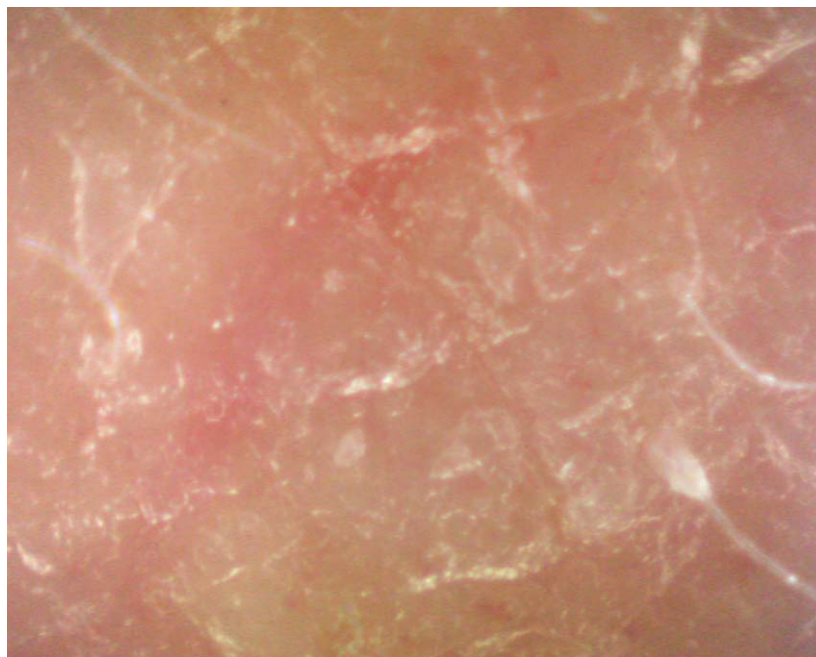


Dermale Aufnahme von Ethanol

Peter Bützer

Inhalt

1.1	Einleitung	2
1.2	Daten	3
1.3	Dermale, percutane Aufnahme.....	4
1.4	Simulationen.....	5
1.4.1	Beispiel 1: Einmalige Desinfektion.....	5
1.4.2	Simulationsdiagramm (Typ 1)	5
1.4.3	Interpretation	6
1.4.4	Beispiel 2: Mehrmalige Desinfektion	6
1.4.5	Simulation	6
1.4.6	Interpretation	7
1.5	Weitere Hinweise in der Literatur	7
1.5.1	Beispiel 3: Badewanne	8
1.5.2	Simulation	8
1.5.3	Interpretation	9
1.6	Anhang	10
1.6.1	Dokumentation Beispiel 1	10
1.6.2	Dokumentation Beispiel 2	10
1.6.3	Dokumentation Beispiel 3	11
1.7	Literatur	13



Haut hinter dem Ohr (200x)

Abstract

Die wichtigsten Daten für die Beurteilung der dermalen und percutanen Aufnahme von Ethanol (Alkohol) werden zusammengestellt. Vergleiche nach Umrechnung in dieselben Einheiten zeigen eine beachtliche Streuung. Mit einem systemdynamischen Ansatz werden Modelle zur Erklärung des zeitlichen Verhaltens der Resorption aufgebaut. Die Simulationen liefern als Resultate Werte, welche mit den realen Messwerten der Anwendungen von Desinfektionsmitteln verglichen und interpretiert werden. Die Abschätzungen mit den einfachen Modellen zeigen eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Werten.

Am Schluss ist noch ein amüsanter Beispiel von einer Badewanne mit Sekt aufgeführt, für welches die Simulation leicht interpretierbare Ergebnisse liefert.

1.1 Einleitung

Ethanol, landläufig Alkohol, ist in unserer Gesellschaft nicht in Getränken weit verbreitet, er wird auch als Spiritus für Brenner verwendet, wird immer wichtiger als Kraftstoffzusatz, ist Bestandteil vieler Reinigungsmittel und Kosmetika (Parfums), Deodorantien, Rasierwasser und ist wichtig bei Desinfektionsmitteln (Antiseptika).

Bedingt durch diese weite Verbreitung kommen wir mit Ethanol immer wieder in direktem Kontakt mit unserer Haut. Damit stellt sich die Frage, wie rasch und damit wie viel Ethanol dermal und percutan, das heisst über und durch die Haut, aufgenommen werden kann.

