

# Iod (alt: Jod<sup>1</sup>)

Peter Bützer

## Inhalt

1	Etwas Geschichte .....	1
2	Physiologie .....	2
3	Iodmangel.....	3
4	Iodgehalte von Lebensmitteln .....	4
5	Wichtige Daten.....	5
6	Aufgabe .....	5
7	Simulation, Lösung .....	6
7.1	Simulationsdiagramm.....	6
7.2	Zeitdiagramm .....	7
7.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	7
7.4	Zusätzlicher Verlust durch Sport.....	8
7.4.1	Simulationsdiagramm.....	8
7.4.2	Zeitdiagramm .....	9
7.4.3	Gleichungen (nur für 60 Tage).....	9
7.4.4	Interpretation .....	10
7.5	Bessere Simulation unter Berücksichtigung des Blutserums .....	11
7.5.1	Simulationsdiagramm.....	11
7.5.2	Zeitdiagramm .....	11
7.5.3	Dokumentation (Gleichungen, Parameter).....	11
7.5.4	Mögliche Erweiterung.....	13

## 1 Etwas Geschichte

Vor 1823 stellte Jean Baptiste André Dumas (1800-1884) in Genf Iodpräparate gegen Kropf her<sup>2</sup>. Auf dem Gebiet der Schilddrüsenerkrankungen ist unbestreitbar der Schweizer Theodor Emil Kocher (1841-1917) sehr bekannt. Er wurde im Jahr 1909 für seine Arbeiten mit dem Medizin-Nobelpreis ausgezeichnet. Dieser international anerkannte Berner Professor der Chirurgie hat eine Methode der Kropfoperation entwickelt - im Jahr 1909 wurde er für seine Arbeiten mit dem Nobelpreis für Medizin ausgezeichnet. Im Jahre 1915 verkündete der Landarzt Heinrich Hunziker<sup>3</sup>: „Der Kropf entsteht durch Jodmangel in der Nahrung. Jod ist kein Gift. In kleinen Mengen regelmässig verabreicht, lässt Jod die Kröpfe zurückbilden und verhindert auch ihre Entstehung.“ Im selben Jahr gelang die erste Reinherstellung des Schilddrüsenhormons T<sub>4</sub> von Kendall durch alkalische Hydrolyse von

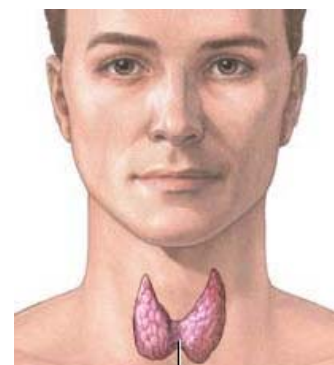


Abbildung 1: Lage der Schilddrüse

<sup>1</sup> Lang Konrad, Wasser, Mineralstoffe, Spurenelemente, Dr. Dietrich Steinkopff Verlag, Darmstadt, 1974, S.100-104

<sup>2</sup> Böhm Walter, Die Naturwissenschaftler und ihre Philosophie, Herder & Co Wien, 1961, S.259

<sup>3</sup> Miniger Max, La Chaux, Eine verschwundene Geissel der Menschheit: Der Kretinismus der Alpen, DIE ALPEN (SAC), 4. Quartalsheft, 1983, S. S. 239 – 246. (Die Originalsprache des Beitrags ist französisch: LES ALPES, 4 Trimestriel 1983, pages 239.)

tierischen Schilddrüsen (etwa 3000 kg Schilddrüsen ergaben nur 33 g Reintthyroxin). 1922 führte der Kanton Appenzell-Ausserrhoden als erster Schweizer Kanton das Kochsalz mit Iodzusatz ein. Der Erfolg blieb nicht aus, denn die später gesamtschweizerisch durchgesetzte Vorsorge mit Iodsalz hatte weltweiten Pioniercharakter. 1926/27 erfolgten Strukturermittlung und Synthese durch Charles Robert Harington (1897 - 1972) und George Barger (1878 - 1939).

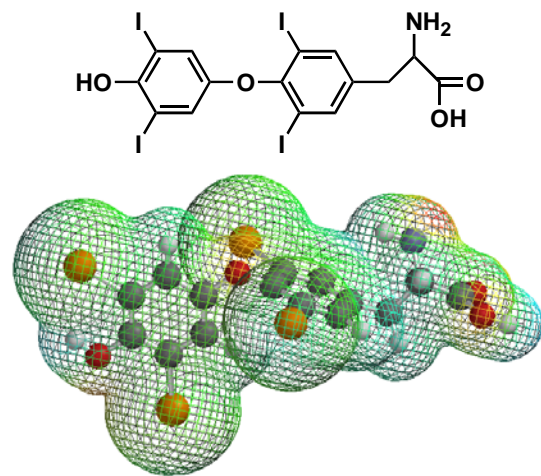
## 2 Physiologie

Der Körpervorrat an Iod beträgt im Mittel 10-30 mg. Etwa  $\frac{3}{4}$  des gesamten Iods im menschlichen Körper befindet sich in der Schilddrüse. Die Schilddrüse wiegt bei Neugeborenen etwa 2 g, bei Schulkindern 10 bis 15 g und bei Erwachsenen bis 25 g.

Anorganisches Iodid wird vom Organismus zur Herstellung der Schilddrüsenhormone Thyroxin (T4) und Triiodthyronin (T3) benötigt (organisch gebundenes Iod).



**Abbildung 2: Triiodthyronin, T3**  
T3 ist etwa fünf bis zehn mal stärker wirksam anregend auf den Stoffwechsel als T4<sup>4</sup>.



