

Ergänzung III zum Buch *Rachel Carson. Pionierin der Umweltbewegung. Eine Biographie*, von Dieter Steiner. oekom, München 2014

»Elixiere des Todes«*

Pestizide vor der Zeit und zur Zeit von Rachel Carson

1 Klassifikation von Pestiziden

Pestizide sind Chemikalien, deren Aufgabe es ist, in der Land- oder Forstwirtschaft auftretende sogenannte Schädlinge oder im Gesundheitswesen Probleme verursachende Krankheitsüberträger (Vektoren) zu eliminieren. Je nach Zielorganismen werden, wie die nachfolgende Tabelle zeigt, verschiedene Arten von Pestiziden unterschieden. Die wichtigsten sind aber die Insektizide, die Herbizide und die Fungizide, und häufig sind dies in statistischen Angaben die einzigen Kategorien, die ausgewiesen werden. Die FAO unterscheidet in ihren statistischen Angaben (FAOSTAT) Insektizide, Herbizide, Fungizide plus Bakterizide und Rodentizide.

Tabelle: Bezeichnungen für verschiedene Arten von Pestiziden

Bezeichnung	Zielorganismen
Akarizid (auch Mitizid)	Milben
Algizid	Algen
Aphizid	Blattläuse
Avizid	Vögel
Bakterizid	Bakterien
Fungizid	Pilze
Herbizid	Pflanzen
Insektizid	Insekten
Molluskizid	Schnecken
Nematizid	Fadenwürmer
Rodentizid	Nagetiere
Virizid	Viren

* Titel von Kapitel 3 in Rachel Carsons *Der stumme Frühling*.

Zum Teil wird ein Unterschied gemacht zwischen Pestiziden und Bioziden. Die ersteren betreffen dann in der Land- und Forstwirtschaft eingesetzte Pflanzenschutzmittel, die letzteren außerhalb davon zum Schutz anderer Produkte oder direkt des Menschen verwendete Substanzen. In diesem Fall werden Rodentizide und Insektizide, wie sie z.B. in der Malaria-bekämpfung gebraucht werden, dazu gezählt. Außerdem gehören dann auch Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel usw. dazu. Rachel Carson war der Meinung, der Begriff »Biozide« sollte für alle Chemikalien, die »Töter des Lebens« sind, verwendet werden (vgl. B 249).

2 Naturstoffe und anorganische synthetische Pestizide

Bis zur Zeit des Zweiten Weltkriegs, zum Teil auch nach ihm noch, wurden verschiedene Arten von anorganischen und organischen Naturstoffen als Schädlingsbekämpfungsmittel eingesetzt. Die wichtigsten werden in der folgenden Zusammenstellung dargestellt.

2.1 Anorganische Chemikalien

Seit langem bekannt ist die giftige Wirkung von Arsen, chemische Abkürzung As. Es kommt in der Natur meist nicht in reiner, sog. gediegener Form vor, sondern als Verbindung der einen oder anderen Art, häufig als Verunreinigung von Metallerzen. Auch für seinen Einsatz als Insektizid dienen Verbindungen.

Kupfer(II)-arsenitacetat: $C_4H_6As_6Cu_4O_{16}$. Bekannt als Pariser Grün, weil diese Chemikalie auch als Farbpigment verwendet wurde. Sie ist ein Doppelsalz, das Kupfer, Arsen und das Anion der Essigsäure enthält. Es wurde im späteren 19. Jahrhundert in den USA zur Bekämpfung des Kartoffelkäfers und zum Teil auch anderer Schädlinge verwendet. Um 1890 wurde es durch das wirksamere Bleiarsenat ersetzt. In Brasilien diente es aber noch in den späteren 1920er Jahren zur Bekämpfung der Malaria-Mücken.

Bleiarsenat, genauer Bleihydrogenarsenat: $PbHAsO_4$. Diese Verbindung diente als Insektizid vor allem gegen den Kartoffelkäfer, den Apfelwickler und den Schwammspinner. Auch im Weinbau fand sie Anwendung. Mit dem Aufkommen von DDT nach dem Zweiten Weltkrieg kam sie immer weniger zum Einsatz.

