

## Zusammenfassung

Globale Gleichgewichte mit vielen Parametern sind mühsam zu berechnen und nur sehr oberflächlich zu beschreiben. Ein in der Pharmazie gebrauchtes Modell erlaubt eine Beschreibung mit wenigen Parametern. Das Modell kann den früher stabilen steady state vom Kohlenstoffdioxid in der Atmosphäre relativ anschaulich wiedergeben und durch exakte Zahlenangaben belegen. Die tatsächliche Akkumulation vom anthropogen produzierten Kohlenstoffdioxid ist vermutlich näherungsweise vorher zu sagen.

Die früher stabile Atmosphäre mit ca. 280 ppm Kohlendioxid hatte eine Abbau Rate von 66,67 % (mit einer Halbwertszeit von 0,631) in einer noch nicht definierten globalen Zeiteinheit.

## Die Akkumulation vom Treibhausgas CO<sub>2</sub>

R. Lemke

### 1 Vorbemerkungen

Bis zum Abitur hat man mal etwas von Reihen gehört. Auch von Zins und Zinseszins. Radioaktivität, Kinetik und Lichtabsorption sind als Anwendungen der Reihenarithmetik auch in der Chemie bekannt. Dabei handelt es sich um die logarithmische Abnahme einer messbaren Größe in Abhängigkeit von einer definierten Zeiteinheit bzw. Schichtdicke.

Mit vergleichbaren Methoden sind Änderungen der Kohlendioxid Konzentration in der irdischen Atmosphäre zu beschreiben. Dabei müssen die verschiedenen beteiligten Gleichgewichte nicht besonders mühsam berechnet werden. Allerdings sind dabei einige Fakten und Faktoren zu berücksichtigen.

Man hat – eigentlich ohne zu überlegen – lange Zeit so gehandelt, als würde das von Menschen durch Verbrennung fossiler Brennstoffe frei gesetzte CO<sub>2</sub> einfach „verschwinden“. Aus heutiger Sicht waren die zusätzlichen Mengen einfach vernachlässigbar klein.

Später wurden Prognosen zum Anstieg der Konzentration in der Luft mit bekannten Algorithmen für normales Wachstum extrapoliert. Eine sinnvolle Beschreibung ist (war) das aber nicht.

Es hat nämlich über lange Zeit ein ziemlich konstantes Gleichgewicht (steady state) existiert. Einerseits gab und gibt es natürliche Kohlendioxid Quellen (Abbau von Biomasse, Vulkane und andere CO<sub>2</sub> Lieferanten) und andererseits Senken (abgelagerte und deponierte Biomasse, verschiedene Arten einer natürlichen Entsorgung). Dieses Gleichgewicht hat gelegentlich auftretende Schwankungen (besonders große Vulkanausbrüche) in relativ kurzen Zeiten ausgleichen können.

Ein analoges Problem ist aus der Medizin bekannt und entspricht Überlegungen für eine Dauermedikation nach dem LADME Prinzip [1]. Zuerst wird das Präparat zugeführt und freigesetzt (Liberation), dann im „Probenraum“ aufgenommen (Absorption) und verteilt (Distribution), danach „verstoffwechselt“ (Metabolismus) und schließlich abgebaut oder ausgeschieden (Exkretion). Die Konzentration der wirksamen Komponente variiert über 24 Stunden zwischen dem Anstieg um eine Einheit und der Abnahme auf den durch die Abbau Rate (bzw. die Halbwertszeit) vorgegebenen Teil.

Die Beschreibung einer stetigen Zufuhr bei gleichzeitigem Abbau ist genau wie die entsprechende Berechnung einfach.

Wenn ich jeden Tag erneut ein Medikament mit der Halbwertszeit von einem Tag (Abbau Rate = 50 %) einnehme, dann habe ich am ersten Tag 100 % zu mir genommen, die Konzentration sinkt in 24 Stunden auf 50 %. Zu diesen 50% kommen am zweiten Tag weitere 100 %, das wären dann 150 %. Am dritten Tag werden die jetzt vorhandenen 75 % wiederum um 100 % ergänzt und mein Körper arbeitet mit 175 % weiter.

