

DDT in der Nahrungskette

(Bioakkumulation)

Peter Bützer

„Von Leuten, die nicht einmal eine ordentliche Mahlzeit pro Tag haben, kann man nicht verlangen, dass sie sich auch noch um die Umwelt kümmern.“
Richard Erskine Frere Leakey, Kenyanischer Paleoanthropologist, (1944 -)

Inhalt

1	Einführung.....	1
2	Toxische Wirkungen	2
3	Aufgabe	3
4	Modell und Substanzdaten	3
5	Simulation	4
5.1	Simulationsdiagramm (Typ 3 und Typ 4)	4
5.2	Zeitdiagramm	4
5.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	4
5.4	Interpretation	6

1 Einführung

DDT, p,p'-Dichlor-2,2-diphenyl-1,1,1-trichlorethan, 1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan,

InChI=1/C14H9Cl5/c15-11-5-1-9(2-6-11)13(14(17,18)19)10-3-7-12(16)8-4-10/h1-8,13H

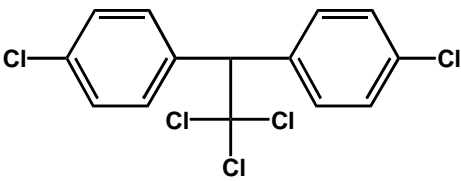
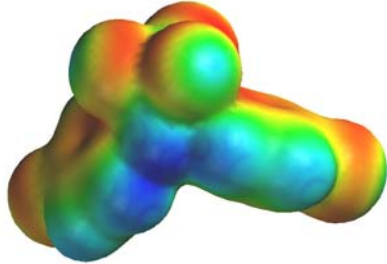
C₁₄H₉Cl₅, MR 354,48 g/mol, Schmp. 109°C, Wasserlöslichkeit ca. 3 µg/L (20°C),

Dampfdruck ca. 0,025 mPa (20°C)

LD50 (Ratte oral) 113 mg/kg, MAK-Wert: 1 mg/m³ (inhalierbare Fraktion),

ADI 0,02 mg/kg Körpergewicht

DDT ist ein breit wirksames nicht-systemisches Insektizid mit lang anhaltender Kontakt- und Frassgiftwirkung (Bild: Gegen Fliegen und Kakerlaken). DDT besitzt trotz seines niedrigen Dampfdruckes eine relativ hohe Flüchtigkeit. In der Atmosphäre wird es an Schwebstoffe adsorbiert. In dieser Form kann es durch UV-Licht sehr schnell zu CO₂ und HCl abgebaut werden¹.

	
Abbildung 1: Konstitutionsformel	Abbildung 2: DDT mit der Elektronendichteverteilung auf der Oberfläche: Rot: hohe Dichte, blau: kleine Dichte

¹ Safe, S. H., Environ. Health Perspect., (2000) 108, 487–493

DDT ist sehr lipophil (fettlöslich) und reichert sich somit in der Nahrungskette aus Erfahrung stark an. DDT ist im Metabolismus von Tieren und Pflanzen schwer abbaubar. Viel Richtiges, aber auch viel Falsches ist über DDT geschrieben worden².

2006 nahm man an, dass jährlich etwa 1.2 Millionen Menschen an Malaria sterben, vorwiegend Kinder unter 5 Jahren. Daher hat die WHO seit Jahren die Innenwandbesprühungen mit etwa 2 Gramm pro Quadratmeter in gewissen Ländern befürwortet³. In Industriestaaten bleibt der Einsatz von DDT durch die Stockhol-Konvention über „persistant organic pollutants“(POP) seit 2001 aber nach wie vor verboten.

2 Toxische Wirkungen

Nach Aufnahme von ca. 300–500 mg treten erste Symptome auf: Schweissausbrüche, Parästhesien an Lippen u. Zunge, Kopfschmerzen, Übelkeit, Dosen über 1 g führen zu: Gleichgewichtsstörungen, Verwirrtheit, Tremor, Krämpfen, Rhythmusstörungen.

Vergiftungen mit 18 g DDT sind überlebt worden.

Nach über 40jähriger kontinuierlicher weltweiter Anwendung: Es gibt keine Hinweise auf krebserzeugende Wirkung beim Menschen.