Calciumarsenat: $Ca_3As_2O_8$. Auch Kalkarsenat genannt. Dessen Wirksamkeit wurde 1918 entdeckt und diente danach zur Bekämpfung des Baumwollkapselkäfers. Die Baumwollfelder im Süden der USA wurden über Jahrzehnte hinweg so intensiv behandelt, dass die Honigbienen stark dezimiert wurden. Das Calciumarsenat ist wie das Bleiarsenat oben sehr wirksam, aber für alle Lebewesen giftig. Auf der Suche nach Alternativen kam deshalb das DDT nach dem Zweiten Weltkrieg wie gerufen.

Kupfer(II)-sulfat: $CuSO_4$. Diese Chemikalie wurde schon früh im 19. Jahrhundert als Fungizid, später dann auch als Herbizid verwendet. Es findet mangels Alternativen heute noch im Biolandbau Verwendung.

Kupfer(II)-arsenit: $\text{Cu}_3\text{As}_2\text{O}_6$. Auch diese Verbindung fand Verwendung als Farbpigment und heißt deshalb u.a. auch Schwedischgrün. Sie wurde aber eine Zeitlang auch zur Bekämpfung von Malaria-Mücken eingesetzt.

Bordeaux-Brühe: Mischung von Kupfer(II)-sulfat, CuSO_4 , und Kalziumhydroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sie wurde als Fungizid verwendet, vor allem zur Bekämpfung des Falschen Mehltaus im Weinbau.

Thalliumsulfat: Tl_2SO_4 . Diese Chemikalie, Mitte der 1970er Jahre verboten, wurde hauptsächlich als Insektizid und Rodentizid eingesetzt. Sie bildet farblose und geschmacks- und geruchsneutrale Kristalle und ist hochgiftig, was ihr fragwürdigen Ruhm für Morde und Selbstmorde verschaffte.

Schwefel: S. Eines der ältesten und bekanntesten Pflanzenschutzmittel, das heute noch verwendet wird, auch im Biolandbau. Er wird in der Form von sog. Netzschwefel verwendet. Das ist fein vermahlener Schwefel vermischt mit einem Netzmittel, das gut wasserlöslich ist. So kann er als Fungizid gegen Schorf und echten Mehltau oder als Akarizid gegen Milben gespritzt werden. Die Giftwirkung ergibt sich aus der Bildung von Schwefeldioxid (SO_2) an der Pflanzenoberfläche. Im Pflanzenschutz wird der Schwefel in Form von Netzschwefel benutzt. Netzschwefel ist ungefährlich für Bienen, nicht aber für Marienkäfer und nützliche Raubwanzen und Raubmilben.

Kalksulfat: CASO_4 . Auch Schwefelkalk genannt. Wird im Pflanzenschutz als Fungizid, Insektizid und Akarizid angewendet.

2.2 Pflanzliche Chemikalien

Rotenon: $\text{C}_{23}\text{H}_{22}\text{O}_6$. Dies ist ein altbekannter, von Indigenen zum Fischfang und als Pfeilgift verwendeter pflanzlicher Stoff. Er wird aus der Wurzel von tropischen und subtropischen Hülsenfrüchtlern gewonnen: Aus dem Barbasco (*Deguelia utilis*) und der *Tephrosia toxicaria* in Süd- und Mittelamerika und der Tubawurzel (»tuba root«, *Derris elliptica*) in Südostasien und dem Südwest-Pazifik. Rotenon findet auch heute noch Verwendung als Insektizid und Akarizid, auch im Biolandbau.

Pyrethrum: Wird aus den getrockneten Blütenköpfchen von verschiedenen Chrysanthemen-Arten, insbesondere der auf dem Balkan heimischen dalmatinischen Insektenblume (»Dalmatian insect flower«, *Chrysanthemum cinerariifolium*) und der im Vorderen Orient heimischen kaukasischen Insektenblume (»Caucasian insect powder plant« oder »Persian insect flower«, *Chrysanthemum coccineum*) durch Zermahlen oder durch Extraktion mittels Lösungsmitteln gewonnen. Pyrethrum war schon im alten Rom als Insektengift bekannt und wurde gegen Flöhe und Läuse gebraucht. Es hat auf alle Insektenarten beim Kontakt eine neurotoxische Wirkung, und ist auch für Fische giftig. Das Pyrethrum ist eine Mischung aus verschiedenen Wirkstoffen, den Pyrethrinen. Diese können auch einzeln isoliert werden, z.B. Pyrethrin I: $\text{C}_{21}\text{H}_{28}\text{O}_3$, und Pyrethrin II: $\text{C}_{22}\text{H}_{28}\text{O}_5$. Zu Beginn des Zweiten