Am 4. Tag summiert sich der Wirkstoff und steigt von 0,9375 auf 1,9375 %, nach 10 Tagen von 0,999023 auf 1,999023 % und nach 20 Tagen auf 1,999999 %. Der obere Grenzwert ist natürlich 200 %, der untere 100 %. Achill und die Schildkröte haben in antiken Rätseln einmal ein praktisch vergleichbares „Problem“ gehabt.

Wenn wir einen kontinuierlichen Vorgang annehmen – das entspricht dem „steady state Zustand“ in einem Reaktor – dann liefert das ein Beispiel für eine effektive Konzentration von  $1,5 \pm 0,5$  bei einer Halbwertszeit von 1 und einer Abbau Rate von 50 % in der Zeiteinheit. Die effektive Konzentration wird nachfolgend immer als Mittelwert mit dem Zusatz  $\pm \frac{1}{2}$  angegeben.

Vergleichbar ist das Problem mit einem neu eröffneten Bankkonto, auf das in jeder Zeiteinheit eine feste Summe (eine Zahlungseinheit) eingezahlt wird und von dem in der gleichen Zeiteinheit immer genau der Anteil A (Abbau Rate in %) der vorhandenen Summe verbraucht wird. Der obere Kontostand wird schließlich den mit dem Kehrwert von A multiplizierten Wert der festen Summe erreichen, der untere Kontostand den um eine Einheit niedrigeren. Nimmt man Einzahlungen und Abhebungen kontinuierlich – d.h. in kleinsten Zeiteinheiten – vor, dann wird sich (in endlicher Zeit) auch hier ein mittlerer = effektiver Wert einstellen. Mit 75 % Abbau in der Zeiteinheit (Halbwertszeit 0,5) wird der effektive Kontostand  $0,83333 \pm \frac{1}{2}$  Zahlungseinheiten wert sein. Mit 25 % Abbau in der Zeiteinheit (Halbwertszeit ca. 2,41) ist der effektive Kontostand am Ende genau  $3,5 \pm \frac{1}{2}$ . Entwicklungen von Populationen werden nach ähnlichen Methoden berechnet.

## 2 Kohlendioxid in der Erdatmosphäre

### 2.1 Der stabile Zustand als „steady state“

Wenn über lange Zeiten die Konzentration von Kohlendioxid (relativ) in der Luft konstant gewesen ist, dann kann das nur daran gelegen haben, dass eine „Dauermedikation“ ziemlich genau den dauerhaften Wert 1 (effektiv  $1 \pm \frac{1}{2}$ ) lieferte. Das ist bei einer Abbau Rate von 66,667 % – entsprechend einer Halbwertszeit von 0,63093 – der Fall. Diese numerischen Angaben sind direkt bestimmbar, nicht jedoch der zeitliche Rahmen. Als zeitliche Einheit sind für in die Luft gelangendes Kohlendioxid Tage oder Wochen unbrauchbar, es müssen schon recht viele Jahre sein. Dies muss bei der „Zeiteinheit“ immer berücksichtigt werden.

Wir betrachten zu nächst einmal den einfachen Abbau.

Eine einmalige Dosis von 1 mit der Abbau Rate 0,6667 und einer Halbwertszeit von 0,63093 Zeiteinheiten würde vom anfänglichen Wert 1 (100 %) am Tage 0 mit jeder folgenden Zeiteinheit auf die nachstehenden Werte abgebaut:

33,333 %,      11,111 %      3,7040 %      1,2346 %      0,41152 %      0,1372 %      0,04572 %.

Vom Wirkstoff wären bei kontinuierlichem Abbau nach 2,096 Zeiteinheiten noch 10 % vorhanden, nach 4,192 Zeiteinheiten 1 %, nach 10,48 Zeiteinheiten 10 ppm und nach 14,67 Zeiteinheiten immerhin noch 0,1 ppm [2].