Relativ geringe Wasser- aber hohe Fettlöslichkeit es gehört zu der Klasse der vPvB-Substanzen (very persistent, very bioaccumulative). Es hat sich in Boden, Sediment und Biosphäre angereichert: Die Konzentration von DDT beträgt im Säugetierfett bis zu 1 mg/kg, im Fisch- und Vogelfett bis zu 100 mg/kg.

In der Atmosphäre wird DDT an Schwebstoffe adsorbiert. In dieser Form kann es durch UV-Licht sehr rasch zu CO₂ und HCl abgebaut werden. DDT und seine Metaboliten sind sehr giftig für Fische und können möglicherweise eine Schalenverdünnung bei Vogeleiern verursachen.

² Bützer P., Der ökologische „Sündenfall“ DDT, Chemie und Biologie, 4, 20, 1997

³ Slz, Anzeichen für vermehrten Einsatz von DDT, NZZ, Freitag 4. August, 2006, Nr. 178, S.17

3 Aufgabe

Mit einem Modell versuche man die Konzentrationen von DDT in der Nahrungsmittelkette: Gras → Kuh → Milch zu simulieren.

4 Modell und Substanzdaten⁴

Annahmen:

- Weidefläche (Fläche): 10'000 m² pro Kuh, sie frisst 50 kg/Tag und produziert 25 Liter Milch/Tag. Die Kuh hat ein Gewicht von 500 kg.
- Die Weidefläche hat 1 kg Frischgewicht Gras pro m², der Zuwachs beträgt 0.3 kg/m² (Frühsommer ca. 60 Tage) oder 50 kg je Hektar und Tag – die Kuh frisst somit den ganzen Zuwachs → Verbrauch.
- Halbwertszeit Abbau auf den Feld: 10 Jahre → Reaktion 1. Ordnung,
- Halbwertszeit Ausscheidung durch die Kuh (Kot/Urin): 1 Jahr (wird als Dünger für die Weide verwendet) → Reaktion 1. Ordnung,
- 70% des aufgenommenen DDT wird resorbiert,
- Transferrate von der Kuh zur Milch: 0.017 d⁻¹ → Reaktion 1. Ordnung.

Reaktion 1. Ordnung:

Die Reaktionsgeschwindigkeit von x ist abhängig von k*(Konzentration von x)



Abbildung 3: Der Gras-Kuh-Milch-Pfad ist wichtig für viele lipophilen (fettlöslichen) Substanzen

⁴ Trapp Stefan, Matthies Michael, Dynamik von Schadstoffen - Umweltmodellierung mit Cemos, Springer Verlag Berlin 1996, 119-121