Weltkrieges war Pyrethrum in den USA noch ein wichtiges Pflanzenschutzmittel und es spielte mit deren Eintritt auch beim Militär als Insektizid zur Vermeidung von durch Insekten übertragene Krankheiten eine wesentliche Rolle. Im Jahre 1939 importierten die USA 13,5 Millionen Pfund Pyrethrum aus Kenia und Japan. Mit fortschreitendem Kriegesgeschehen aber versagten diese Quellen und Pyrethrum wurde knapp. Da kam DDT, das neue »Wundermittel,« sehr gelegen. Pyrethrine werden auch heute noch verwendet, auch im Biolandbau. Seit 1949 gibt es in Anlehnung an die Pyrethrine synthetisch hergestellte Pyrethroide, die billiger und wirksamer sind.

Nikotin: $C_{10}H_{14}N_2$. Wird aus Tabakblättern extrahiert. Reines Nikotin wurde früher als Insektizid z.B. gegen Blattläuse eingesetzt. Die Pflanzen vertragen diesen Stoff gut, auch ist er gut biologisch abbaubar. Aber er ist hochgiftig und seit den 1970er Jahren ist z.B. in Deutschland seine Anwendung verboten. Dasselbe gilt für das ebenso giftige Nikotinsulfat: $2(C_{10}H_{14}N_2)H_2SO_4$. Die Chemikalie wird aber weiterhin in China und Indien produziert und kann über das Internet bezogen werden. Seither sind als Ersatz synthetische Neonicotinoide entwickelt worden, die mit dem Bienensterben in Verbindung gebracht werden (vgl. VI, 47 ff.).

3 Synthetische organische Chemikalien

Zur Zeit von Rachel Carsons *Der stumme Frühling* standen zwei große Gruppen von Pestiziden im Vordergrund: Die Chlorkohlenwasserstoffe oder chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW, englisch: »chlorinated hydrocarbons« oder »organochlorines«) einerseits und die Organosphosphate oder organischen Phosphate (OP, englisch: »organophosphates«) andererseits. Daneben spielten Carbamate noch eine gewisse Rolle. Gelegentlich sind die CKWs als Pestizide der ersten und die OPs und die Carbamate als Pestizide der zweiten Generation bezeichnet worden.

3.1 Chlorkohlenwasserstoffe (CKW)

Alle organischen Verbindungen bauen auf der Basis von Kohlenwasserstoffen (KW) auf, d.h. auf Zusammensetzungen von Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H). Das einfachste KW-Molekül umfasst ein mit vier H-Atomen verbundenes C-Atom und heißt Methan. Kompliziertere KW-Moleküle bestehen aus mehreren C-Atomen, die dann ein Gerüst in Form von Ketten oder Ringen bilden. Ein besonderes Beispiel ist das Benzol, das aus sechs ringförmig angeordneten C-Atomen besteht, an die je ein H-Atom angelagert ist (C_6H_6). Dieser Benzolring ist berühmt, weil er angeblich 1865 dem Chemiker August Kekulé im Traum erschien, nachdem man sich lange über die richtige Struktur des Moleküls den Kopf zerbrochen hatte. Die chlorierten Kohlenwasserstoffe oder kurz CKWs können als vom Benzol i.w.S. abgeleitete Stoffe betrachtet werden: Sie entstehen durch die Substitution von einem oder mehreren H-Atomen durch Chlor (Cl) oder auch ganze chemische Gruppen.

Die Menge der ersetzten Atome wie auch deren Position wirkt sich auf die Eigenschaften der Stoffe aus. Neben ihrer Verwendung als Wirkstoffe zur Schädlingsbekämpfung werden CKWs auch als Lösungsmittel, als Ausgangsprodukte für Kunststoffe, als Holzschutzmittel, als Flammschutzmittel und als Isoliermittel gebraucht.

