

I. DWSD

Do., 22.04.2021:

deco workshop digital # I

Über Dekompressions-Modelle

und das

DAN DSG / DRA

(Diving Safety Guardian /

Decompression Risk Analysis)

Inhalt:

- Übersicht über aktuelle Dekompressions-Modelle und Algorithmen
- Von der Idee zum Algorithmus & zum Modell
- Schwächen aller Modelle
- Welches Modell ist denn nun besser?
(genauer, gesünder, ...???)
- Auswege aus dem Dilemma
- Über P(DCS):
die statistische Wahrscheinlichkeit (P) sich eine Dekompressionskrankheit (DCS) einzufangen

SUB
MARINE
CONSULTING

I. DWSD

Do., 22.04.2021:
deco workshop digital

Über Dekompressions-Modelle
und das
DAN DSG / DRA
(Diving Safety Guardian /
Decompression Risk Analysis)

die 3 Wellen:



- Haldane
- Workman, Schreiner, Bühlmann-Hahn, und Andere ...
- DCIEM, VPM, RGBM, ~~VGM & GFM~~ (*), Hybrid-Modelle

(*):

BSAC: British-Sub Aqua Club

RNPL: Royal Naval Physiologic Laboratory

DCIEM: Defence and Civil Institute of Environmental Medicine, aktuell: DRDC Toronto

VPM: Varying Permeability Model

RGBM: Reduced Gradient Bubble Model

S.A.U.L.: Safe Advanced Underwater aLgorithm

~~VGM: Variable Gradient Method~~

~~GFM: Gas Formation Model~~

- ohne: die Zeit von ca. 1920 – 1960 (USN) → Details hierzu im Manual „Dekompression“
- und ohne: Ratio Deco, deco-on-the-fly etc. ...

die 3 Wellen:



- **Perfusionsmodelle:**
→ Haldane, Workman, Schreiner, Müller & Ruf, Bühlmann-Hahn, ...
- **Diffusionsmodelle:**
→ DCIEM, RNPL/BSAC, ...
- **Blasenmodelle:**
→ VPM, RGBM, ...
- **Hybrid-Modelle:**
→ Copernicus, S.A.U.L. etc. ...

Vom Modell zum Algorithmus und zur Implementierung (1)

Beobachtung / Messung aus
der Tauchmedizin:
Problem oder Idee



Physikalische /
medizinische Theorie:
liefert Modell
(modellhafte Beschreibung)



Mathematische Methode
liefert:
Algorithmus



Implementierung in Software liefert:
Programm (oder „Tabelle“)

Vom Modell zum Algorithmus und zur Implementierung (2)

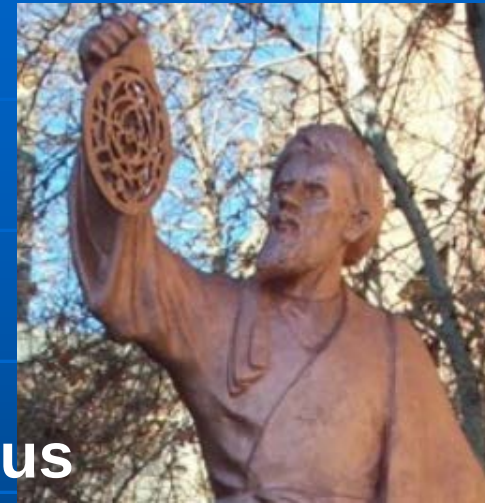
SUB
MARINE
CONSULTING

Idee !!! →

Modell

Algorithmus

Implementierung



محمد بن موسى الخوارزمي; c. 780 – c. 850

DIVE Version 3:
a dive simulation and decompression learning tool

Parameters:
multi-level depth, time, gas mix, respiratory quotient,
ascent procedures: deep stops & ascent rates, last stop depth
surface intervall, initial air pressure, SAC, table corrections,
gradient factors: GF Hi / Lo, water-temperature & -density ...

Service Engine:
Compartment
Saturation, EAD,
%CNS; OTU, ...