1.2 Daten

Tabelle 1: Wichtige Daten für Wasser und Ethanol

Kriterium	Wasser	Ethanol
Molmasse (g/mol)	18	46
Dichte	1 g·cm ⁻³	0.7894 g·cm ⁻³
Dampfdruck (kPa)	Temp. (°C)	Temp. (°C)
133.322	-17.4	-31.3
1333.22	11.2	-2.3
5332.88	34	19
13332.2	51.6	34.9
53328.8	83	63.5
101324.7	100	78.4
Temperatur (°C)	Dampfdruck (kPa)	Dampfdruck (kPa)
30	2945	7650
	Konzentration (ppm)	Konzentration (ppm)
	29065	75500
Log Pow ¹	- ∞	-0.30
Verdunstungsrate (30°C, 1 bar) berechnet nach ^{1, 2}	3.52 mg·cm ² ·h ⁻¹	46.17 mg·cm ² ·h ⁻¹
Diffusionskonstante		0.84·10 ⁻⁹ m ² ·s ⁻¹ (in Wasser)
LC(50) inhalativ (Ratte) 4 h ³ 10 h ^{4,5}		>8000000 mg/m ³ ; >4166670 ppm 38400 mg/m ³ /h; 20000 ppm
LC(50)inhalativ(Maus)4h ^{6,7,5}		39000 mg/m ³ ; 20000 ppm
LDL0 ² dermal (Kaninchen) ⁵		12.8-20.0 g/kg
LD(50)dermal (Kaninchen) ³		>20000 mg/kg
LD(50) oral (Kaninchen)		6300 mg/kg
Auge ⁸ Mensch		20 ppm
Draize Kaninchen (mild)		79-400 mg
Draize Kaninchen (schwer)		100-500 mg/24 h
MAK, AGW		500 ppm, 960 mg/m ³
Permeabilitätskonstante ^{3, 9} Dermale Absorption ¹⁰		1.2 · 10 ⁻³ – 3.4 · 10 ⁻³ cm/h, [0.055 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹]
Diffusionskonstante ¹¹ Epidermis: 0.02cm Stratum corneum: 0.0015cm		5.0·10 ⁻⁶ cm ² ·s ⁻¹ , [414 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹] 5.0·10 ⁻¹⁰ cm ² ·s ⁻¹ , [0.055 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹]
Fluss durch die Haut ¹¹		0.0057 - 0.049 ml·cm ⁻² ·min ⁻¹ 270 – 2321mg·cm ⁻² ·h ⁻¹
Einfaches Modell ¹²		1000 mg/cm ² /h, [100 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹]
Penetrationsrate ¹³ Maximale Penetrationsrate 25% Ethanol in Wasser ¹⁴		0.67 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹ 0.7 mg·cm ⁻² ·h ⁻¹
Metabolische Eliminationsrate ¹⁵		0.18 g·l ⁻¹ ·h ⁻¹ , 5·10 ⁻⁵ g·l ⁻¹ ·s ⁻¹

In eckigen Klammern umgerechnete Werte mit Ethanol (MG: 46 g/mol) für Vergleiche.

¹ Pow gibt als Verteilungskoeffizient das Verhältnis der Konzentration eines Stoffes gelöst in n-Octanol zu der Konzentration des Stoffes gelöst in Wasser an. LogPow ist der dekadische Logarithmus von Pow.

² LDL0: Tiefste publizierte letale Dosis

³ Permeabilitätskonstante: Mass dafür, wie leicht ein Molekül eine Einheitsfläche einer Membran bei einem Konzentrationsunterschied von 1 mol/l durchdringen kann. Einheit meist cm/s.

Bei der dermalen Absorption/Penetration bildet das Stratum corneum die wesentliche Barriere¹⁶.

Die seltenen in der Literatur verfügbaren pharmakokinetischen und toxikologischen Werte weisen grosse Streuungen auf, was bei einer so bekannten Substanz wie das Ethanol ist, überraschend ist.

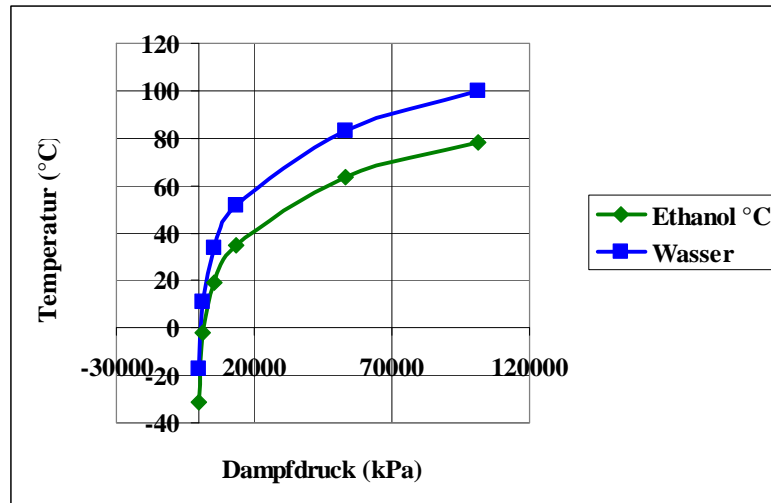


Abbildung 1 : Temperaturen von Ethanol und Wasser bei steigenden Dampfdrücken

Ethanol erreicht denselben Dampfdruck wie Wasser bei einer wesentlich tieferen Temperatur. Daher verdunstet Ethanol aus einer wässrigen Lösung rascher als das Wasser.

1.3 Dermale, percutane Aufnahme

Einfluss auf die percutane Penetration¹⁷

- Molekulargewicht (MW >1000 g/mol → Penetration unwahrscheinlich)
- Ionisation (stark ionisierte Chemikalien penetrieren schlecht)
- Lipophilie (log Pow = 1-3 → zunehmende Penetration)
- Hautverträglichkeit (Zerstörung der Hautbarrierefunktion)
- Flüchtigkeit
- Temperatur (hier ca. 32°C)

Die Körperoberfläche bestimmt die dermale Ethanolaufnahme ganz entscheidend. Sie lässt sich aus Körpergrösse und Gewicht abschätzen.