Das bekannteste Pestizid aus der CKW-Familie ist das 1939 entdeckte DDT (voller Name: Dichlordiphenyltrichlorethan, Summenformel: $C_{14}H_5Cl_5$), das schon während des Zweiten Weltkrieges beim amerikanischen Militär als Insektizid Anwendung fand. Nach dem Krieg erhielt das DDT sukzessive eine vielfältige Verwandtschaft, die, in alphabetischer Reihenfolge, die folgenden Wirkstoffe umfasste: Aldrin ($C_{12}H_8Cl_6$), Chlordan ($C_{10}H_6Cl_8$), DDD ($C_{14}H_{10}Cl_4$), Dieldrin ($C_{12}H_8Cl_6O$), Endosulfan ($C_9H_6Cl_6O_3S$), Endrin ($C_{12}H_8Cl_6O$), Heptachlor ($C_{10}H_5Cl_7$), Hexachlorbenzol (C_6Cl_6), Lindan ($C_6H_6Cl_6$), Mirex ($C_{10}Cl$) und Toxaphen ($C_{10}H_{10}Cl_8$). Diese Stoffen fanden Anwendung als Insektizide, alle außer Hexachlorbenzol, das als Fungizid Einsatz fand. Endrin wurde auch als Rodentizid gebraucht. Das Aldrin wird im Boden und im menschlichen Körper zu Dieldrin abgebaut.

Die akute Giftigkeit der CKWs ist für den Menschen – wie auch für die größeren Säugetiere – im Allgemeinen relativ gering. Deshalb war es möglich, während des Zweiten Weltkrieges die Soldaten zwecks Lausbekämpfung mit DDT-Pulver einzupudern. Dieldrin allerdings, dessen Wirksamkeit etwa das Fünffache von DDT beträgt, kann nach Aufnahme über die Haut zu akuten Vergiftungserscheinungen führen. Das Hauptproblem mit den CKW besteht aber darin, dass sie sich durch eine hohe Stabilität oder Persistenz auszeichnen, d.h. sie werden nur langsam abgebaut und haben deshalb die Tendenz überall in der Umwelt liegen zu bleiben. Für DDT zum Beispiel wird mit einer mittleren Persistenz von ca. 10 Jahren gerechnet.

Die CKW können bei Wirbellosen, z.B. Krebstieren, und bei Fischen zu akuten Vergiftungen führen. Für kleinere Vogelarten gilt wohl dasselbe; für andere aber, insbesondere für die Greifvögel ist bekannt, dass sie sich vergiften, weil sie sich am Ende einer Nahrungskette befinden (s.u.). Die CKW sind nämlich fettlöslich und reichern sich damit in den Fettgeweben von Organismen an. Von hier aus können sie chronische Vergiftungen der Leber, der Nieren und des Zentralnervensystems bewirken. Verschiedentlich ist z.B. DDT auch in der Muttermilch nachgewiesen worden. Ein Folgeproblem dieser Speicherung ergibt sich nun aber aus dieser Speicherung, indem es bei Lebewesen, die eine Nahrungskette bilden, zu wachsenden Akkumulationen kommen kann (vgl. B 266 ff.). Die Tiere am Ende der Kette erleiden dann tödlich wirkende Vergiftungen oder sie erleiden sich auf die Fortpflanzungsfähigkeit auswirkenden hormonale Störungen. Besonders bekannt geworden ist die bei Greifvögeln als Folge eines bei den Muttertieren abwegigen Kalzium-Haushaltes beobachtete Zerbrechlichkeit der Eier.

Benzol ist für den Menschen nachgewiesenermaßen krebserregend, während der diesbezügliche Status für CKW-Pestizide unsicher ist. Es scheint, dass sie alleine keine Tumore hervorrufen, dass sie aber karzinogene Wirkungen anderer Stoffe verstärken können. Der

genannten Probleme wegen ist die Anwendung der CKWs in den meisten Industrieländern in den 1970er oder frühen 1980er Jahren verboten worden. Sie wurden aber weiterhin produziert und in die Länder des Südens exportiert. Bei der Stockholmer Konvention von 2001 wurde beschlossen, die CKW weltweit aus dem Verkehr zu ziehen oder aber sie nur noch in absoluten Notsituationen zu verwenden (s.d.). In China und Indien gibt es aber weiter existierende Produktionsstätten.

Berüchtigt unter diesen Giften ist das Endrin, dessen zungenbrecherische chemische Bezeichnung, »Hexachlorepoxyoctahydroendodimethanonaphtalin,« das Unheil schon ahnen lässt. Es ist fünf Mal so giftig wie Dieldrin, für Säugetiere 15 Mal, für Fische 30 Mal und für manche Vögel um die 300 Mal so giftig wie DDT – im Vergleich ist dieses somit fast ein harmloser Stoff.