**Abbildung 3: Thyroxin, T4**  
Man erkennt die grossen, unpolaren Iodatome.

Die Halbwertszeit der Iodidaufnahme bis zur Schilddrüse beträgt ca. 12 Stunden. Die Iodkonzentration in der Schilddrüse ist ca. 20-50 mal höher als im Plasma. Hier werden die beiden Thyroidhormone T3 und T4 produziert. Dabei ist T3 fünfmal wirksamer als T4. Täglich werden durch die Schilddrüse durchschnittlich 90-100 µg T4 und 8-10 µg T3 gebildet und in der Schilddrüse gespeichert.

Die biologische Halbwertszeit im Blut von T3 beträgt ca. 12-24 Stunden, die von T4 6-8 Tage<sup>5</sup>. Die Ausscheidung erfolgt grösstenteils über die Nieren.

### Regelung

Die Thyroid-Hormone steigern den Grundumsatz und wirken auf den Stoffwechsel von Kohlenhydraten, Lipiden und Proteinen. Die wachstumsfördernde Wirkung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine ungestörte kindliche Entwicklung. Die Regulation der Schilddrüse-Aktivität erfolgt über das Zentralnervensystem. Das Thyreotropin-Releasinghormon (TRH, Thyreoliberin) aus dem Hypothalamus führt zur Ausschüttung von Threoidea-stimulierendem Hormon (TSH, Thyreotropin) aus dem Vorderlappen der Hypophyse, das seinerseits die Schilddrüse anregt. Die Hormonkonzentration von T3 und T4 im Blut wirkt hemmend auf die Freisetzung von TRH (negative Rückkopplung).

<sup>4</sup> Lüllmann H., Mohr K., Ziegler A., Taschenatlas der Pharmakologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart/New York, 1994, 239

<sup>5</sup> Füger B.J., Zettinig G., Pirich Ch., Dudczak R., Jodstoffwechsel, Journal für Ernährungsmedizin, 4 (2), 2002, 8

Der tägliche Iodbedarf eines Menschen liegt bei mindestens 70 µg, wobei die WHO als optimale Zufuhr 150 bis 300 µg pro Tag empfiehlt (Der durchschnittliche tägliche Iodbedarf beträgt für Kinder und ältere Menschen 180 µg, für Jugendliche und Erwachsene mittleren Alters 200 µg. Schwangere und Stillende sollten 230 bis 260 µg pro Tag zu sich nehmen).

Nur bei ausreichender Iodaufnahme kann in der Schilddrüse die benötigte Menge dieser Hormone gebildet werden. Diese wichtigen Hormone steuern den gesamten Stoffwechsel und beeinflussen somit unser Wohlbefinden und unsere Gesundheit wesentlich. Die Schilddrüsenhormone steuern die Eiweissbildung im Körper und regeln den Energieverbrauch. Bei einem Iodmangel laufen diese Prozesse eingeschränkt ab. Auch die Immunabwehr wird in Mitleidenschaft gezogen. Die Infektanfälligkeit steigt, der Energieverbrauch sinkt und die Leistungsfähigkeit nimmt ab.

Der Energieverbrauch unseres Körpers ist abhängig vom Grundumsatz, d. h. der Menge Energie, die in Ruhe verbraucht wird, um z.B. die Körpertemperatur und die Funktion der inneren Organe aufrecht zu erhalten. Sinkt durch Iodmangel der Grundumsatz, sinkt auch der Energieverbrauch. Man nimmt leichter an Gewicht zu und Diäten sind weniger erfolgreich.

Chronischer Iodmangel lässt die Schilddrüse anwachsen. Je nach Ausprägung der Krankheit ist die vergrösserte Schilddrüse als Kropf am Hals (medizinisch: Struma) sichtbar.

Schilddrüsenvergrösserungen sind sehr häufig, auch in der Schweiz. Meist produziert die Schilddrüse trotz Struma aber noch ausreichend Schilddrüsenhormone. Das im Innern Europas bestehende Ioddefizit ist bei Sportlern besonders gross, weil sie keine Meeresfrüchte zu sich nehmen. Denn mit jedem Liter Schweiß gehen fast 15% der durchschnittlichen, minimalen Tagesaufnahme eines Menschen an Iod verloren. Bei mittlerer Sportintensität verliert der Körper etwa 0.5 – 1.0 Liter Schweiß pro Stunde. Bei intensiven Belastungen oder beim Sport in grosser Hitze können mehr als drei Liter Schweiß pro Stunde ausgeschieden werden und mit jedem Liter Schweiß auch ca. 10 µg Iod. Bei zweistündiger Betätigung können somit bis zu 30 µg Iod mit dem Schweiß verlorengehen.

Leistungs- und Konzentrationsschwächen sind häufig nicht das Ergebnis einer falschen Trainingsplanung, sondern die Folgen unausgeglichener Ioddefizite. Und so manche Frühjahrsmüdigkeit ist in Wahrheit ein versteckter Iodmangel. Im Verlauf der geologischen Entwicklung wurde in Europa Iod weitgehend aus den Böden ausgeschwemmt und mit Bächen und Flüssen ins Meer transportiert. Die landwirtschaftlich zur Nahrungsproduktion genutzten Flächen enthalten deshalb nicht genügend Iod, während es in den Weltmeeren in relativ hohen Konzentrationen vorkommt. Deshalb findet man in Küstenregionen auch eine bessere Iodversorgung der Menschen.

Die Mehrzahl der Lebensmittel pflanzlicher und tierischer Herkunft ist iodarm. Praktische Bedeutung als Iodlieferanten haben Meeresfische und andere maritime Produkte, weiterhin Iodsalz, mit Iodsalz hergestellte Back- und Fleischwaren, einige Mineral- und Heilwässer sowie Milch und Milcherzeugnisse.