Tabelle 2: Körperoberfläche Erwachsener^{18,19}

Körperlänge (m)	Körpermasse (kg)	Körperoberfläche (m ²)
190	90	2.16
180	80	1.99
170	70	1.80
160	60	1.62

Die Haut des Körpers ist für die Aufnahme von applizierten Substanzen sehr unterschiedlich durchlässig. Stellen mit dünner Haut werden leichter penetriert, als Orte z.B. mit Hornhaut – kann um einen Faktor 300 variieren. Das wird am Beispiel von Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 3: Urinausscheidung von ^{14}C -Hydrocortison nach externer Applikation bezogen auf die Haut am Unterarm (=1)²⁰

Unterarm (ventral)	1.00
Fusssohle	0.14
Fussknöchel (lateral)	0.42
Handfläche	0.83
Unterarm (dorsal)	1.10
Rücken	1.70
Kopfhaut	3.50
Achselhöhle	3.60
Stirn	6.00
Kieferwinkel	13.00
Skrotum	42.00

Durchschnittliche Dicken:

Dicke der Epidermis: 0.02 ± 25 cm

Dicke der Stratum corneum: 0.0015 ± 25 cm

1.4 Simulationen

Die Simulationen wurden mit dem Programm Vensim PLE²¹ vorgenommen. Die Grundlagen für die Modelle sind die 10 wichtigsten Reaktionstypen²².

1.4.1 Beispiel 1: Einmalige Desinfektion

Die Absorption von 25%igem Ethanol in Wasser durch die beiden Hände und Vorderarme (Oberfläche 2000 cm^2) während 1 Stunde führt zu einer Aufnahme von maximal 1400 mg ²³.

1.4.2 Simulationsdiagramm (Typ 1)⁴

Gesamtvolumen: 0.5 Liter, Alkoholgehalt 25 Vol.%, Ethanolmenge: 98.67 g

Oberfläche 2000 cm^2 ; $kr = 0.0007 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$

Resorbieren = $kr \cdot \text{Oberfläche}$

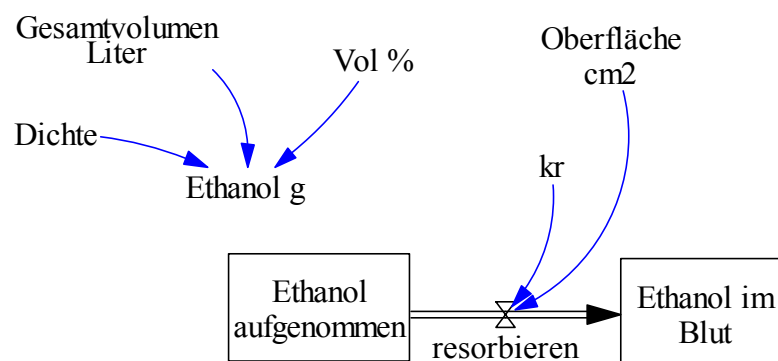


Abbildung 2: Simulationsdiagramm einer Desinfektion von Händen und Vorderarmen

Der mit Simulation bestimmte Wert nach 1 Stunde beträgt 1414 mg und weicht damit vom beschriebenen Wert um nur 1% ab.

⁴ Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, verlag pestalozzianum, Zürich 2006, S. 37

1.4.3 Interpretation

Die Simulation kann den beschriebenen Wert mit den Literaturdaten als Parameter sehr gut beschreiben. Die Aussagekraft dieses einen abgeschätzten Punktes ist noch gering, gibt jedoch einen Hinweis auf die richtige Grössenordnung.

Die von den 1400 mg bei einer weiblichen Person von 50 kg berechneten 0.047 % Blutalkoholgehalt sind unbedenklich.

1.4.4 Beispiel 2: Mehrmalige Desinfektion

Tabelle 4: Ethanolaufnahme durch Desinfektionsmittel²⁴

Ethanol-Gehalt	Hand Desinfektion 4 ml Hand: 20x für 30 Sek. (total 10 min.) absorbiert		Chirurgische Desinfektion 20 ml Hand und Arm 10 x für 3 Min. mit Pausen von 5 Min. (total 80 Min.) absorbiert		Simulation	
	%	mg	%	mg	mg	% Abweichung
95	1365	2.3	1067	0.7	1484	39
85	630	1.1	1542	1.1	1304	15
55	358	0.9	477	0.5	742	35