Eine spezielle Gruppe von CKWs stellen die Phenoxy Säuren dar, die als Herbizide eingesetzt werden, insbesondere zur Unkrautvernichtung beim Getreideanbau. Ihr chemischer Grundkörper umfasst eine an einen Benzolring angelagerte Struktur der Form $O-CH_2-COOH$, wobei beim Benzol dann wiederum einige der H- durch Cl-Atome ersetzt sind. Bekannt sind die 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (abgekürzt 2,4-D) und die 2,4,5-Trichlorphenoxypropionsäure (2,4,5-T). Diese Chemikalien wirken als Wuchsstoffe, so dass sich die Pflanzen gewissermaßen tot wachsen. Für den Menschen ist die akute Giftigkeit gering; hohe Dosen können allerdings neuropathologische Erscheinungen (Erbrechen, Muskelschwäche, Steigerung der Herzfrequenz u.a.) hervorrufen. Eine wiederholte Exposition über lange Zeiträume kann zu Erbgutschäden und möglicherweise auch zu Krebs führen. Säugetiere reagieren verschieden empfindlich auf diese Stoffe.

Eine unrühmliche Bekanntheit haben 2,4-D und 2,4,5-T im Zusammenhang mit dem Vietnam-Krieg erlangt. Dort wurde im Zeitraum von 1961 bis 1969 von den USA eine als »Agent Orange« bezeichnete Mischung in hohen Dosen auf Wälder versprüht mit dem Ziel, diese zu entlauben und dem Vietcong damit Versteckmöglichkeiten zu nehmen (vgl. VI 64 ff.). Diese Praxis hat langanhaltende Verwüstungen angerichtet. Außerdem leiden Teile der vietnamesischen Bevölkerung und auch amerikanische Vietnam-Veteranen unter Spätschäden, die mit dem Dioxin zusammenhängen, das in diesem Entlaubungsmittel als Verunreinigung in größeren Mengen als sonst üblich vorkam.

3.2 Organophosphate (OP)

Bei den OPs handelt es sich chemisch gesehen um Phosphorsäureester. Ester sind eine Klasse von chemischen Stoffen, die aus der Reaktion von Säuren mit Alkoholen unter Abspaltung von Wasser entstehen. Sie werden als Insektizide zum Pflanzenschutz, daneben auch zur Malariabekämpfung und in der Veterinärmedizin gegen Parasiten eingesetzt. Während des Zweiten Weltkrieges wurden solche Chemikalien auch für die Entwicklung von tödlichen Nervengasen verwendet.

Im Gegensatz zu den CKWs sind die OPs biologisch abbaubar und werden nicht in den Fettgeweben von Organismen gespeichert. Damit ist ihre Giftwirkung, die sich beim Menschen über die Haut, die Atem- oder die Verdauungsorgane bemerkbar machen kann, kurzlebiger, aber ausgesprochen stark akut. Die Weiterleitung von Nervenimpulsen wird gestört, und als Vergiftungssymptome treten Nervosität, Angst, langsame Herzstätigkeit, Kreislaufkollaps, Krampfstände und Atemlähmung auf. Im Zusammenwirken von verschiedenen Pestiziden kann sich die Toxizität von Organophosphaten außerdem um ein Vielfaches erhöhen. Es wird vermutet, dass einige dieser Stoffe das Erbgut verändern und krebsauslösend sein können. Sie sind für alle Tierarten giftig, womit bei einem Einsatz zur Bekämpfung von Schadinsekten auch die Nützlinge vernichtet werden. Die Folge kann eine Massenvermehrung von Schädlingen sein. Singvögel können auch über die Aufnahme von vergifteten Insekten geschädigt werden.

OP-Insektizide gib es eine ganze Reihe. Am bekanntesten sind wohl Malathion ($C_{10}H_{16}O_{11}PS_2$) und Parathion ($C_{10}H_{14}NO_5PS$); diese zwei standen auch zur Zeit von Rachel Carson im Vordergrund. Parathion wurde 1940 von der Firma IG Farben in Deutschland erstmals hergestellt. Diese wurde nach dem Krieg vom Alliierten Kontrollrat aufgelöst. Das Patent aber wurde übernommen und Parathion längere Zeit unter verschiedenen Handelsnamen in alle Welt verkauft. In Deutschland war es als E605 bekannt. Es wurde als Insektizid zur Behandlung von Baumwolle, Reis und Obstbäumen benutzt.