### **3 Iodmangel**

Die Symptome eines Iodmangels, der zu einer Unterfunktion der Schilddrüse (Hypothyreose) führt, zeigen sich meist schleichend, so dass man anfangs keine Beschwerden wahrnimmt. Erst bei einer stärkeren Unterfunktion klagen die Betroffenen über:

- Müdigkeit
- Antriebsarmut
- Wachstums- und Entwicklungsstörungen bei Kindern
- Gesteigertes Schlafbedürfnis
- Konzentrationsstörungen
- Kälteempfindlichkeit
- Obstipation, also Verstopfung

Bei Iodmangel sind Aktivität und Aufmerksamkeit verlangsamt. Der Puls ist verlangsamt und die Muskeleigenreflexe sind abgeschwächt. Viele Funktionen sind somit langsamer und träger: geistige und körperliche Fähigkeiten lassen nach - schlecht für die sportliche und mentale Leistungsfähigkeit. Die Haut ist trocken, kühl, blass und häufig teigig aufgetrieben als Folge einer vermehrten Flüssigkeitseinlagerung in das Unterhautfettgewebe. Man bezeichnet diese Veränderung als Myxödem. Die Stimme dieser Patienten ist infolge eines Myxödems der Stimmbänder rau und heiser, die Sprache häufig undeutlich und verwaschen, und zwar aufgrund eines Myxödems der Zunge.

Kropferzeugende Stoffe: In den Kohl- und Krautarten der Gattung Brassica sind kropferzeugenden (strumige) Substanzen enthalten. Beispiele sind: Weisskraut, Rotkraut, Wirsig, Kohlrabi, Sommerraps, Blumenkohl, und Speiserüben. Auch Senfarten, Rettich, Meerrettich Gartenkresse, Zwiebel und Cassava kommen solche Substanzen vor. Hier sind es zwei molekulare Mechanismen, die zu Kropf (Struma) führen können:

- Verminderung der Iodaufnahme (SCN-, ClO<sub>4</sub>-)
- Hemmung der Schilddrüsenfunktion (Thioharnstoff)

## 4 Iodgehalte von Lebensmitteln

**Tabelle 1: Iod-Mittelwert pro 100 g essbarem Anteil und erforderliche täglich notwendige Aufnahmemenge für 100 µg Iod.**

<u>Fisch:</u> Schellfisch 243 µg ; 41 g Kabeljau 170 µg ; 59 g Miesmuschel 130 µg ; 77 g Garnelen 130 µg ; 77 g Auster 58 µg ; 170 g Scholle 53 µg ; 189 g Heilbutt 52 µg ; 190 g Thunfisch 50 µ 200 g Hering 39 µg ; 256 g Lachs 34 µg ; 294 g Flussbarsch 4 µg ; 2500 g Aal 4 µg ; 2500 g Regenbogenforelle 4 µg ; 2500 g Karpfen 2 µg ; 5000 g	<u>Milchprodukte:</u> Kondensmilch 6,7 µg ; 1493 g Edamer Käse 4,0 µg ; 2500 g Joghurt 3,5 µg ; 2857 g Speisequark 3,4 µg ; 2941 g Butter 2,9 µg ; 3448 g  <u>Fleisch:</u> Rindfleisch 6,8 µg ; 1471 g Schweinefleisch 5,2 µg ; 1923 g Kalbfleisch 2,8 µg ; 3571 g  <u>Gemüse:</u> Spinat 12,0 µg ; 833 g Radieschen 8,0 µg ; 1250 g Gurke 1,9 µg ; 5263 g Kartoffel 1,5 µg ; 6666 g	<u>Eier:</u> Hühnerei (Gesamtinhalt) 9,8 µg ; 1020 g <u>Obst:</u> Apfel 1,1 µg ; 9090 g Birne 1,0 µg ; 10000 g Kirsche (süss) 0,9 µg ; 11111 g  <u>Getränke:</u> Tee (schwarz) 10,7 µg ; 935 g Kaffee (geröstet) 3,3 µg ; 3030 g  <u>Milch:</u> Muttermilch 6,3 µg ; 1587 g Kuhmilch 3,3 µg ; 3030 g  <u>Getreide:</u> Roggenbrot 8,5 µg ; 1176 g Haferflocken 5,9 µg ; 1695 g Weissbrot 5,8 µg ; 1724 g Reis 2,2 µg ; 4545 g
---	--	--

Bei der Zubereitung wird ausserdem Iod im Kochwasser gelöst und geht damit verloren.

Die Iodidtabletten, die bei schweren Reaktorunfällen an die Bevölkerung ausgegeben werden, enthalten tausendmal mehr Iod als die üblichen Iodidtabletten (KI), die für eine Kropfvorsorge verschrieben werden. Diese Tabletten können bei entsprechender Gefahr die Aufnahme von radioaktivem Iod (Iod-131) in die Schilddrüse erheblich verringern. Bei der in der Schweiz gemessenen verhältnismässig geringen Strahlenbelastung nach Tschernobyl war die Einnahme dieser Tabletten aber nicht erforderlich.