Wenn wir jetzt einen stabilen Zustand für den Beginn annehmen, bei dem theoretisch eine in jeder Zeiteinheit wiederholte CO<sub>2</sub> Emission mit der Dosis“ 1 (entsprechend 100 % Wirkstoff) einsetzt, dann ändert sich die effektive Konzentration vom Anfangswert 0 zum Zeitpunkt 0 mit jeder Zeiteinheit auf folgende Werte :

$0,83333 \pm \frac{1}{2}$ ;     $0,94444 \pm \frac{1}{2}$ ;     $0,98148 \pm \frac{1}{2}$ ;     $0,99383 \pm \frac{1}{2}$ ;     $0,99794 \pm \frac{1}{2}$ ;     $0,99931 \pm \frac{1}{2}$      $0,99977 \pm \frac{1}{2}$ .

Wie man sieht, nähert sich der Wert sehr schnell dem Grenzwert  $1 \pm \frac{1}{2}$  entsprechend  $100 \pm 50$  %. Das bezieht sich auf die gewählte Zeiteinheit. Es lässt sich angeben, dass im Beispiel nach 2,096 Zeiteinheiten der Wirkstoff den Wert von  $0,95 \pm \frac{1}{2}$  erreicht, nach 6,29 Zeiteinheiten  $0,9995 \pm \frac{1}{2}$  und nach 12,575 Zeiteinheiten  $0,999995 \pm \frac{1}{2}$ .

Für die einst relativ lange Zeit stabile Konzentration an Kohlendioxid in der Erdatmosphäre gelten die obigen Rechnungen — allerdings unter Berücksichtigung der nicht bekannten Zeiteinheit. Der zeitliche Maßstab wird als denkbare Größe von mehreren Gleichgewichten mit unterschiedlicher Kinetik abhängen.

### 2.2 Der instabile Zustand als „Dauermedikation“

Der Gehalt an Kohlendioxid in der Luft hat sich durch unseren Energiebedarf erhöht. Waren es früher einmal ca. 280 ppm CO<sub>2</sub> vom Volumen (280 ml in einem Kubikmeter Luft), sind es derzeit (2005) schon ca. 400 ppm [3]. Das entspricht einem Zuwachs um gute 40 %. In einem kg Luft waren es früher ca. 430 mg CO<sub>2</sub>, heute sind es ca. 610 mg [3].

Da die Masse der irdischen Lufthülle mit ca.  $5,2 \times 10^{15}$  t recht gut bekannt ist [4], lässt sich daraus auch der Anteil an Kohlendioxid berechnen. Nach Römpf [5] werden ca.  $2,3 \times 10^{12}$  t angenommen.

Vergleichbare Werte erhalte ich über die Masse der Lufthülle [6] und die CO<sub>2</sub> Konzentration :

mit 430 Massen ppm (= 280 Vol ppm) ca.  $2,24 \times 10^{12}$  t

mit 445 Massen ppm (= 290 Vol ppm) ca.  $2,31 \times 10^{12}$  t

Der für 2005 mit 610 Massen ppm CO<sub>2</sub> extrapolierte Wert liegt bei ca.  $3,17 \times 10^{12}$  t [3]. Das sind – verglichen mit „früher“ – ca.  $900 \times 10^9$  t CO<sub>2</sub> oder ca. 40 % mehr.

Es ist nicht sicher bekannt, wie hoch der natürliche mittlere jährliche Eintrag an Kohlendioxid in die Atmosphäre aus natürlichen Quellen ist. Die entsprechenden Mengen (über sehr viele Jahre gemittelt) und ihre natürliche Entsorgung dürften beträchtlich sein. Im natürlichen Zeitmaßstab und einem global viel weiteren Rahmen könnten es durchaus ca.  $0,5 - 3 \times 10^{12}$  t sein.