I/O:
Plot
File Handling

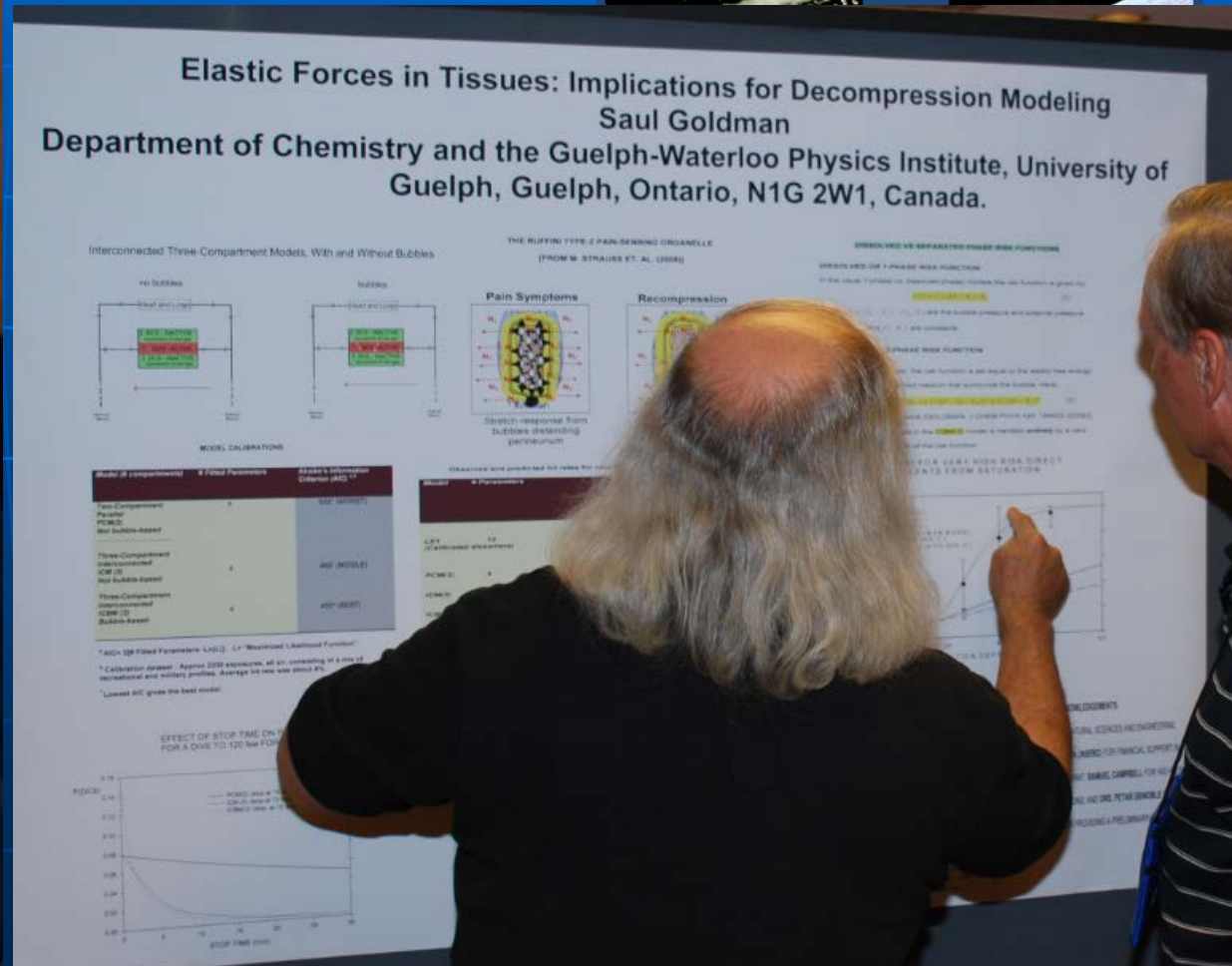
TOOL BOX:
prognosis / simulations: PMRC,
R/L Shunt, oxygen correction,
asymmetric desaturation, security surcharges,
accelerated deco, P(DCS), temperature adaption,
O₂-consumption / workload, U.S. Navy Simulators ...

show, protocol,
read/write of ASCII files,
run-times & log file,
time-to-flight,
desaturation time,
NDL tables,
NDL repetitive dives,
Expert Mode:
N₂ & He-Coefficients,
VGM, ...