1.4.5 Simulation

Applikation: 10 Wiederholungen

20 ml Desinfektionsmittel, 55, 85, 95 Vol.% Ethanol

3 Minuten applizieren, 5 Minuten Pause

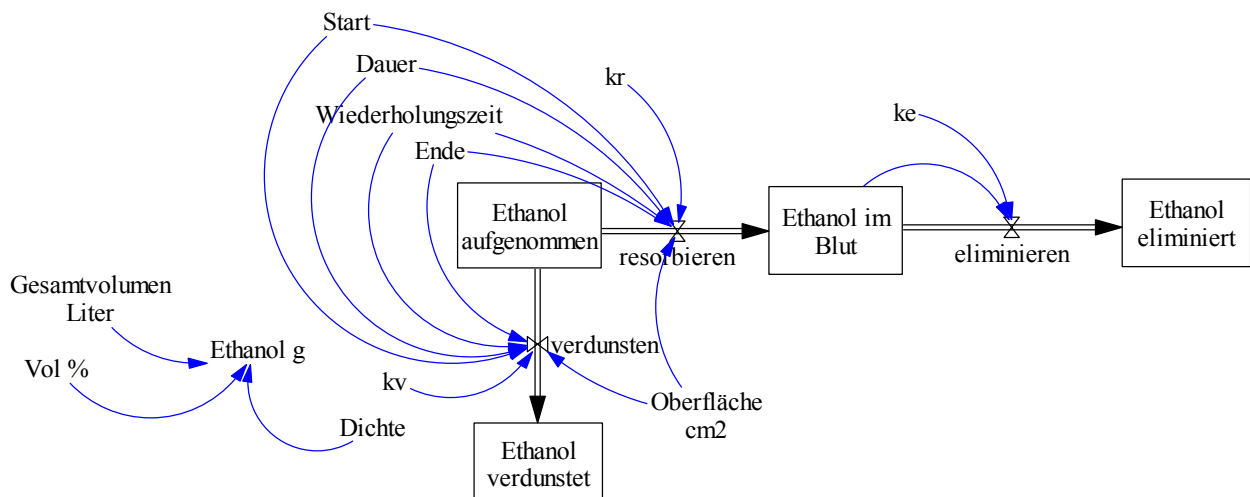


Abbildung 3: Simulationdiagramm der 10 Desinfektionen. Die verwendeten Parameter und Gleichungen der Simulation sind im Anhang.

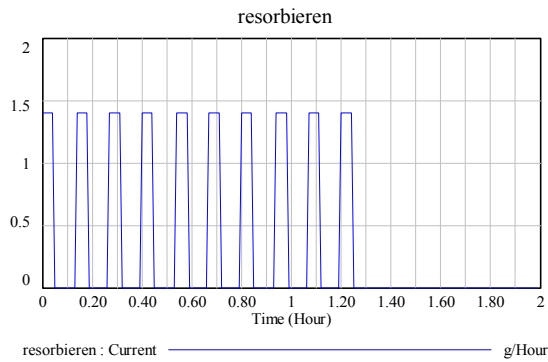


Abbildung 4: Simulation der periodischen Applikationen (Zeitdiagramm)

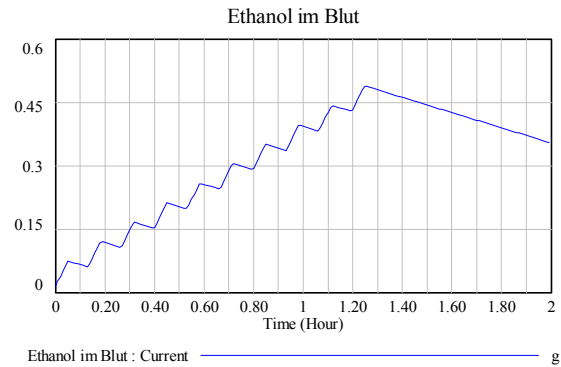


Abbildung 5: Zeitverlauf des Ethanols im Blut (Zeitdiagramm)

1.4.6 Interpretation

Die Übereinstimmung der Simulationsdaten mit den Messungen ist, auch bei dieser komplexen Anwendung in der Größenordnung richtig.

Bei der höchsten Konzentration von Ethanol (95 Vol.%) tritt eine Veränderung der Haut auf, welche sie schlechter permeabel macht. Dieser Aspekt ist im Modell nicht berücksichtigt, weshalb hier die Übereinstimmung nicht sehr gut ist.

Die mit diesen Messungen und Abschätzungen erhaltenen dermal erreichten Blutalkoholgehalte sind beim Menschen klein und unbedenklich, denn sie erreichen Werte von ca. 0.05 ‰²⁵.

Der LD(50) beim Kaninchen ist dermal rund 3 mal höher als oral, was ein weiterer Hinweis darauf ist, dass ein markanter Unterschied der beiden Aufnahmewege besteht.

1.5 Weitere Hinweise in der Literatur

Die dermale Absorption von Ethanol liegt bei $1.2 \cdot 10^{-3}$ cm/h. In Untersuchungen von Deichmann wurde $\frac{1}{2}$ -1 Stunde nach Applikation von 3 ml Ethanol/kg auf Kaninchenhaut 0.13-0.14 mg Alkohol im Blut nachgewiesen²⁶. Toxische Dosen können, so die Interpretation, über eine percutane Resorption nicht erreicht werden.

Dieses Beispiel lässt sich mit den ungenauen Angaben nicht nachvollziehen. Es fehlen die Oberfläche, eine genaue Messzeit und die Angabe, worauf die gefundenen Alkoholmengen zu beziehen sind. Die Folgerung ist mit diesen Daten nicht nachvollziehbar.

Die Verzögerungszeit zwischen den Maxima von Ethanol im Gaskompartiment über der Haut und im Blut (delay time between peaks (TPD)) ist ca. 1 Stunde (Variationen von 30 – 120 Minuten sind gemessen worden²⁷). Diese Verzögerung macht deutlich, dass gute Aussagen nur mit dynamischen Modellen gemacht werden können.