Die von Menschen durch Verbrennung fossiler Ressourcen zusätzlich eingeleiteten Mengen sind derzeit (2005) ca.  $25 - 30 \times 10^9$  t CO<sub>2</sub> im Jahr [6, 7].

Lange Zeit wurden die von uns Menschen produzierten CO<sub>2</sub> Emissionen zusammen mit den natürlichen „entsorgt“. Die zusätzlichen Mengen sind jedoch inzwischen so groß, dass sie sich in der Atmosphäre ansammeln. Die prozentuale Abbau Rate ist also kleiner geworden, die Halbwertszeit entsprechend größerer. Im Prinzip ist das nach früher beschriebenen Verfahren über Gleichgewichte mit vielen Input und Output Parametern zu berechnen [8]. Bei derartigen Rechnungen sind genau wie bei der „Dauermedikation“ für den stabilen Zustand nicht die maximal durchsetzbaren Mengen entscheidend, sondern die Kinetik und die eventuell begrenzte Kapazität der verschiedenen „Kompartimente“ als „Deponien“. Ein derart verändertes Gleichgewicht ist mit einer erhöhten Dauermedikation vergleichbar. Der Umsatz bzw. die Entsorgung des CO<sub>2</sub> ist jetzt geringer als vorher. Das ist leicht einzusehen. Es ist wahrscheinlich, dass der zur Zeit entscheidende erste Engpass bei der natürlichen Entsorgung der Kreislauf der Biomasse mit kurzer Halbwertszeit (Produkte der Landwirtschaft) ist. Ein weiterer Engpass können die Biomassen mit längerer Halbwertszeit sein, die z.B. als Wälder nur eine Senke für einige Jahre sind [7].

Eine CO<sub>2</sub> - Dauermedikation und ihre Folgen können anhand einer Tabelle beschrieben werden.

Für denkbare Rechnungen mit anderen Abbau Raten und Halbwertszeiten habe ich einige Parameter als Tabelle 1 zusammen gefasst. Eine ausführlichere Tabelle befindet sich auf der Internet Seite dieser Zeitschrift.

Abbau	Halbwertszeit bezogen auf die jeweilige „Einheitszeit“	$\Sigma \infty \pm 1/2$	$\Sigma$ nach 2 Einheitszeiten	$\Sigma$ nach 5 Einheitszeiten	99,5 % von $\Sigma \pm 1/2$ in Einheitszeiten
66,6666%	0,63098	1	0,9444	0,99794	4,19181
60 %	0,75647	1,1666 ± 1/2	1,06	1,15984	5,17161
50 %	1	1,5 ± 1/2	1,25	1,46875	7,0589
40 %	1,35691	2,0 ± 1/2	1,46	1,88336	9,8089
33,3333 %	1,94335	2,5 ± 1/2	1,6111	2,23663	12,5169
25 %	2,40942	3,5 ± 1/2	1,8125	2,78809	17,8814
20 %	3,10628	4,5 ± 1/2	1,94	3,18923	23,2162
16,6666 %	3,80178	5,5 ± 1/2	2,02777	3,49061	28,5375
10 %	6,57881	9,5 ± 1/2	2,21	4,18559	49,77434
5 %	13,51341	19,5	2,3525	4,79816	102,78813
2,5	27,37785	39,5	2,4256	5,13727	272,3392
1 %	68,96757	99,5	2,47	5,35198	526,67688

Tabelle 1

Wenn die CO<sub>2</sub> Emissionen in den kommenden Jahren konstant wären, dann könnte die Abbau Rate (im Jahr) bzw. die entsprechende Halbwertszeit (in Jahren) direkt bestimmt werden. Daraus ergäbe sich auch die bei konstant bleibenden Werten die zu erwartende Endkonzentration – sofern die Wege der Entsorgung gleich bleiben.