## 5 Wichtige Daten

- Die optimale Zufuhr von Iod (als Iodid) nach WHO beträgt ca. 150 bis 300 µg pro Tag.
- Anorganisches Iodid wird im Dünndarm zu nahezu 100 %, perkutan (durch die Haut) jedoch gering und unkontrolliert resorbiert. In 2 Stunden sind 80% resorbiert, Annahme: HWZ = 1 h
- Die Iod-123-Szintigraphie erfolgt 24 Stunden nach der Applikation<sup>6</sup>. Daraus folgt: die Halbwertszeit von Iodid von der Aufnahme in den Darm bis es von der Schilddrüse aufgenommen ist, beträgt ca. 12 Stunden.
- Das Verteilungsvolumen beim Gesunden beträgt im Mittel etwa 23 Liter (38 % des Körpergewichtes).
- Iodgehalt der Schilddrüse ist ca. 10-30 mg; Durchschnitt 15 mg,
- Die Schilddrüse produziert täglich etwa 90 µg T4 und 8 µg T3.
- Der Serumspiegel von anorganischem Iod liegt normalerweise zwischen 0,1 und 0,5 µg/dl<sup>7</sup>.
- Der Körper verliert pro Liter Schweiß ca. 10 µg Iod.
- Im Speichel, im Magensaft und in der Milch beträgt die Iodidkonzentration etwa das Dreissigfache der Plasmakonzentration.
- Täglich werden durch die Schilddrüse durchschnittlich 90-100 µg T4 und 8-10 µg T3 gebildet und in der Schilddrüse gespeichert.
- Der Vorrat der Schilddrüse reicht ca. für 3 Monate ca. 100 Tage -> HWZ ca. 50 Tage
- Im Blut sind beide Hormone zu über 99% an Transporteiusweise gebunden und nur ein sehr geringer Anteil liegt als freies, also ungebundenes Hormon vor. Man spricht dann von freiem T3 (FT3) und freiem T4 (FT4). Stoffwechselaktiv sind nur die freien Hormone. Die Halbwertszeit für T3 beträgt 12-24 Stunden, die für T4 6-8 Tage. Unter der Halbwertszeit ist in diesem Fall die Zeit zu verstehen, nach der sich die ursprünglich vorhandene Menge dieser Hormone auf die Hälfte reduziert hat.

## 6 Aufgabe

1. Man simuliere die Iodmenge in der Schilddrüse mit einer konstanten Iodidzufuhr und einer mengenabhängigen Elimination. Lassen sich die WHO-Werte so verstehen?
2. Wie könnte man die minimal notwendige Menge von Iod für Sportler abschätzen?

---

<sup>6</sup> Dietlein M., Dressler J., Eschner W., Leisner B., Reiners C., Schicha H., Verfahrensanweisung für die Iod-131-Ganzkörperszintigraphie beim differenzierten Schilddrüsenkarzinom, [http://www.nuklearmedizin.de/publikationen/leitlinien/gk\\_szin.php](http://www.nuklearmedizin.de/publikationen/leitlinien/gk_szin.php), 2007-10-20

<sup>7</sup> Rebmann Ralf, Jodetten® akut Henning, [http://www.gifte.de/Antidote/jodetten\\_akut.htm](http://www.gifte.de/Antidote/jodetten_akut.htm), 2007-10-20

## 7 Simulation, Lösung

### Annahmen

Die Zufuhr ist als konstant angenommen.

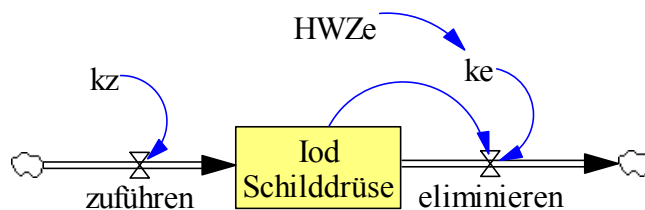
Die Aufnahme ins Blut und in die Schilddrüse ist als ein Prozess zusammengefasst.

Die Bildung von T4 und T3 wird nicht unterschieden.

Die Elimination ist als ein Prozess beschrieben, obwohl hier parallel mehrere Vorgänge ablaufen.

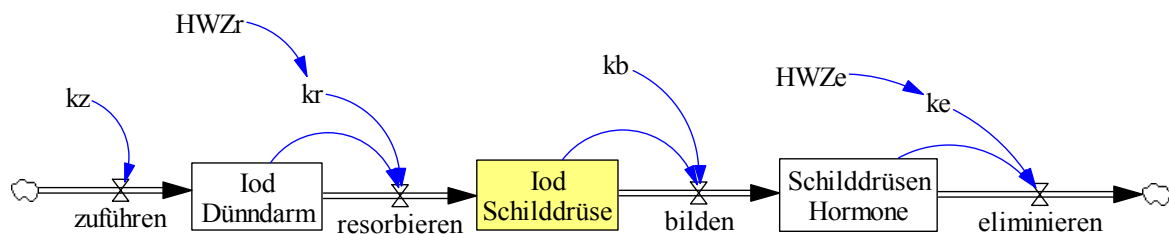
### 7.1 Simulationsdiagramm

#### 1. Ansatz



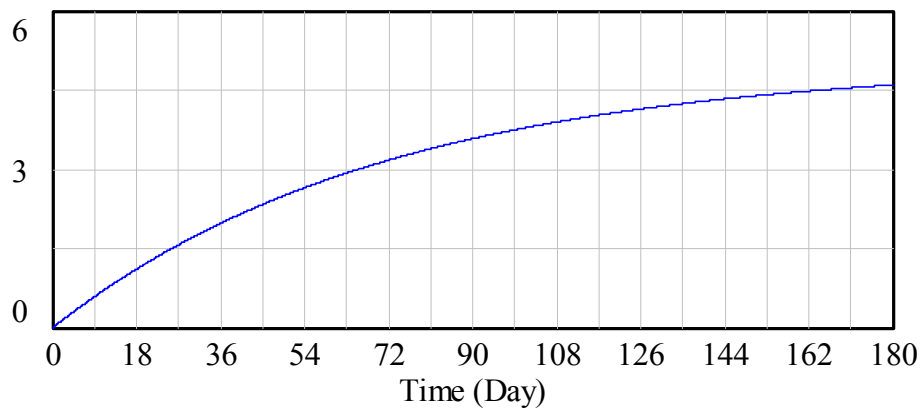
Dieser Ansatz ist noch zu einfach und liefert keine guten Resultate. Vor allem fehlen die Verzögerungen bei der Aufnahme über den Dünndarm und die Umwandlung in die Hormone vor der Ausscheidung.