1.5.1 Beispiel 3: Badewanne

Frage in der Zeitschrift „Die Zeit“²⁸:

„Ein Freund behauptet, nach einem Bad mit 50 Litern Sekt im Wasser sternhagelvoll gewesen zu sein. Er schwört, keinen Schluck davon getrunken zu haben. Kann man Alkohol durch die Haut aufnehmen?“ (Hinweis auf dieses Beispiel von Thomas Müntefering²⁹)

Tabelle 5: Alkoholgehalte von Sekt³⁰

Sekt	Alkoholgehalt Vol. %
Cuvée für Schaumwein	8.5
Schaumwein	9.5
Cuvée für Qualitätsschaumwein, Sekt	9
Qualitätsschaumwein, Sekt	10

Die Alkohol-Konzentration von Sekt liegt selten über 12 Vol. % (Beispiel siehe Abbildung).

50 Flaschen à 0.75 Liter entsprechen 37.5 Liter. Mit einem durchschnittlichen Alkoholgehalt von 10% ergeben sich 3.75 Liter Ethanol, damit 2.96 kg Ethanol.

Zeitdiagramm:

Volumen 200 Liter (Badewanne)

Alkoholgehalt 10 Vol.%, in der Wanne 1.875 Vol.%.



1.5.2 Simulation

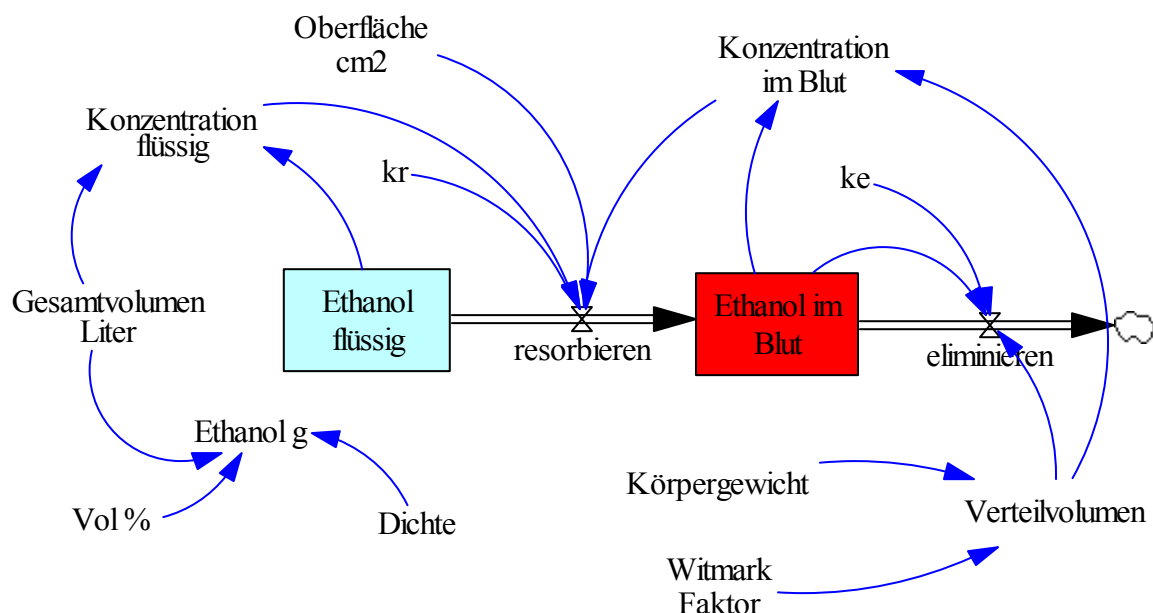


Abbildung 6: Simulationsdiagramm der Alkoholaufnahme in einer Badewanne mit Sekt.

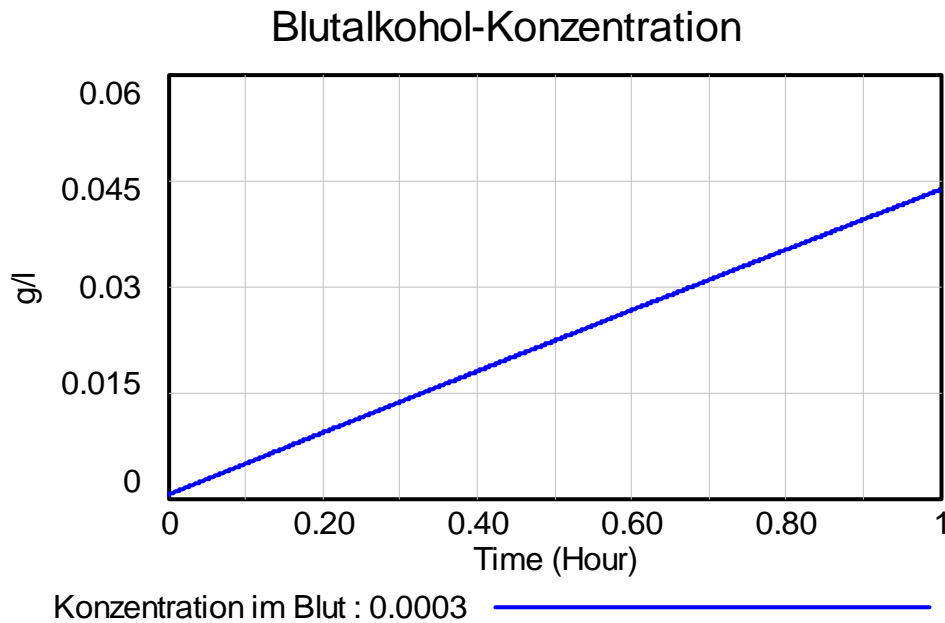


Abbildung 7: Zeitdiagramm des Alkoholverlaufs im Blut beim baden in einer Badewanne mit Sekt

Ordinate: Blutalkoholpromille für eine erwachsene Person mit 70 kg Körpergewicht.