Gesetzt den Fall, die Emissionen von zwei Jahren (diesmal sind Jahre die Zeiteinheit) bringen z.B. den Ausgangswert von X + 0 auf X + 1. Das bedeutet, die eine Hälfte ist gut und wird normal „entsorgt“, die andere Hälfte ist „schlecht“ und wird akkumuliert. Mit einer Abbau Rate von ca. 17,7 % (17,7124 %) wäre das vereinbar. Wenn in einem weiteren Beispiel von 6 Emissionen nach 5 Jahren nur eine Portion „entsorgt“ ist und die übrigen 5 sich in der Atmosphäre befinden, dann entspräche das 3,491 % Abbau im Jahr.

Weil Emissionen zunehmen werden, muss mit ständig kleiner werdenden Abbau Raten und – was besonders von Bedeutung ist – mit sehr viel höheren Endwerten gerechnet werden.

Es ist für unsere und die nächsten Generationen leider kein Trost, dass mit dem Verbrauch der fossilen Brennstoff Vorräte der Abbau vermutlich wieder zu nimmt.

## Literatur

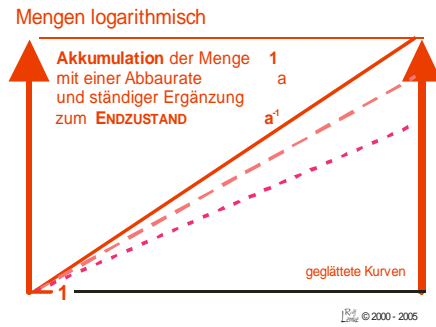
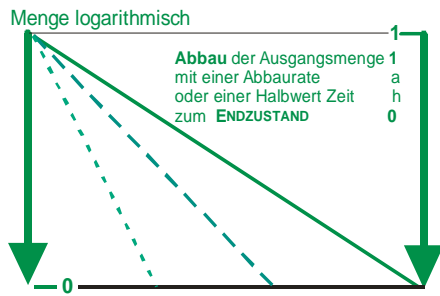
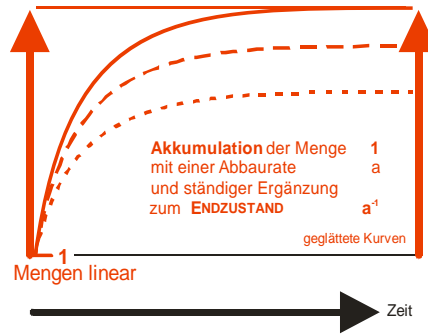
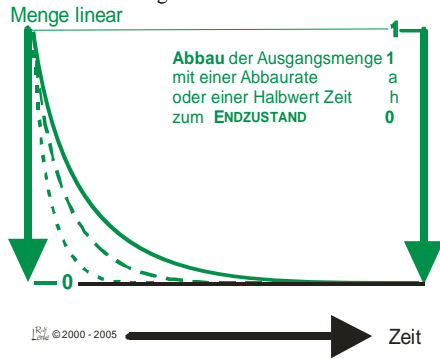
- [1] Bauer - Frömmling - Führer, Lehrbuch der Pharmazeutischen Technologie, 6. Auflage, Seiten 189 - 191, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart (1999)
- [2] Nachweismethoden für Dopingmittel haben sich beträchtlich verbessert. Wenn ein „Anwender“ vom „Berater“ gesagt bekommt, nach 2 Tagen sei nichts mehr ( $\leq 10\%$ ) nachweisbar, dann war das vor 5 Jahren vielleicht richtig, aber heute falsch. Nach 8,38 Tagen sind noch 100 ppm vorhanden und nach 12,58 Tagen 0,1 ppm. Diese Angaben ergänzen die im Text gemachten und beziehen sich auf eine einmale Dosis. Bei einer Medikation über einen längeren Zeitraum werden die „Restbestände“ durchaus auch noch länger nachzuweisen sein. R. Lemke unveröffentlicht.
- [3] R. Lemke, extrapolierte Werte seit 2000
- [4] Masse der Lufthülle :  $5,2 \times 10^{15}$  t nach Ekholm;  $5,14 \times 10^{15}$  t nach Poldervart 1955; Handbook of Chemistry and Physics, 59th Edition, F-197; F-203 CRC Press 1978 - 1979
- [5] CD Römpp, Chemie Lexikon, Georg Thieme Verlag Stuttgart / New York 1995
- [6] Der Fischer Weltalmanach 2001, S. 1185-86 und 1260-63
- [7] R. Lemke, PdN-ChiS 4/51, 44 (2002); 3/52, 45 (2003)
- [8] R. Lemke, in Klausur- und Abitur Training Chemie, Band 4, S. 16, 45, 52, 62, 89, 94, Aulis Köln 1992; CLB 9/45, M 65, (1994); 9/46, M 65; 10/46, M 73 (1995); 7/49, M 50; 8/49, M 60 (1998) PdN-ChiS, 5/44, 42 (1994); 7/45, 42 (1996)