#### 2. Ansatz



## 7.2 Zeitdiagramm

### Iodgehalt der Schilddrüse



austauschbar ————— mg

## 7.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01) bilden= kb\*Iod Schilddrüse  
Units: mg/Day [0,?]  
Bildung der Hormone
- (02) eliminieren= Schilddrüsen Hormone\*ke  
Units: mg/Day [0,?]
- (03) FINAL TIME = 180  
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (04) HWZe= 6  
Units: Day [0,20]  
Im Blut sind beide Hormone zu über 99% an Transporteiweiße gebunden und nur ein sehr geringer Anteil liegt als freies, also ungebundenes Hormon vor. Man spricht dann von freiem T3 (FT3) und freiem T4 (FT4). Stoffwechselaktiv sind nur die freien Hormone. Die Halbwertszeit für T3 beträgt zwanzig Stunden, die für T4 6 Tage. Unter der Halbwertszeit ist in diesem Fall die Zeit zu verstehen, nach der sich die ursprünglich vorhandene Menge dieser Hormone auf die Hälfte reduziert hat.
- (05) HWZr= 0.041  
Units: Day [0,0.2]  
In 2 Stunden sind 80% resorbiert, Annahme: HWZ = 1 h
- (06) INITIAL TIME = 0  
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (07) Iod Dünndarm= INTEG (+zuführen-resorbieren, 0)  
Units: mg [0,?]  
Iodid im Dünndarm
- (08) Iod Schilddrüse= INTEG (+resorbieren-bilden, 0)  
Units: mg [0,?]  
Iodgehalt der Schilddrüse 10 - 30 mg; Durchschnitt 10 mg, Sie produziert täglich etwa 90 µg T4 und 8 µg T3.
- (09) kb= 0.014  
Units: 1/Day [0,0.3]  
Täglich werden durchschnittlich 100 µg T4 und 10 µg T3 gebildet und in der Schilddrüse gespeichert. Der Vorrat der Schilddrüse reicht ca für 3 Monate ca. 100 Tage -> HWZ=50 Tage -> kb=0.0138
- (10) ke= LN(2)/HWZe  
Units: 1/Day [0,0.3]
- (11) kr= LN(2)/HWZr  
Units: 1/Day [0,?]
- (12) kz= 0.07  
Units: mg/Day [0,0.5]

0.07 mg ist die von der WHO empfohlene minimale tägliche Zufuhr, die optimale Zufuhr ist 150 bis 300 µg pro Tag

- (13)  $\text{resorbieren} = kr \cdot \text{Iod Dünndarm}$   
Units: mg/Day [0,?]  
Aufnahme von Iodid aus dem Dünndarm ins Blut und die Schilddrüse
- (14)  $\text{SAVEPER} = \text{TIME STEP}$   
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (15)  $\text{Schilddrüsen Hormone} = \text{INTEG}(\text{ bilden-eliminieren}, 0)$   
Units: mg [0,?]
- (16)  $\text{TIME STEP} = 0.01$   
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.
- (17)  $\text{zuführen} = kz$   
Units: mg/Day [0,?]

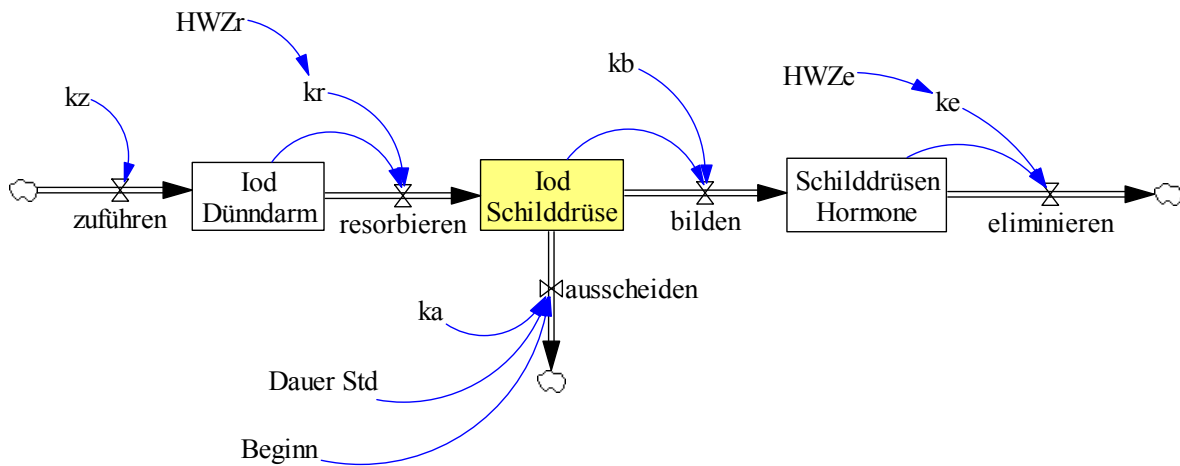
**Interpretation:** Simulation und empfohlene Werte stimmen gut überein.

Tägliche Aufnahme (µg/Tag)	Menge in der Schilddrüse (mg) simuliert Erwartet: 10 – 30 mg
70	5
150	10
300	18

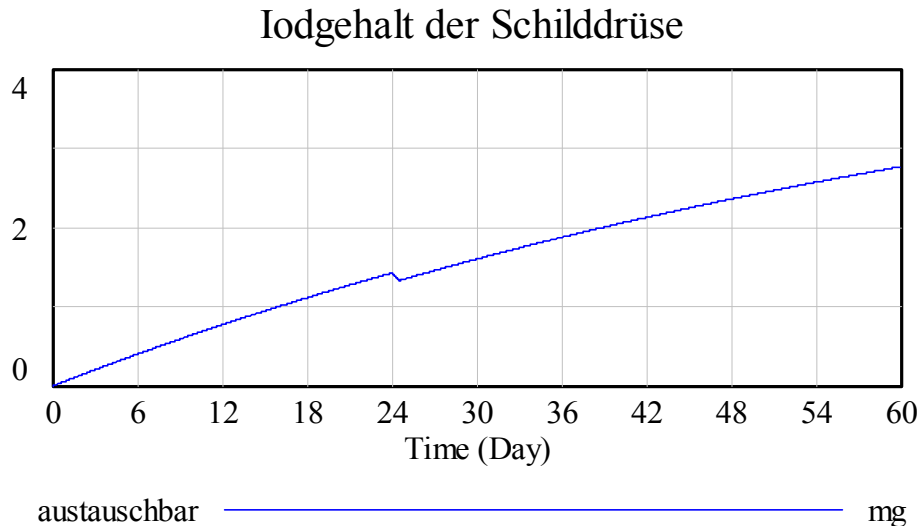
### 7.4 Zusätzlicher Verlust durch Sport

Annahme: Es wird mehr Iodid (wasserlöslich) ausgeschieden.