Hoch: Penetrationsrate $0.0007 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

Normal: Penetrationsrate $0.0003 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

Bei Ethanolkonzentrationen $<2\%$ ca. $0.00005 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$

1.5.3 Interpretation

Die Simulationen machen deutlich, dass beim langen (!) Baden in der Badewanne mit Sekt, die Blutalkohol-Konzentrationen keine Werte erreichen, bei welchen ein kräftiger Rausch auftritt (Konzentration $> 1.4 \text{ ‰}$) oder gar gefährlich werden können.

Die Inhalation der Ethanolämpfe in der Badewanne ist in diesem Modell noch nicht berücksichtigt. Das wäre jedoch mit folgenden Angaben möglich:

Die Exposition in Ruhe mit 1900 mg/m^3 Ethanol in der Atemluft während 4 Stunden führt zu einer Blutalkoholkonzentration von ca. $2 \text{ mg/l}^{14} = 0.002 \text{ ‰}$.

Bei einer Konzentration von 1.85 ‰ Ethanol im Badewasser bildet sich über der Oberfläche bei 30°C eine Konzentration von 1397 ppm . Das ergibt bei 1 Stunde Badedauer einen Blutalkoholgehalt von 0.00037 ‰ , was vernachlässigt werden kann.

Am 15. November 2007 wurde bekannt, dass in Japan der Beaujolais nouveau (Beaujolais primeur, Alkoholgehalt ca. 12%) zum Baden verwendet wird³¹. Die Konzentration im Badewasser ist wahrscheinlich ziemlich klein, was heisst, dass keine Betrunkenheit erwartet werden muss.

Am 21. November 2008, 21.15h, wurde im ZDF in der Sendung "Das will ich wissen" der Badewannenversuch gemacht. Die Frau mit 55 kg Körpergewicht hatte nach ca. 35 Minuten einen Blutalkoholgehalt von 0.28 ‰ (0.28 g Ethanol pro Liter Blut).

Anhang

1.5.4 Dokumentation Beispiel 1

- (01) Dichte= 0.7894*1000
Units: g/l
- (02) Ethanol aufgenommen= INTEG (-resorbieren, Ethanol g)
Units: g [0,?]
- (03) Ethanol g= Gesamtvolumen Liter*"Vol %"/100*Dichte
Units: g [0,?]
- (04) Ethanol im Blut= INTEG (resorbieren, 0.0135)
Units: g [0,5]
g Ethanol
- (05) FINAL TIME = 2
Units: Hour
The final time for the simulation.
- (06) Gesamtvolumen Liter= 0.5
Units: l [0,1,0.1]
0.01 l = 10 ml, 0.02 = 20 ml
- (07) INITIAL TIME = 0
Units: Hour
The initial time for the simulation.
- (08) kr= 0.0003
Units: g/cm2/Hour [0.0001,0.001]
0.0007 g/cm2/h: max. Penetrationsrate für 25% Ethanol in Wasser (worst case); 0.003 Normalfall
- (09) Oberfläche cm2= 2000
Units: cm2 [0,22000]
Betroffene Hautoberfläche, Gesamtoberfläche: 1.6-2.2 m2 = 16000-22000 cm2
- (10) resorbieren= kr*Oberfläche cm2
Units: g/Hour [0,?]
Der Konzentrationsquotient ist die treibende Kraft für die Resorption (Diffusion); Die verzögerte Rückkopplung verlangt diese Entscheidung, sonst bilden sich negative Massen. Die Kopplung berücksichtigt die Konzentrationsabhängigkeit der Diffusion.
- (11) SAVEPER = TIME STEP
Units: Hour [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (12) TIME STEP = 0.001
Units: Hour [0,?]
The time step for the simulation.
- (13) "Vol %"= 25
Units: Dmnl [0,100,5]
Alkoholgehalt in Volumen%

1.5.5 Dokumentation Beispiel 2

- (01) Dauer= 0.05
Units: Hour [0,0.1,0.01]
0.05 entspricht 3 Minuten
- (02) Dichte= 0.7894*1000
Units: g/l
- (03) eliminieren= IF THEN ELSE(Ethanol im Blut<0.0135, 0, ke)
Units: g/Hour [0,?]
Die verzögerte Rückkopplung verlangt diese Entscheidung
- (04) Ende= 1.33
Units: Hour [0,8,0.25]
80 Minuten = 1.33 Std.
- (05) Ethanol aufgenommen= INTEG (+verdunsten-resorbieren, Ethanol g)
Units: g
- (06) Ethanol eliminiert= INTEG (eliminieren, 0)
Units: g [0,?]