die Berechnungsgrundlagen können ——— müssen aber nicht gedruckt werden

$$\text{Halbwertszeit} = \frac{\log(0,5)}{\log(1-A)} \quad \text{AbbauRate} = 1 - \exp\left(\frac{\ln(0,5)}{\text{Halbwertszeit}}\right) \quad \frac{1}{A} - 1 < \text{effektive Summe} < \frac{1}{A}$$

Der Rest ist reine Ergänzung und nicht direkt zum Verständnis erforderlich.

ausgewählte Grafiken und Tabellen können als Ergänzung eventuell ins Internet



Abbau pro Zeit-Einheit	Halbwert-Zeit	10 % Rest Zeit-Einheiten	1 % Rest Zeit-Einheiten	1 ppm Rest Zeit-Einheiten	steady state = $\Sigma \pm 0,5$	$\Sigma$ in 10 Zeit-Einheiten	$\Sigma$ in 50 Zeit-Einheiten	$\Sigma$ in 100 Zeit-Einheiten
90,0787	0,3	0,997	1,993	5,979	0,6101			
75 %	0,5	1,661	3,322	9,966	0,8333			
70 %	0,5757	1,912	3,825	11,474	0,9286			
66,667 %	0,6309	2,096	4,193	12,574	1,0 $\pm 0,5$			
50 %	1	3,322	6,644	19,931	1,5 $\pm 0,5$	1,499		
40 %	1,3569	4,508	9,015	27,045	2,0 $\pm 0,5$	1,991		
33,333 %	1,7095	5,679	11,358	34,073	2,5 $\pm 0,5$	2,465		
29,2893%	2	6,644	13,29	39,863	2,914	2,839		
25 %	2,4094	8,0	16,0	48,0	3,5 $\pm 0,5$	3,331		
20 %	3,1063	10,319	20,638	61,911	4,5 $\pm 0,5$	4,071	4,4999	
16,667 %	3,8017	12,629	25,257	75,773	5,5 $\pm 0,5$	4,692	5,499	
12,5 %	5,191	17,244	34,487	103,46	7,5 $\pm 0,5$	5,658	7,491	
10 %	6,5788	21,854	43,709	131,12	9,5 $\pm 0,5$	6,362	9,454	9,4998
8 %	8,313	27,614	55,229	165,68	12,0 $\pm 0,5$	7,005	11,822	11,997
6,667 %	10,045	33,374	66,748	200,24	14,5 $\pm 0,5$	7,477	14,055	14,486
6,25 %	10,740	35,678	71,356	214,06	15,5 $\pm 0,5$	7,633	14,905	15,476
5 %	13,513	44,891	89,781	269,34	19,5 $\pm 0,5$	8,124	18,038	19,388
4,5 %	15,054	50,0	100,0	300,0	21,7222	8,331	19,599	21,510
4 %	16,980	56,405	112,81	338,43	24,5 $\pm 0,5$	8,544	21,383	24,095
2,5 %	27,378	90,947	181,89	545,68	39,5 $\pm 0,5$	9,223	28,502	36,399
2,222 %	30,844	102,46	204,92	614,76	44,5 $\pm 0,5$	9,356	29,196	39,850
2 %	34,310	113,97	227,95	683,84	49,5 $\pm 0,5$	9,463	31,656	43,002
1 %	68,9676	229,1	458,21	1375	99,5 $\pm 0,5$	9,9662	39,604	63,263
0,69075%	100	322,2	664,4	1993	144,2701	10,128	42,609	72,385
0,5 %	138,28	459,36	918,73	2756	199,5 $\pm 0,5$	10,229	44,616	78,952
0,25 %	276,91	919,88	1839,8	5519	399,5 $\pm 0,5$	10,363	47,439	88,856
1000 ppm	692,8	2301	4603	13808	999,5 $\pm 0,5$	10,445	49,246	95,613
Abbau pro Zeit-Einheit	Halbwert-Zeit	10 % Rest Zeit-Einheiten	1 % Rest Zeit-Einheiten	1 ppm Rest Zeit-Einheiten	steady state = $\Sigma \pm 0,5$	$\Sigma$ in 10 Zeit-Einheiten	$\Sigma$ in 50 Zeit-Einheiten	$\Sigma$ in 100 Zeit-Einheiten

