 343-351

Perez J & Jeffries TW (1992): Roles of manganese and organic acid chelators in regulating lignin degradation and biosynthesis of peroxidases by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Environ. Microbiol.* 58, 2402-2409

Peterson UGO (1988): On-site Bodensanierung mit dem OIL-CREP-System - Fallbeispiel Bodenwaschanlage. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E. (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 5.4.1.3.1.*, Decker's Verlag, Heidelberg

Platt MW, Hadar Y & Chet H (1984): Fungal activities involved in lignocellulose degradation by *Pleurotus*. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 20, 150-154

Pothuluri JV, Freeman JP, Evans FE & Cerniglia CE (1990): Fungal transformation of fluoranthene. *Appl. Environ. Microbiol.* 56, 2974-2983

Preiss U, Engelhardt G, Wallenöfer R & Mücke W (1987): Degradation of veratrylglycerol-b-PCP-ether. *Chemosphere* 16, 963-968

Riss A (1992): Vortragsprotokoll: Mikrobiologische On-Site und In-Situ Pilot-Versuche zur Sanierung des Altölraffineriestandortes Pintsch, Hanau. In: Behrens D & Wiesner J. (Hrsg.): *Mikrobiologische Reinigung*

von Böden. 134-153, Dechema-Fachgespräche Umweltschutz, DECHEMA, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt a. M.

Rogalski J & Leonowicz A (1992): *Phlebia-Radiata* laccase forms induced by veratric acid and xylydine in relation to lignin peroxidase and manganese-dependent peroxidase. *Acta Biotech.* 12, 213-221

Ruppe J (1991): Altlasten in den fünf neuen Bundesländern. In: Franzius V, Stegmann R, Wolf K & Brandt E (Hrsg.): *Handbuch der Altlastensanierung 1.4.1.1.*, Decker's Verlag, Heidelberg

Ryan TP & Bumpus JA (1989): Biodegradation of 2,4,5-trichlorphenoxyacetic acid in liquid culture and in soil by *Phanerochaete chrysosporium*. *Appl. Microb. Biotechnol.* 31, 302-307

Sack U, Günther T, Schade W & Fritsche W (1991): Screening von Pilzen auf die Fähigkeit zum Abbau polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK). In: Behrens D & Wiesner J (Hrsg.): *Mikrobiologische Reinigung von Böden.* 234-239, Dechema-Fachgespräche Umweltschutz, DECHEMA, Chemische Technik und Biotechnologie e.V., Frankfurt a. M

Sarkanen S, Razal RA, Piccariello T, Yamamoto E & Lewis N (1991): Lignin peroxidase: Toward a clarification of its role *in vivo*. *J. Biol. Chem.* 266, 3636-3643

Scheffer F & Schachtschabel P (1982): *Lehrbuch der Bodenkunde.* Enke Verlag, Stuttgart

Schocken MJ & Gibson DT (1984): Bacterial oxidation of polycyclic aromatic hydrocarbons acenaphthene and acenaphthylene. *Appl. and Environm. Microbiol.* 48, 10-16

Schoemaker HE, Harvey J, Bowen RM & Palmer JM (1985): On the mechanism of enzymatic lignin breakdown. *FEBS Letters* 183, 7- 12

Schoemaker HE, Tuor U, Muheim A, Schmidt WH & Leisola MSA (1991): White rot degradation of lignin and xenobiotics. In: Betts W.B. (Hrsg.): *Biodegradation: Natural and synthetic materials,* 157-174, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York

Schulte E & Malisch R (1983): Berechnung der wahren PCB-Gehalte in Umweltproben - I. Ermittlung der Zusammensetzung zweier technischer PCB-Gemische. *Fresenius Z. Anal. Chem.* 314, 545-551

Senesi N & Chen Y (1989): Interaction of toxic organic chemicals with humic substances. In: Gerstl Z., Chen Y., Mingelgrin U., Yaron B. (Hrsg.): *Toxic organic chemicals in porous media.* Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York

Shimada M & Higuchi T (1983): Biochemical aspects of the secondary metabolism of xenobiotic lignin and veratrylalcohol biosynthesis in *Phanerochaete chrysosporium*. In: *Recent advances in Lignin Biodegradation Research,* Uni Publishing, Tokio