© AUBI @ www.BMC-de.com 1991 - 2016



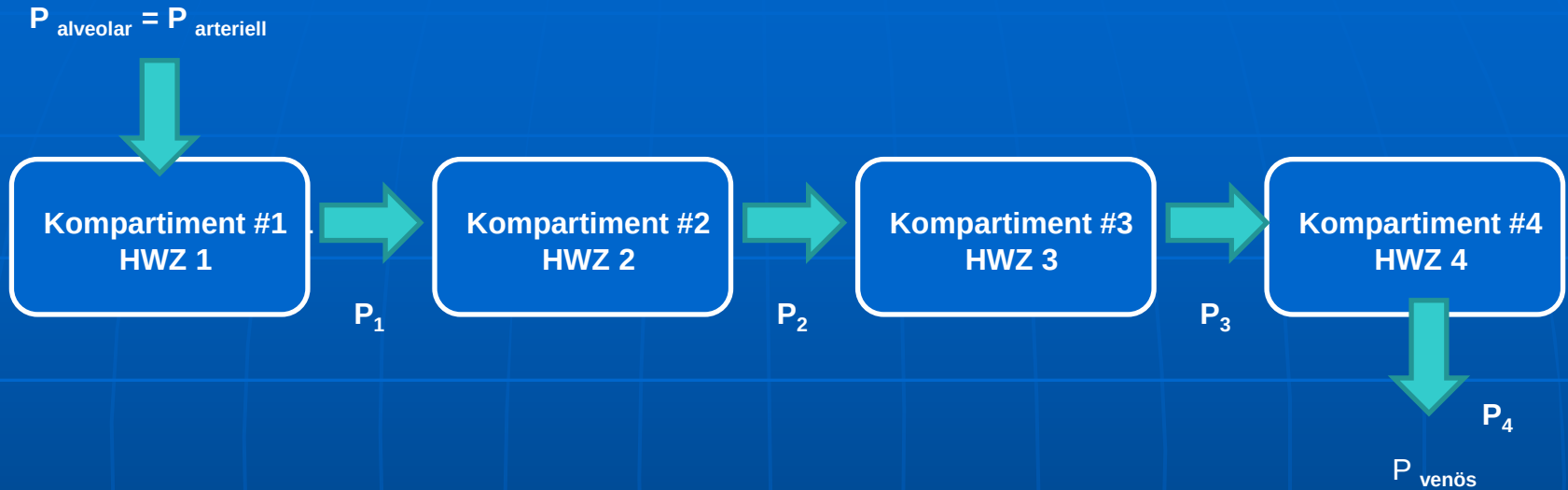
SUB
MARINE
CONSULTING



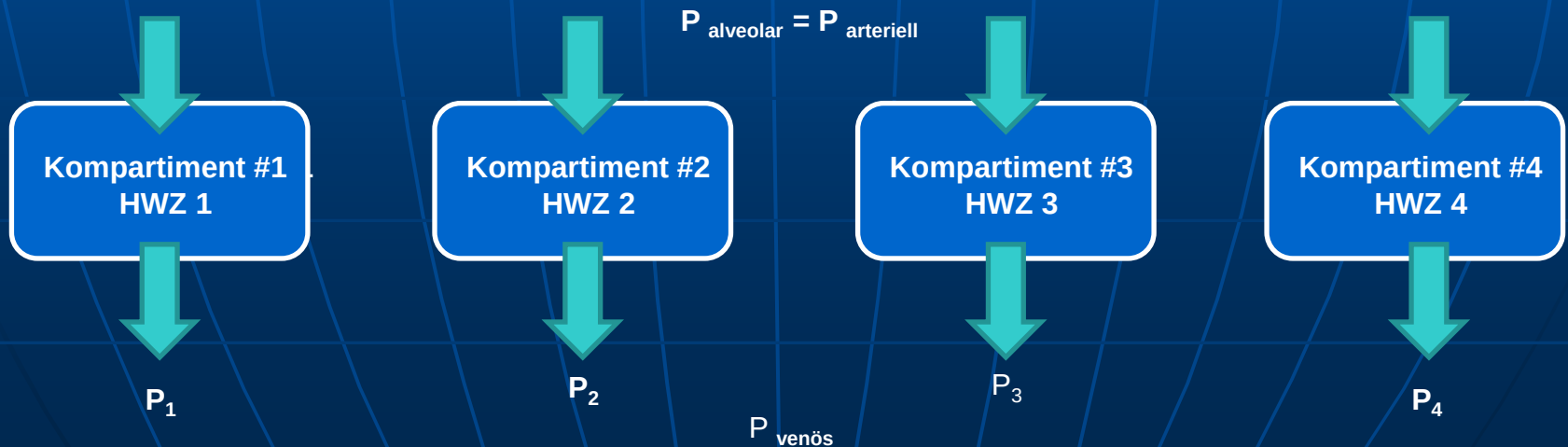
Dekompressions-Modelle: Seriell versus Parallel