5 Simulation

5.1 Simulationsdiagramm⁵ (Typ 3 und Typ 4)⁶

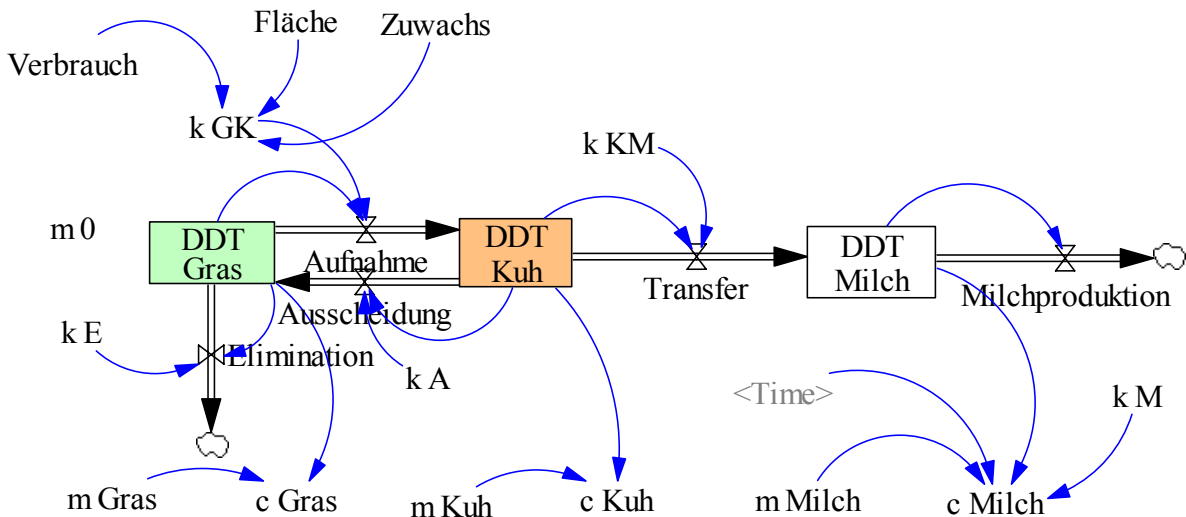


Abbildung 4: Simulationsdiagramm für die Anreicherung von DDT über den Gras-Kuh-Milch-Pfad

5.2 Zeitdiagramm

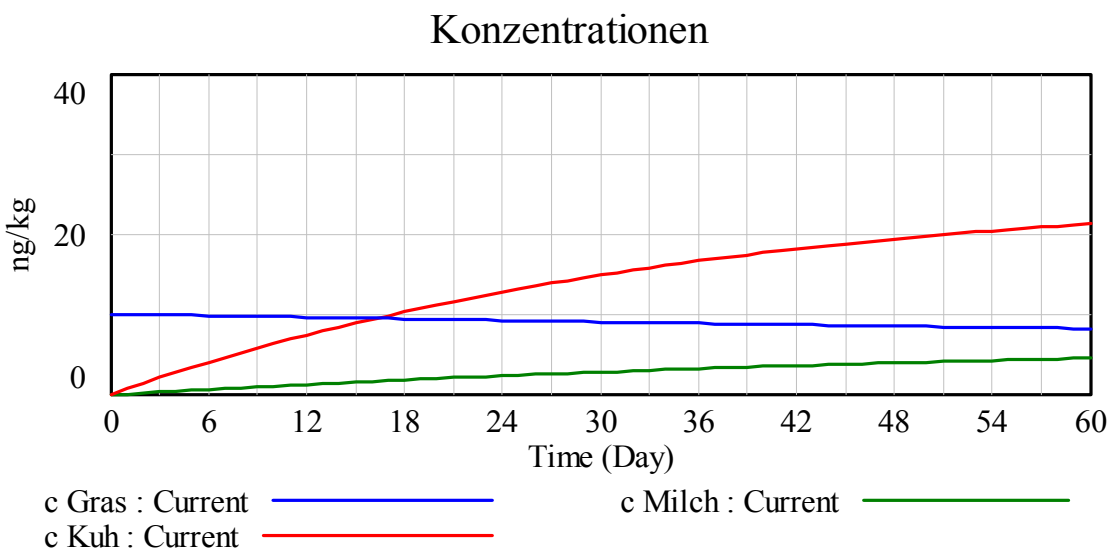


Abbildung 5: Zeitdiagramm mit den Konzentrationen in Gras, Kuh und Milch

5.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) Aufnahme= $k_{GK} \cdot \text{DDT Gras}$
 Units: ng/Day [0,?]
- (02) Ausscheidung= $k_A \cdot \text{DDT Kuh}$

⁵ Simulations-Software: Vensim® PLE, Ventana Systems, Inc., <http://www.vensim.com/>