Shimazono H, Kinjo K, Nishimura H & Kawachi S (1978): Transformation of aromatic acids by wood destroying fungi. *Mokuzai Gakkaishi* 24, 837-840

Sjoblad RD & Bollag JM (1981): Oxidative coupling of aromatic compounds by enzymes from soil microorganism. In: Paul EA & Ladd JN (Hrsg.): *Soil Biochem.* Vol.5, Marcel Dekker Inc., NY, Basel

Soczó ER & Staps JJM (1988): Biologische Bodenbehandlungsverfahren in den Niederlanden. In: Wolf K, vd Brink WJ & Colon FJ (Hrsg.): *Altlastensanierung '88.* 681-688, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL

Steilen N, Heinkele T, Reinecke W, Necker U, Odensaß M & Willershausen KH (1993): Ergebnisse von Feldversuchen zur Behandlung eines PAK-belasteten Gaswerkbodens mit verschiedenen mikrobiologischen Mietenverfahren. *Altlasten-Spektrum* 3, 152-163

- Stevenson FJ** (1982): Humus chemistry, Genesis, Composition, Reaktionen. John Wiley Publ., NY
- Stiebler M, Böckle K, Werner P & Frimmel H** (1990): Abbauverhalten von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) im Untergrund. In: Arendt F, Hinsenveld M & Vd Brink WJ (Hrsg.): Altlastensanierung '90, 551-557, Kluwer Academic Pub., Dordrecht NL
- Stottmeister U** (1993): Leistungsfähigkeit und Grenzen mikrobiologischer Altlastensanierung. In: Arendt F, Annokkee GJ, Bosman R, Vd Brink WJ (Hrsg.): Altlastensanierung '93, 1241-1249, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht NL
- Stroh R & Hahn W** (1962): Herstellung von Chlorverbindungen. In: Müller E (Hrsg): Methoden der organischen Chemie (Houben-Weyl), Bd.V/3, 516ff., Thieme Verlag, Stuttgart
- Stucki G & Alexander M** (1987): Role of dissolution rate and solubility in biodegradation of aromatic compounds. Appl. and Environm. Microbiol. 53, 292-297
- Subhaschandra S, Reddy MR & Reddy GVN** (1993): Laboratory studies on the comparative biodegradation of paddy straw with certain bacterial and fungal treatments on chemical composition and in vitro dry-matter digestibility. Indian Journal of Animal Sciences 63, 94-97
- Suflita JM & Bollag JM** (1981): Polymerisation of phenolic compounds by a soil-enzyme complex. Soil Sci. Soc. Am. J. 45, 297-302
- Sutherland JB, Selby AL, Freeman JP, Evans FE & Cerniglia CE** (1991): Metabolism of phenanthrene by *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 57, 3310-3316
- Thomas DR, Carswell K & Georgiou G** (1992): Mineralization of biphenyl and PCBs by the white rot fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Biotech. and Bioengineering 40, 1395-1402
- Thomas AO & Lester JN** (1993): The microbial remediation of former gaswork sites: A review. Environ. Technology 14, 1-24
- Thomanetz E** (1992): Altlasten und Abfälle analysieren: Weder repräsentativ noch justiziabel. Chemische Industrie 5, 49-50
- Tien M & Kirk TK** (1983): Lignin-degrading enzyme from the hymenomycete *Phanerochaete chrysosporium* Burds. Science 221, 661-663
- Tien M & Kirk TK** (1984): Lignin-degrading enzyme from *Phanerochaete chrysosporium*: purification, characterisation and catalytical properties of a unique H₂O₂-requiring oxygenase. Roc. Nat. Acad. Science USA 81, 2280-2284
- Tien M** (1987): Properties of ligninase from *Phanerochaete chrysosporium* and possible applications. CRC Critical Reviews in Microbiol. 15, 141-167
- Tonon F, Decastro CP & Odier E** (1990): Nitrogen and carbon regulation of lignin peroxidase and enzymes of nitrogen metabolism in *Phanerochaete chrysosporium*. Experiment. Mycol. 14, 243-254
- Trojanowski J & Hüttermann A** (1987): Screening of wood inhabiting fungi for their capacity to degrade and to solubilize carbon-14-labeled lignin. Microbios 50, 91-97
- Unterman RD et al.** (1988): In research and development program for the destruction of PCBs, seventh progress report (General Electric Company corporate research and development center, Schenectady), NY, 7-15, zitiert nach BEDARD 1990