- (07) Ethanol g= Gesamtvolumen Liter*"Vol %"/100*Dichte
Units: g [0,?]
- (08) Ethanol im Blut= INTEG (+resorbieren-eliminieren, 0.0135)
Units: g [0,5]
g Ethanol
- (09) Ethanol verdunstet= INTEG (verdunsten, 0)
Units: g [0,?]
- (10) FINAL TIME = 2
Units: Hour
The final time for the simulation.
- (11) Gesamtvolumen Liter= 0.02
Units: l [0,300]
0.01 l = 10 ml, 0.02 = 20 ml
- (12) INITIAL TIME = 0
Units: Hour
The initial time for the simulation.
- (13) ke= 0.2
Units: g/l/Hour [0.1,0.22]
- (14) kr= 0.0003
Units: g/cm²/Hour [0.0001,0.001]
0.0007 g/cm²/h: max. Penetrationsrate für 25% Ethanol in Wasser (worst case); normal: 0.003
- (15) kv= 0.4617
Units: g/cm²/Hour [0,?]
461.7 mg·cm²·h⁻¹
- (16) Oberfläche cm²= 2000
Units: cm² [0,22000]
Betroffene Hautoberfläche, Gesamtoberfläche: 1.6-2.2 m² = 16000-22000 cm²
- (17) resorbieren=PULSE TRAIN(Start, Dauer , Wiederholungszeit , Ende)*kr*Oberfläche cm²
Units: g/Hour [0,?]
Der Konzentrationsquotient ist die treibende Kraft für die Resorption (Diffusion); Die verzögerte Rückkopplung verlangt diese Entscheidung, sonst bilden sich negative Massen. Die Kopplung berücksichtigt die Konzentrationsabhängigkeit der Diffusion.
- (18) SAVEPER = 0.01
Units: Hour [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (19) Start= 0
Units: Hour [0,?]
- (20) TIME STEP = 0.0001
Units: Hour [0,?]
The time step for the simulation.
- (21) verdunsten=PULSE TRAIN(Start, Dauer , Wiederholungszeit , Ende)*kv*Oberfläche cm²
Units: g/Hour [0,?]
- (22) "Vol %"= 55
Units: Dmnl [55,95,10]
Alkoholgehalt in Volumen%
- (23) Wiederholungszeit= 0.133
Units: Hour [0,8,0.25]
Jede Stunde eine Applikation, 8 Minuten = 0.133 Std.

1.5.6 Dokumentation Beispiel 3

- (01) Dichte= 0.7894*1000
Units: g/l
- (02) eliminieren= IF THEN ELSE(Ethanol im Blut>0.014, ke*Verteilvolumen ,0)
Units: g/Hour [0,?]
Die verzögerte Rückkopplung verlang diese Entscheidung
- (03) Ethanol flüssig= INTEG (-resorbieren , Ethanol g)
Units: g [0,?]
- (04) Ethanol g= Gesamtvolumen Liter*"Vol %"/100*Dichte
Units: g [0,?]
- (05) Ethanol im Blut= INTEG (+resorbieren-eliminieren, 0.0135)
Units: g [0,5]

- g Ethanol
- (06) FINAL TIME = 1
Units: Hour
The final time for the simulation.
- (07) Gesamtvolumen Liter= 200
Units: l [0,300]
0.01 l = 10 ml
- (08) INITIAL TIME = 0
Units: Hour
The initial time for the simulation.
- (09) ke= 0.2
Units: g/l/Hour [0.1,0.22]
- (10) Konzentration flüssig= Ethanol flüssig/Gesamtvolumen Liter
Units: g/l [0,?]
Angabe in Promillen
- (11) Konzentration im Blut= Ethanol im Blut/Verteilvolumen
Units: g/l [0,?]
Angabe in Promillen
- (12) Körpergewicht= 70
Units: kg [50,100]
- (13) kr= 5e-005
Units: l/cm²/Hour [1e-005,0.0008]
Penetrationsrate für 25% Ethanol in Wasser 0.0007; normal 0.0003; bei Ethanolkonz. < 2% ca. 0.00005
- (14) Oberfläche cm²= 15000
Units: cm² [0,22000]
Betroffene Hautoberfläche, Gesamtoberfläche: 1.6-2.2 m² = 16000-22000 cm²
- (15) resorbieren= kr*Oberfläche cm²*((Konzentration flüssig)-(Konzentration im Blut))
Units: g/Hour [0,?]
Die Konzentrationsdifferenz ist die treibende Kraft für die Resorption (Diffusion); Die verzögerte Rückkopplung verlangt diese Entscheidung, sonst bilden sich negative Massen
- (16) SAVEPER = TIME STEP
Units: Hour [0,?]
The frequency with which output is stored.
- (17) TIME STEP = 0.001
Units: Hour [0,?]
The time step for the simulation.
- (18) Verteilvolumen= Witmark Faktor*Körpergewicht
Units: l [0,?]
- (19) "Vol %"= 1.875
Units: Dmnl [0,12,0.5]
Alkoholgehalt in Volumen%
- (20) Witmark Faktor= 0.65
Units: l/kg [0.5,0.8]