R. Lemke © 2005

Berechnung mit 66.66667 % Abbau in jedem Jahr

.8959585	0,1 Jahre	Mittel-wert	.5520208 ± ½
.8027416	0,2 Jahre		.5986292 ± ½
.7192231	0,3 Jahre		.6403884 ± ½
.644394	0,4 Jahre		.677803 ± ½
.5773503	0,5 Jahre		.7113249 ± ½
.5172818	0,6 Jahre	Mittel-wert	.7413591 ± ½
.4634631	0,7 Jahre		.7682685 ± ½
.4152437	0,8 Jahre		.7923782 ± ½
.3720411	0,9 Jahre		.8139794 ± ½
.3333333	Rest nach dem 1. Jahr	33.33 %	Mittel-wert .8333334 ± ½
.1111111	Rest nach dem 2. Jahr	11.11 %	.9444445
.03704	Rest nach dem 3. Jahr	3.7 %	.9814815 ± ½
1.234567E-02	Rest nach dem 4. Jahr	1.23 %	.9938272
4.11522E-03	Rest nach dem 5. Jahr	.41 %	Mittel-wert .9979424 ± ½
1.37174E-03	Rest nach dem 6. Jahr	.1372 %	.9993141 ± ½
4.5724E-04	Rest nach dem 7. Jahr	.0457 %	.9997714
1.5241E-04	Rest nach dem 8. Jahr	.0152 %	.9999238 ± ½
.0000508	Rest nach dem 9. Jahr	.0051 %	.9999745
1.693E-05	Rest nach dem 10. Jahr	.0017 %	Mittel-wert .9999915 ± ½
5.64E-06	Rest nach dem 11. Jahr	.0006 %	.9999971 ± ½
1.88E-06	Rest nach dem 12. Jahr	.0002 %	.999999
6.2E-07	Rest nach dem 13. Jahr	.0001 %	.9999997 ± ½
.0000002	Rest nach dem 14. Jahr	0 %	.9999999
6E-08	Rest nach dem 15. Jahr	0 %	Mittel-wert 1 ± ½
2E-08	Rest nach dem 16. Jahr	0 %	1 ± ½
0	Rest nach dem 17. Jahr	0 %	1

Mittel-wert ± ½ = 1 mal Einheitsmenge bei 66.66667 % Abbau im Jahr

HALBWERT - ZEIT = .6309298 Jahre

R. Lemke © 2005

10 %	Rest bleibt nach	2.0959	Jahren	Mittel-wert	.95 ± ½
1 %	Rest bleibt nach	4.19181	Jahren		.995
.1 %	Rest bleibt nach	6.28771	Jahren		.9995 ± ½
100	ppm	Rest nach	8.38360	Jahren	Mittel-wert .99995 ± ½
10	ppm	Rest nach	10.4795	Jahren	.999995
1	ppm	Rest nach	12.5754	Jahren	.9999995 ± ½
0,1	ppm	nach	14.67	Jahren	% Abbau next ? ...- h +