- Valli K & Gold MH** (1991): Degradation of 2,4-Dichlorphenol by the lignin-degrading fungus *Phanerochaete chrysosporium*. J. of Bacteriology 173, 345-352
- Valli K, Brock B, Joshi DK & Gold MH** (1992a): Degradation of 2,4-dinitrotoluene by the lignin-degrading fungus *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 58, 221-228
- Valli K, Wariishi H & Gold MH** (1992b): Degradation of 2,7-dichlorodibenzo-p-dioxin by the lignin degrading basidiomycet *Phanerochaete chrysosporium*. J. of Bacteriology 174, 2131-2137
- Van Lidth de Jeude J.W.** (1983): Leidraad Bodemsanering, Staatuitgeverij, S-Gravenhage
- Viney I & Bewley RJF** (1990): Preliminary studies on the development of a microbiological treatment for polychlorinated biphenyls. Arch. of Contamination Toxicology 19, 789-796
- Voogt D, Wells DE, Reuthergardh L & Brinkman UAT** (1990): Biological activity, determination and occurrence of planar, mono- and di-ortho PCBs, Review. Intern. J. Environ. Analy. Chem. 40, 1-46
- Waldner R, Leisola MS & Fiechter A** (1988): Comparison of lignolytic activities of selected white rot fungi. Appl. Microb. Biotechnol. 29, 400-407
- Walter, Weißenfels WD, Klewer HJ & Berger F** (1993): Mikrobielle Abbaubarkeit und Biotoxizität von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Böden. BioEngineering 4, 29-34
- Weingarten H** (1961): Chlorination of Biphenyl. J. Org. Chem. 36, 4347-4350
- Weissenfeld WD, Beyer M & Klein J** (1990): Degradation of phenanthrene, fluorene and fluoranthene by pure bacterial cultures. Appl. Microbiol. Biotechnol. 32, 479-484
- Werther J & Wilichowski M** (1991): Wirksamkeit von Verfahren zur Auswaschung von Mineralölverunreinigungen. In: Wilderer A & Kaballo HP (Hrsg.): Behandlung kontaminierter Böden, 61-85, Berichte aus Wassergüte- und Abfallwirtschaft 108, TU München
- Wittlinger R & Ballschmitter K** (1987): Global baseline pollution studies XI: Congener specific determination of polychlorinated biphenyls (PCB) and occurrence of alpha- and gamma-Hexachlorcyclohexane, 4,4'-DDE and 4,4'-DDT in continental air. Chemosphere 16, 2497-2513
- Yadav JS & Reddy CA** (1992): Non-involvement of lignin peroxidase and manganese peroxidase in 2,4,5-trichlorophenoxyacetic acid degradation by *Phanerochaete chrysosporium*. Biotechnol. Letters 14, 1089-1092
- Yadav JS & Reddy CA** (1993): Degradation of benzene, toluene, ethylbenzene, and xylenes by the lignin-degrading basidiomycete *Phanerochaete chrysosporium*. Appl. Environ. Microbiol. 59, 756-762
- Zadrazil F** (1978): Umwandlung von Pflanzenabfall in Tierfutter durch höhere Pilze. Mushroom Science 10, 231-241
- Zadrazil F** (1985): Screening of fungi for lignin decomposition and conversion of straw into feed. Angew. Botanik 59, 433-452
- Zahner M** (1989): Polycyclic aromatic and heteroaromatic hydrocarbons. In: Hutzinger O. (Hrsg.): The Handbook of Environmental Chemistry., Vol 3 Part A, 109 ff., Springer Verlag Berlin
- Zeddel A** (1987): Der Abbau chlorierter Benzoessäuren durch den Weißfäulepilz *Phanerochaete chrysosporium*. Diplomarbeit am Institut für ökologische Chemie und Geochemie der Universität Bayreuth