#### 7.4.1 Simulationsdiagramm



## 7.4.2 Zeitdiagramm



## 7.4.3 Gleichungen (nur für 60 Tage)

- (01) ausscheiden= PULSE TRAIN(Beginn, Dauer Std \*0.04167,0 , Beginn+Dauer\_Std\*0.04167 )\*ka  
Units: mg/Day [0,?]
- (02) Beginn= 24  
Units: Day [24,?]
- (03) bilden= kb\*Iod Schilddrüse  
Units: mg/Day [0,?]  
Bildung der Hormone
- (04) Dauer Std= 1  
Units: Day [0,24,0.5]
- (05) eliminieren= Schilddrüsen Hormone\*ke  
Units: mg/Day [0,?]
- (06) FINAL TIME = 60  
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (07) HWZe= 6  
Units: Day [0,20]  
Im Blut sind beide Hormone zu über 99% an Transporteiweisse gebunden und nur ein sehr geringer Anteil liegt als freies, also ungebundenes Hormon vor. Man spricht dann von freiem T3 (FT3) und freiem T4 (FT4). Stoffwechselaktiv sind nur die freien Hormone. Die Halbwertszeit für T3 beträgt zwanzig Stunden, die für T4 6 Tage. Unter der Halbwertszeit ist in diesem Fall die Zeit zu verstehen, nach der sich die ursprünglich vorhandene Menge dieser Hormone auf die Hälfte reduziert hat.
- (08) HWZr= 0.041  
Units: Day [0,0.2]  
In 2 Stunden sind 80% resorbiert, Annahme: HWZ = 1 h
- (09) INITIAL TIME = 0  
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (10) Iod Dünndarm= INTEG (+zuführen-resorbieren, 0)  
Units: mg [0,?]  
Iodid im Dünndarm
- (11) Iod Schilddrüse= INTEG (+resorbieren-ausscheiden-bilden,0)  
Units: mg [0,?]  
Iodgehalt der Schilddrüse 10-30 mg; Durchschnitt 15 mg, Sie produziert täglich etwa 90 µg T4 und 8 µg T3.
- (12) ka= 0.24  
Units: mg/Day [0,1]  
Bei sportlicher Betätigung 0.01 mg pro Liter Schweiß, also pro Tag 0.24 mg
- (13) kb= 0.014  
Units: 1/Day [0,0.3]

- Täglich werden durchschnittlich 100  $\mu\text{g}$  T4 und 10  $\mu\text{g}$  T3 gebildet und in der Schilddrüse gespeichert. Der Vorrat der Schilddrüse reicht ca für 3 Monate ca. 100 Tage  $\rightarrow$  HWZ=50 Tage  $\rightarrow$  kb=0.0138
- (14)  $k_e = \frac{\text{LN}(2)}{\text{HWZ}_e}$   
Units: 1/Day [0,0.3]
- (15)  $k_r = \frac{\text{LN}(2)}{\text{HWZ}_r}$   
Units: 1/Day [0,?]
- (16)  $k_z = 0.07$   
Units: mg/Day [0,0.5]  
0.07 mg ist die von der WHO empfohlene minimale tägliche Zufuhr, die optimale Zufuhr ist 150 bis 300  $\mu\text{g}$  pro Tag
- (17)  $\text{resorbieren} = k_r * \text{Iod Dünndarm}$   
Units: mg/Day [0,?]  
Aufnahme von Iodid aus dem Dünndarm ins Blut und die Schilddrüse
- (18)  $\text{SAVEPER} = \text{TIME STEP}$   
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (19)  $\text{Schilddrüsen Hormone} = \text{INTEG}(\text{ bilden-eliminieren}, 0)$   
Units: mg [0,?]
- (20)  $\text{TIME STEP} = 0.01$   
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.
- (21)  $\text{zuführen} = k_z$   
Units: mg/Day [0,?]

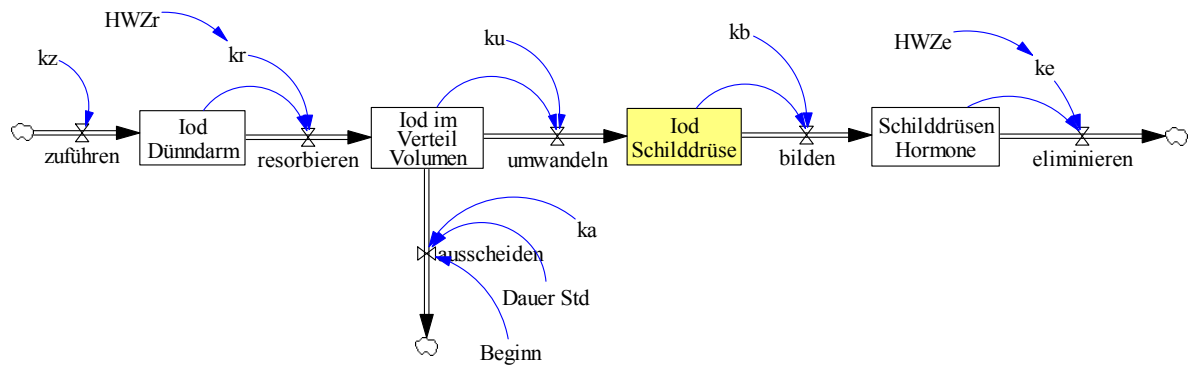
#### 7.4.4 Interpretation

Dass bei sportlicher Betätigung mit dem Schweiß Iodid ausgeschieden wird ist unbestritten. Bei einer optimalen Zufuhr 150 bis 300  $\mu\text{g}$  pro Tag, sind selbst bei 2 Stunden Sport/Tag die Verluste nicht entscheidend, wie die Simulation deutlich macht.