1.6 Literatur

- ¹ Zemansky Mark W., Dittman Richard H., Heat and Thermodynamics, McGraw Hill, 1937
- ² Bützer Peter, Verdunsten von Alkohol bei Whisky, <http://www.buetzer.info/fileadmin/pb/pdf-Dateien/Verdunsten%20von%20Alkohol%20bei%20Whisky.pdf>, 2007-11-12
- ³ Caelo, Ethanol, Sicherheitsdatenblatt, <http://www.caelo.de/testLFS/sdb/7810.pdf>, 2007-11-09
- ⁴ Ethanol, Safety data for ethyl alcohol, absolute (200 proof), http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/ET/ethyl_alcohol.html, 2007-11-09
- ⁵ U.S. National Toxicology Program acute toxicity studies for Ethyl alcohol, http://www.pesticideinfo.org/List_NTPStudies.jsp?Rec_Id=PC33233, 2007-11-09
- ⁶ Fisher Scientific, Ethanol, MSDS, <https://fscimage.fishersci.com/msds/89308.htm>, 2007-11-11
- ⁷ Burdick & Jackson, Ethanol, MSDS, <http://www.cise.columbia.edu/clean/msds/ethanol.pdf>, 2007-11-11
- ⁸ Sax Irving N., Dangerous Properties of Industrial Materials, 6th edition, ethyl alcohol, 1984, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1316-1317
- ⁹ Dutch Expert Committee on Occupational Standards, a committee of the Health Council of the Netherlands, Ethanol (ethyl alcohol), Evaluation of the health effects from occupational exposure, 2006, 11 July, 52
- ¹⁰ Rath Birgit, Baumann Michael A., Permeationsverhalten verschiedener Handschuhe bei Einwirkung eines alkoholischen Händedesinfizienz, Int Poster J Dent Oral Med 1999, Vol 1 No 3, Poster 22.
- ¹¹ Anderson Joseph C., Hlastala Michael P., The Kinetics of Transdermal Ethanol Exchange, 2006, J Appl Physiol 100: 649-655.
- ¹² Guy Richard H., Modeling Biomembrane Transport: Prediction and Assessment of Dermal Exposure, <http://www.bath.ac.uk/pharmacy/staff/extraimg/guy/fig5a.jpg>, 2007-11-09
- ¹³ Dutch Expert Committee on Occupational Standards, a committee of the Health Council of the Netherlands, Ethanol (ethyl alcohol), Evaluation of the health effects from occupational exposure, 2006, 11 July, 52
- ¹⁴ Dutch Expert Committee on Occupational Standards, a committee of the Health Council of the Netherlands, Ethanol (ethyl alcohol), Evaluation of the health effects from occupational exposure, 2006, 11 July, 22
- ¹⁵ Anderson Joseph C., Hlastala Michael P., The kinetics of transdermal ethanol exchange, 2006, J Appl Physiol 100: 649-655.
- ¹⁶ Steiling Winfried, Die dermale Bioverfügbarkeit von Substanzen, Herbsttagung des Arbeitskreises: Regulatorische Toxikologie der DGPT, 2004, 6. Oktober
- ¹⁷ Steiling Winfried, Die dermale Bioverfügbarkeit von Substanzen, Herbsttagung des Arbeitskreises: Regulatorische Toxikologie der DGPT, 2004, 6. Oktober
- ¹⁸ Wissenschaftliche Tabellen, Geigy, Ciba-Geigy, Basel, 1980, 223.
- ¹⁹ Kunsch Konrad, Kunsch Steffen, Der Mensch in Zahlen, area verlag GmbH, Erfstadt, 2005, 130
- ²⁰ Riedel Silke, Vergleichende Untersuchungen zur dermalen Penetration und Permeation in Diffusionszellen, 2003, Dissertation, Institut für Pharmakologie, Toxikologie und Pharmazie der Tierärztlichen Hochschule Hannover
- ²¹ Vensim ® PLE, Ventana Systems Inc., Version 5.7
- ²² Bützer Peter, Roth Markus, Die Zeit im Griff, Systemdynamik in Chemie und Biochemie, Verlag Pestalozzianum, 2006
- ²³ Dutch Expert Committee on Occupational Standards, a committee of the Health Council of the Netherlands, Ethanol (ethyl alcohol), Evaluation of the health effects from occupational exposure, 2006, 11 July, 186

-
- ²⁴ Kramer Axel, Below Harald, Bieber Nora, Kampf Guenter, Toma Cyril, Hubner Nils-Olaf, Assadian Ojan, Quantity of ethanol absorption after excessive hand disinfection using three commercially available hand rubs is minimal and below toxic levels for humans, 2007, BMC Infect Dis., Oct 11;7 (1):117 17927841
- ²⁵ Bohnert Michael, Forensische Alkoholologie, <http://www.uniklinik-freiburg.de/rechtsmedizin/live/lehre/materialien/skripte/Alkoholologie.pdf>, 2007-11-09
- ²⁶ Rath Birgit, Baumann Michael A., Permeationsverhalten verschiedener Handschuhe bei Einwirkung eines alkoholischen Händedesinfizienz, Int Poster J Dent Oral Med 1999, Vol 1 No 3, Poster 22.
- ²⁷ Barone Patrick T., Alcohol Monitoring Ankle Bracelets: Junk Science Or Important Scientific Breakthrough?, http://www.1800duilaws.com/article/alcohol_monitoring_ankle_bracelets.asp, 2007-11-11
- ²⁸ Astrid Suding, Stimmts?, DIE ZEIT, 11.10.2007 Nr. 42
- ²⁹ Müntefering Thomas, e-Mail vom Do 08.11.2007
- ³⁰ Verband deutscher Sektkellereien, sektlexikon, http://www.deutscher-sektverband.de/html/lexi_a.html, 2007-11-11
- ³¹ Willms Johannes, Der Kater nach dem Erfolgsrausch, <http://www.sueddeutsche.de/leben/special/579/131346/index.html/leben/artikel/444/143127/article.html>, 2007-11-17