Wegen seiner extremen Giftigkeit – es ist 20 Mal giftiger als DDT – ist Parathion in der Zwischenzeit vielerorts verboten worden, in den EU-Ländern im Jahre 2001. Malathion scheint für den Menschen weniger giftig zu sein. Es wurde in den frühen 1980er Jahren in Kalifornien in Form von einer großflächigen Besprühung aus der Luft zur Bekämpfung der den Obstbau gefährdenden Mittelmeerfruchtfliege eingesetzt. Ende der 1990er Jahre gab es eine gegen die das West-Nil-Virus übertragenden Moskitos gerichtete ausgedehnte Malathion-Sprühkampagne über New York. Die Folge war ein großes Hummersterben in den Küstengewässern. In Deutschland, Österreich und der Schweiz ist Malathion nicht als Pflanzenschutzmittel zugelassen.

3.3 Carbamate

Carbamate (englisch: carbamates«) sind Salze und Ester der Carbamidsäuren. Sie werden seit den 1950er Jahren als Fungizide, Insektizide und Herbizide in der Landwirtschaft eingesetzt. Beispiele sind das Insektizid Carbaryl (1-Naphthylmethylcarbam, $C_{12}H_{11}NO_2$, das kommerzielle Produkt bekannt unter dem Namen »Sevin«), das Insektizid und Nematizid Aldicarb ($C_7H_{14}N_2O_2S$) und das Fungizid Zineb (Zink-äthylen-bisdithiocarbamat, $C_4H_6N_2S_4Zn$). Carbaryl war 1956 das erste kommerziell vertriebene Carbamat.

Man kann sagen, in den Carbamaten verkörpere sich das Beste und das Schlimmste der beiden anderen Arten von Pestiziden: Wie die OPs greifen sie das Nervensystem von Insek-

ten an und wie die CKWs weisen sie für Säugetiere eine geringe akute Toxizität auf, werden aber im Gegensatz zu diesen im Organismus rasch abgebaut. Allerdings ist das Abbauprodukt Ethylenthioharnstoff (ETU), das in der Nahrung und in Kulturböden vorkommt, gesundheitsgefährdend. Die Persistenz in der Umwelt beträgt eine bis zwölf Wochen. Als Insektizide erfasst ihre Wirkung, ähnlich wie das DDT, ein breites Spektrum, d.h. es werden nicht nur die Schädlinge, sondern auch die Nützlinge vernichtet. Einige der Carbamate haben karzinogene, andere umgekehrt eine zytostatische, d.h. zellteilungshemmende Wirkung, so dass sie als Anti-Krebsmittel zum Einsatz gelangen. In den USA sind die Carbamate vor allem für den Haus- und Gartengebrauch populär geworden. 1995 lag der weltweite Verbrauch von Carbamaten bei rund 30'000 Tonnen.

Einen traurigen Bekanntheitsgrad erhielten Carbaryl und Aldicarb 1984 bei der verheerenden Explosionskatastrophe in Bhopal, Indien. Die Firma Union Carbide stellte dort in einer Tochterfirma die beiden Pestizide her und verwendete dazu die hochgiftige Chemikalie Methylisocyanat. Es war die letztere, die sich beim Unfall als Gaswolke über die Stadt ausbreitete (vgl. VI 66 f.).

Quellen:

Biedermann u.a. 1984 (126 ff., 259 ff., 285 ff., 437 ff., 442 ff., 458 ff., 472 ff., 511 ff.), Graham 1971 (95), Häfner 1987, Heinrich und Hergt 1990 (172 f., 196 ff.), Hynes 1990 (52 ff., 217 ff.), Kinkela 2011 (73), Leser u.a. 1993, Marco u.a. 1987 (203-204 ?), McGinn 2000 (83-84), NAS-NRC II 1962 (2), Nimmo u.a. 1987, Streit und Kentner 1992 (17, 29, 60, 65, 68 f., 73, 77 f., 91, 148, 175, 185, 197, 232 ff., 238 f., 340, 342), Verband der Chemischen Industrie e.V. 1987 (32, 92, 101, 107, 129), Walletschek und Graw 1994 (84, 93 f., 112 f., 115 ff., 187 ff., 207 f.)