Die heute zugesetzte Menge an Iodid im Kochsalz beträgt 0.02%, d.h. 20 Mikrogramm pro Gramm Salz. Somit muss man ca. 7.5 - 10 Gramm Salz einnehmen, um auf die erforderlichen 150 – 200 Mikrogramm Iodid zu kommen – also weit mehr, als der notwendige tägliche Kochsalzkonsum von 2 – 3 Gramm bei mässiger körperlicher Arbeit.

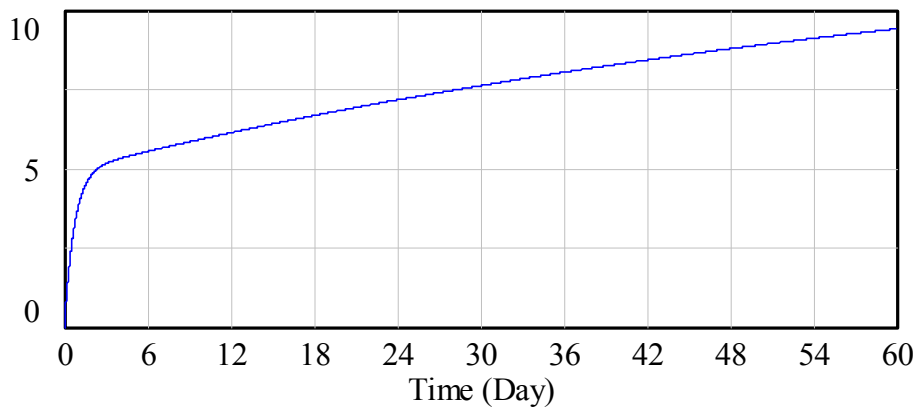
## 7.5 Bessere Simulation unter Berücksichtigung des Blutserums

### 7.5.1 Simulationsdiagramm



### 7.5.2 Zeitdiagramm

Iodgehalt der Schilddrüse



austauschbar ————— mg

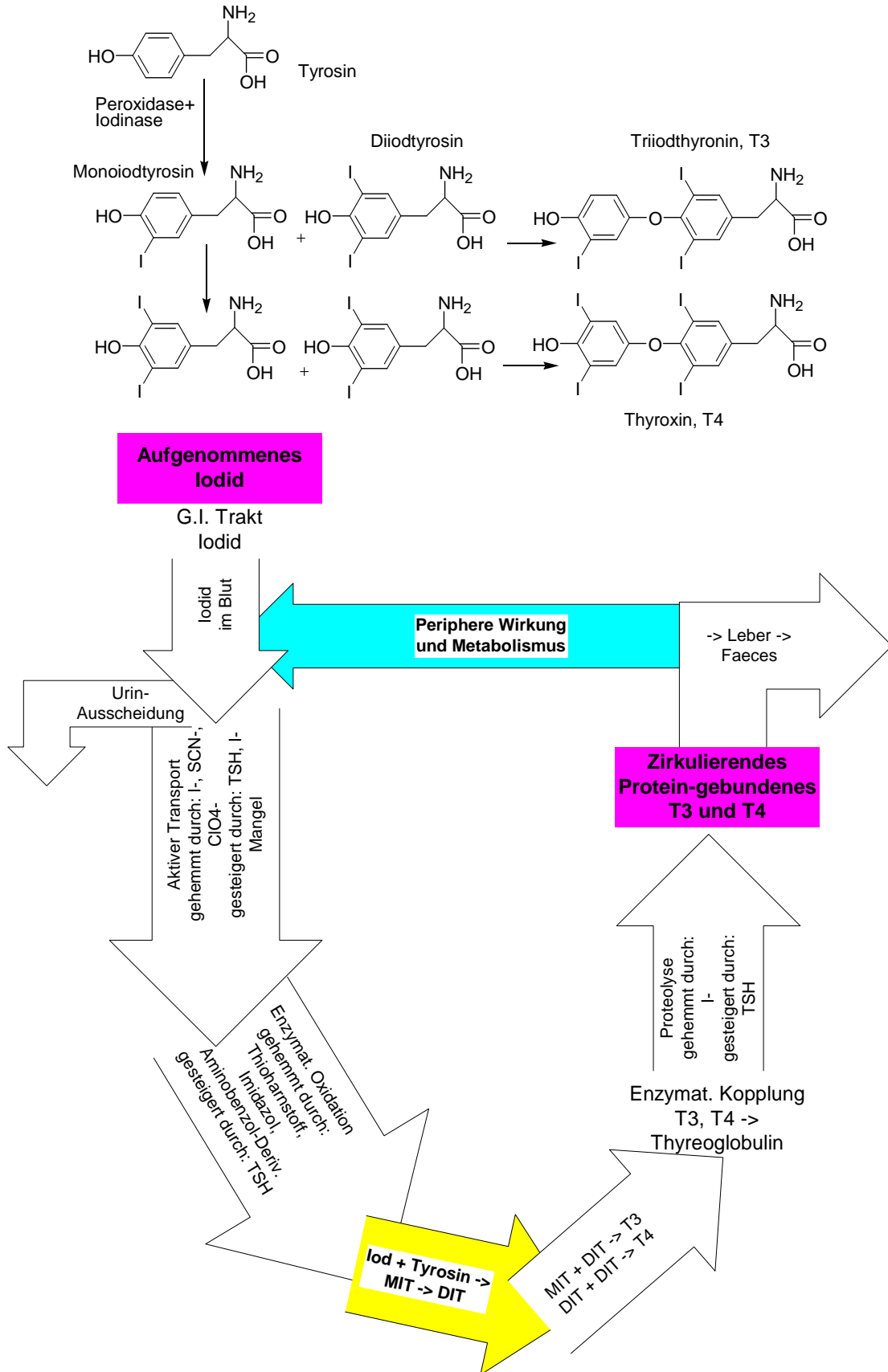
### 7.5.3 Dokumentation (Gleichungen, Parameter)