⁶ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 50, 57

- Units: ng/Day [0,?]
 (03) $c_{\text{Gras}} = \text{DDT}_{\text{Gras/m Gras}}$
 Units: ng/kg [0,?]
 (04) $c_{\text{Kuh}} = \text{DDT}_{\text{Kuh/m Kuh}}$
 Units: ng/kg [0,?]
 (05) $c_{\text{Milch}} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Time} > 0, \text{DDT}_{\text{Milch}} / (\text{Time} * m_{\text{Milch}}) * k_M, 0)$
 Units: ng/kg [0,?]
 (06) $\text{DDT}_{\text{Gras}} = \text{INTEG}(\text{+Ausscheidung-Aufnahme-Elimination+Ausscheidung}, m_0)$
 Units: ng [0,?]
 Kontamination der gesamten Weidefläche, auch die
 Wiederkontamination durch Kot
 (07) $\text{DDT}_{\text{Kuh}} = \text{INTEG}(\text{Aufnahme-Ausscheidung-Transfer-Ausscheidung}, 0)$
 Units: ng [0,?]
 Masse DDT in der Kuh (kein Metabolismus) durch Aufnahme aus dem
 Gras und Ausscheidung über Kot und Milch
 (08) $\text{DDT}_{\text{Milch}} = \text{INTEG}(\text{Transfer-Milchproduktion}, 0)$
 Units: ng [0,?]
 Masse DDT in der gesamten produzierten Milch (kein Metabolismus)
 (09) $\text{Elimination} = k_E * \text{DDT}_{\text{Gras}}$
 Units: ng/Day [0,?]
 Elimination durch Photolyse, Eintrag in den Boden etc.
 (10) $\text{FINAL TIME} = 60$
 Units: Day
 The final time for the simulation.
 (11) $\text{Fläche} = 10000$
 Units: m² [0,?]
 Weidefläche
 (12) $\text{INITIAL TIME} = 0$
 Units: Day
 The initial time for the simulation.
 (13) $k_A = 0.002$
 Units: 1/Day [0,?]
 Halbwertszeit der Ausscheidung mit dem Kot/Urin ca. 1 Jahr = $\ln(2)/365$ d⁻¹
 (14) $k_E = 0.0002$
 Units: 1/Day [0,?]
 HWZ für Abbau ca. 10 Jahre
 (15) $k_{\text{GK}} = 0.7 * \text{Verbrauch} / (\text{Fläche} * \text{Zuwachs})$
 Units: 1/Day [0,?]
 Nur 70% des DDT werden aufgenommen (resorbiert)
 (16) $k_{\text{KM}} = 0.017$
 Units: 1/Day [0,?]
 (17) $k_M = 1$
 Units: Day [0,?]
 Ein Tag Milch wird für die mittlere Konzentration verwendet
 (18) $m_0 = 100000$
 Units: ng [0,?]
 Eingebachte Kontamination mit DDT (Annahme)
 (19) $m_{\text{Gras}} = 10000$
 Units: kg [0,?]
 Totale Masse Gras, die kontaminiert ist
 (20) $m_{\text{Kuh}} = 500$
 Units: kg [100,?]
 Mittlere Masse einer Kuh
 (21) $m_{\text{Milch}} = 25$
 Units: kg [1.25,?]
 25 kg: Masse Milch, die Pro Tag, pro Kuh produziert wird, Fett
 und Eiweiss der Milch machen ca. 5% aus. folgedessen ist diese
 Masse ca. 20-mal kleiner, als die Gesamtmasse von Milch.
 (22) $\text{Milchproduktion} = \text{IF THEN ELSE}(\text{DDT}_{\text{Milch}} > 0, 1, 0)$
 Units: ng/Day [0,?]
 Ausscheidung der kontaminierten Milch (am Anfang nichts!)

- (23) SAVEPER = TIME STEP
 Units: Day [0,?]
 The frequency with which output is stored.
- (24) TIME STEP = 1
 Units: Day [0,?]
 The time step for the simulation.
- (25) Transfer= k KM*DDT Kuh
 Units: ng/Day [0,?]
- (26) Verbrauch= 50
 Units: kg/Day [0,?]
 Durchschnittlich gefressene Menge Gras pro Kuh und Tag
- (27) Zuwachs= 1
 Units: kg/m2 [0,?]
 Durchschnittlicher Zuwachs pro m2 Weidefläche

5.4 Interpretation

Auf der Weide nimmt bei einem einmaligen Eintrag die DDT-Menge ab, in der Kuh (Fleisch) erreicht sie ein Maximum nach ca. 100 Tagen, und in der Milch wird über längere Zeit eine Gleichgewichtskonzentration erreicht.

Milch enthält in der Summe ca. 5% Eiweiss und Fett, wo sich auch das DDT befindet. Die Konzentration in diesen Bestandteilen ist folgedessen viel grösser, als in der Gesamtmasse der Milch.

Milch hat die höchsten Konzentrationen der ganzen Nahrungskette an DDT. Das lässt sich mit dem Fettgehalt der Milch begründen. DDT kann auch an Proteine der Milch gebunden sein.