**CO2-Dauer Medikation**

R. Lemke © 2005

**Abbau und Akkumulation von Wirkstoffen**

**99.9 % Abbau > A > 2E-4 % Abbau**

**430043 Zeiten >Halbwertszeit> 0,1 Zeiten**

**Von -\*- Rechnungen zur Summation < + >**

**Von -\*- Rechnungen zur Absorption < - >**

< e > Programm beenden < e >  
+++++

**Dezimale nur mit einem Punkt → ◻ ← trennen**

Zahlen mit Komma → , ← noch einmal eingeben

zurück zur Eingabe von A % mit Return !

mit < h > zur Eingabe einer Halbwert-Zeit  
Wert für A (Zahl) eingeben und Return !

nach wie vielen Jahren 10 % < jr >

Mittel - Wert mit < MW > vorgeben !

< js % > vom Mittel - Wert akkumulieren ?

Gl. 1

$$\begin{aligned}
 \text{HWZ} &= \frac{\log(0.5)}{\log(1-A)} \\
 \text{Gl. 2} \quad 1 - A_0 &= \exp(\log(0.5) / \text{HWZ}) \\
 \text{Gl. 3a} \quad R_0 &= 1 - A_0 \\
 \text{Gl. 3b} \quad R_n &= (1 - A_0)^n \\
 \text{Gl. 3b} \quad R_n &= R_0^n \\
 \text{Gl. 4a} \quad \Sigma \text{ max.} &= \{1 - [(1 - A)^{(1 + \text{time})}]\} / A \\
 \text{Gl. 4b} \quad \Sigma \text{ min.} &= \Sigma \text{ max.} - 1 \\
 \text{Gl. 4c} \quad \Sigma_{\infty} &= \Sigma \text{ max.} - 0,5
 \end{aligned}$$

$$\text{Halbwertszeit} = \frac{\log(0,5)}{\log(1-A)}$$

$$\text{AbbauRate} = 1 - \exp\left(\frac{\ln(0,5)}{\text{Halbwertszeit}}\right)$$

$$\frac{1}{A} - 1 < \text{effektive Summe} < \infty < \frac{1}{A}$$

Zeiteinheiten	Abbau (0,66667)	Mittelwert der Summierung
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0 + 1</b> ± ½
0,1	0,89596	0,552021 ± ½
0,2	0,80274	0,598629 ± ½
0,3	0,71922	0,640388 ± ½
0,4	0,64439	0,677803 ± ½
0,5	0,57735	0,711325 ± ½
0,6	0,51728	0,743591 ± ½
0,6309298	0,5	0,75 ± ½
0,7	0,46346	0,768268 ± ½
0,8	0,41524	0,792382 ± ½
0,9	0,37204	0,813979 ± ½
1,0	0,3333	0,833332 ± ½
1,2	0,26758	0,866210 ± ½
1,26186	0,25	0,875 ± ½
1,465	0,20	0,90 ± ½
1,5	0,19245	0,903775 ± ½
1,7268	0,150	0,9250 ± ½
2	0,1111	0,944444 ± ½
2,0959	0,10	0,950 ± ½
3,5609	0,20	0,990 ± ½
4,19181	0,1	0,995 ± ½
6,28771	0,01	0,9995 ± ½
8,38360	0,001	0,99995 ± ½
10,4795	0,0001	0,999995 ± ½
12,5754	0,00001	0,9999995
14,6713	0,000001	0,9999999 ± ½
∞	<b>0</b>	<b>1</b> ± ½

Selbstmorde mit folgenden Arzneimitteln  
 Paracetamol / Aspirin / Herzglycoside / Barbiturate / Cholinergica / Insulin

Samstag, 29. Oktober 2005



[r-lemke@versanet.de](mailto:r-lemke@versanet.de)

Tel. 0 23 23-22 9 17 96