- (01)  $\text{ausscheiden} = \text{PULSE TRAIN}(\text{Beginn}, \text{Dauer Std} * 0.04167, 0, \text{Beginn} + \text{Dauer Std} * 0.04167) * \text{ka}$   
Units: mg/Day [0,?]
- (02)  $\text{Beginn} = 24$   
Units: Day [24,?]
- (03)  $\text{bilden} = \text{kb} * \text{Iod Schilddrüse}$   
Units: mg/Day [0,?]  
Bildung der Hormone
- (04)  $\text{Dauer Std} = 1$   
Units: Day [0,24,0.5]
- (05)  $\text{eliminieren} = \text{Schilddrüsen Hormone} * \text{ke}$   
Units: mg/Day [0,?]
- (06)  $\text{FINAL TIME} = 60$   
Units: Day  
The final time for the simulation.
- (07)  $\text{HWZe} = 6$   
Units: Day [0,20]

Im Blut sind beide Hormone zu über 99% an Transporteieisse gebunden und nur ein sehr geringer Anteil liegt als freies, also ungebundenes Hormon vor. Man spricht dann von freiem T3 (FT3) und freiem T4 (FT4). Stoffwechselaktiv sind nur die freien Hormone. Die Halbwertszeit für T3 beträgt

- zwanzig Stunden, die für T4 6 Tage. Unter der Halbwertszeit ist in diesem Fall die Zeit zu verstehen, nach der sich die ursprünglich vorhandene Menge dieser Hormone auf die Hälfte reduziert hat.
- (08)  $HWZ_r = 0.042$   
Units: Day [0,0.2]  
In 2 Stunden sind 80% resorbiert, Annahme:  $HWZ = 1 \text{ h} = 1/24 = 0.042 \text{ d}$
- (09) INITIAL TIME = 0  
Units: Day  
The initial time for the simulation.
- (10) Iod Dünndarm = INTEG (+zuführen-resorbieren, 0)  
Units: mg [0,?]  
Anorganisches Iodid wird im Dünndarm zu nahezu 100 %, perkutan (durch die Haut) jedoch gering und unkontrolliert resorbiert.
- (11) Iod im Verteil Volumen = INTEG (+resorbieren-umwandeln-ausscheiden, 5)  
Units: mg  
Das Verteilungsvolumen beim Gesunden beträgt im Mittel etwa 23 Liter (38 % des Körpergewichtes). Der Serumspiegel von anorganischem Iod liegt normalerweise zwischen 0,1 und 0,5 µg/dl.
- (12) Iod Schilddrüse = INTEG (+umwandeln-bilden, 0)  
Units: mg [0,?]  
Iodgehalt der Schilddrüse ist ca. 10-30 mg; Durchschnitt 15 mg,
- (13)  $k_a = 0.24$   
Units: mg/Day [0,1]  
Bei sportlicher Betätigung 0.01 mg pro Liter Schweiß, also pro Tag 0.24 mg
- (14)  $k_b = 0.014$   
Units: 1/Day [0,0.3]  
Täglich werden durch die Schilddrüse durchschnittlich 90-100 µg T4 und 8-10 µg T3 gebildet und in der Schilddrüse gespeichert. Der Vorrat der Schilddrüse reicht ca. für 3 Monate ca. 100 Tage  
->  $HWZ = 50 \text{ Tage} \rightarrow k_b = 0.0138$
- (15)  $k_e = \text{LN}(2)/HWZ_e$   
Units: 1/Day [0,0.3]
- (16)  $k_r = \text{LN}(2)/HWZ_r$   
Units: 1/Day [0,?]
- (17)  $k_u = 1.4$   
Units: 1/Day [0.7,2]  
Die Iod-123-Szintigraphie erfolgt 24 Stunden nach der Applikation, also ca. 2 HWZ ->  $k_u = \text{ln}(2)/0.5 = 1.4$
- (18)  $k_z = 0.18$   
Units: mg/Day [0,0.5,0.01]  
0.07 mg ist die von der WHO empfohlene minimale tägliche Zufuhr, die optimale Zufuhr ist 150 bis 300 µg pro Tag, gut wären 180 -260 µg
- (19) resorbieren =  $k_r * \text{Iod Dünndarm}$   
Units: mg/Day [0,?]  
Aufnahme von Iodid aus dem Dünndarm ins Blut und die Schilddrüse
- (20) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Day [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (21) Schilddrüsen Hormone = INTEG (bilden-eliminieren, 0)  
Units: mg [0,?]  
Der Serumspiegel von anorganischem Iod liegt normalerweise zwischen 0,1 und 0,5 µg/dl.
- (22) TIME STEP = 0.01  
Units: Day [0,?]  
The time step for the simulation.
- (23) umwandeln =  $k_u * \text{Iod im Verteil Volumen}$   
Units: mg/Day [0,?]
- (24) zuführen =  $k_z$   
Units: mg/Day [0,?]

**7.5.4 Mögliche Erweiterung**



**Abbildung 4: Iod und Iodid im Stoffwechsel<sup>8</sup>**

<sup>8</sup> Lemmer B., Wiethold G., Saller R., Hodgson M., Lehrbuch der Pharmakologie, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1975, 360