SUB
MARINE
CONSULTING

Serielles Modell

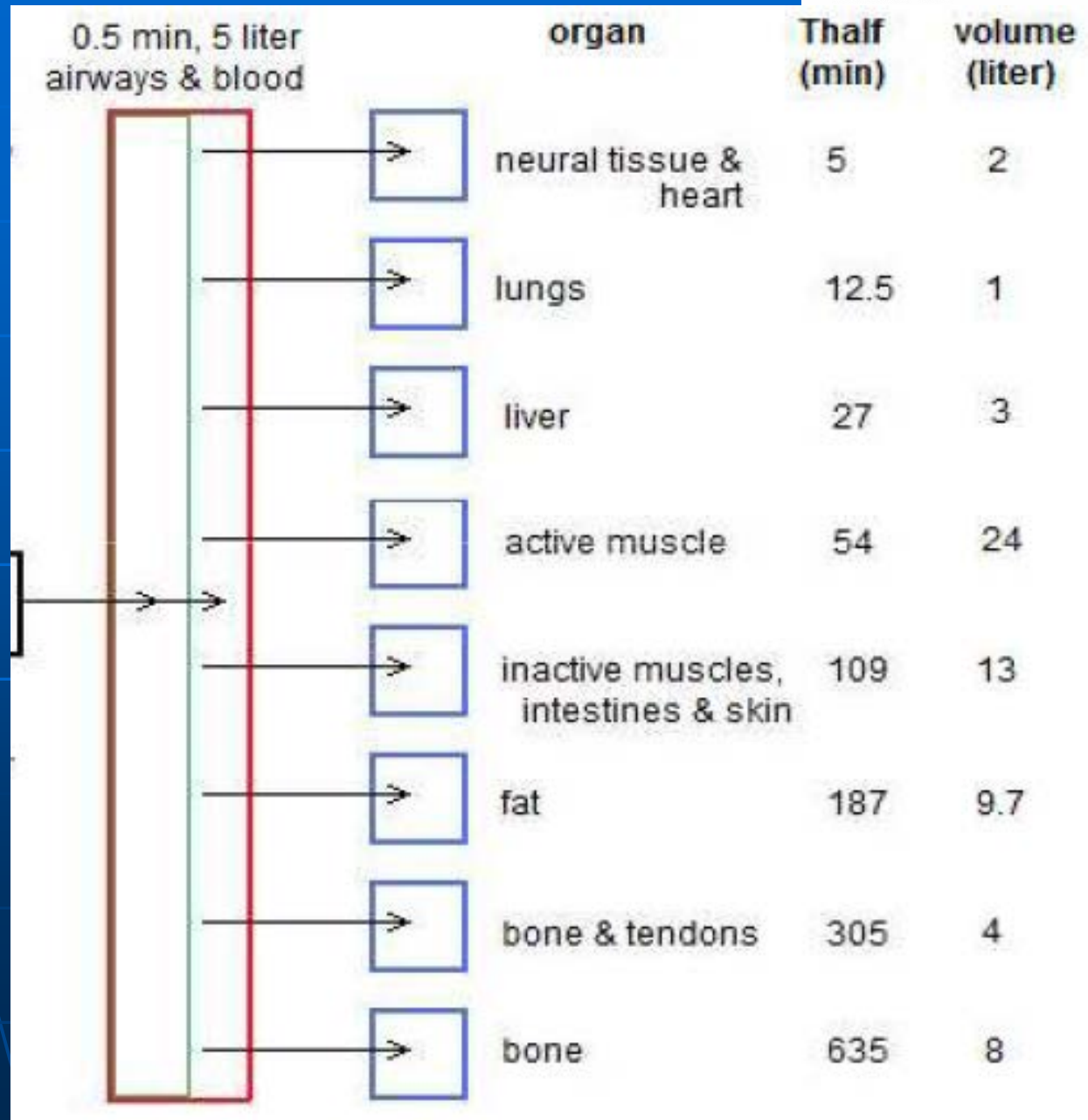


Paralleles Modell



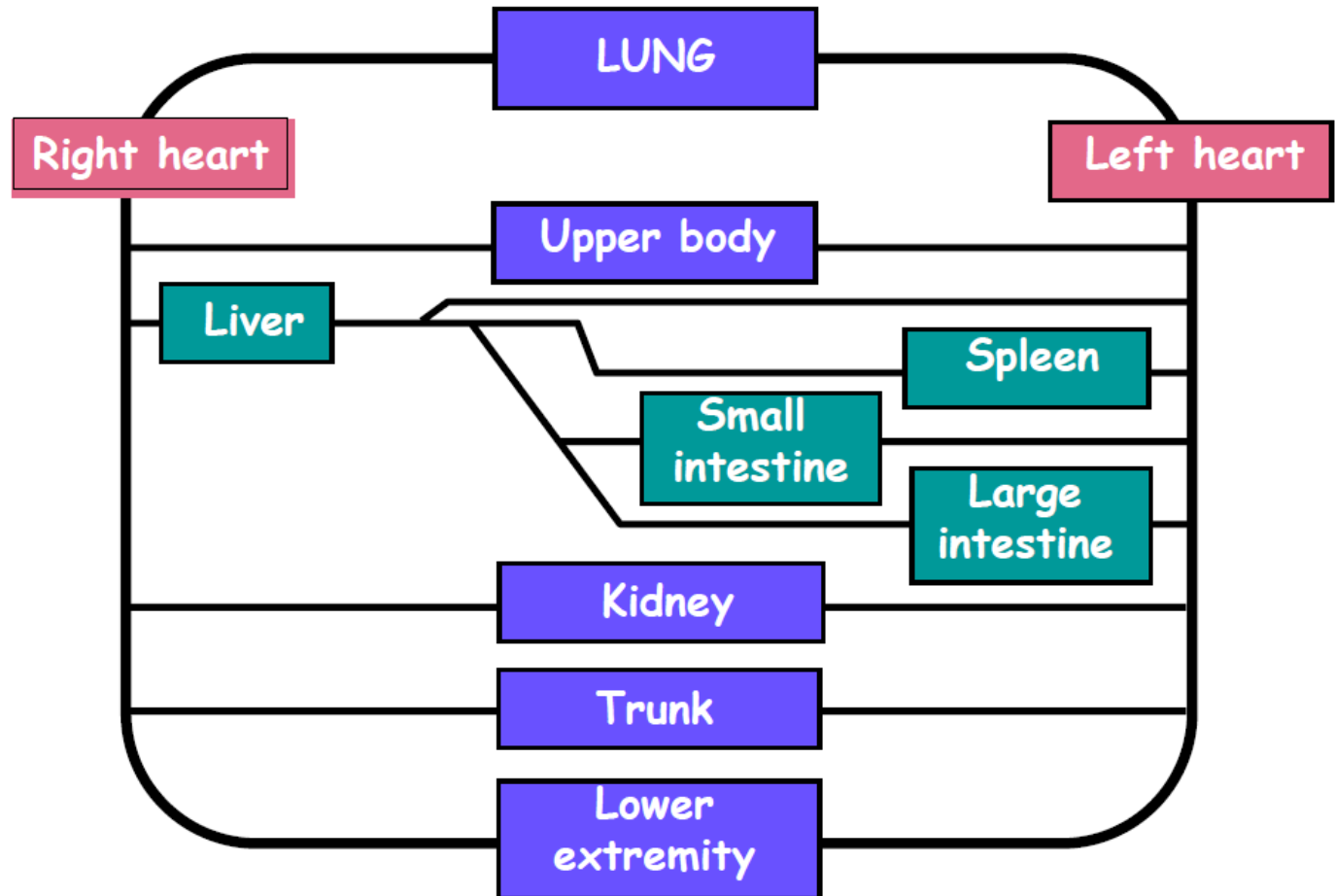
- **PBPK:**
- **Seriell & Parallel:**

(PBPK:
Physiologically based
Pharmaco-kinetic model)



- PBPK:
- Seriell & Parallel:

Blood Flow Characteristics in Animals & Digital Computation



Bischoff and Brown (1961)

Dekompressions-Modelle: Perfusion vs. Diffusion

Perfusion

Kapillarbett:
arterielles
Ende

Kapillarbett: venöses
Ende

$n - 1$ Kompartimente

HWZ: klein

HWZ: gross

Inertgas-
Gradient
(Deko / O₂)

N₂

1

$n - 3$

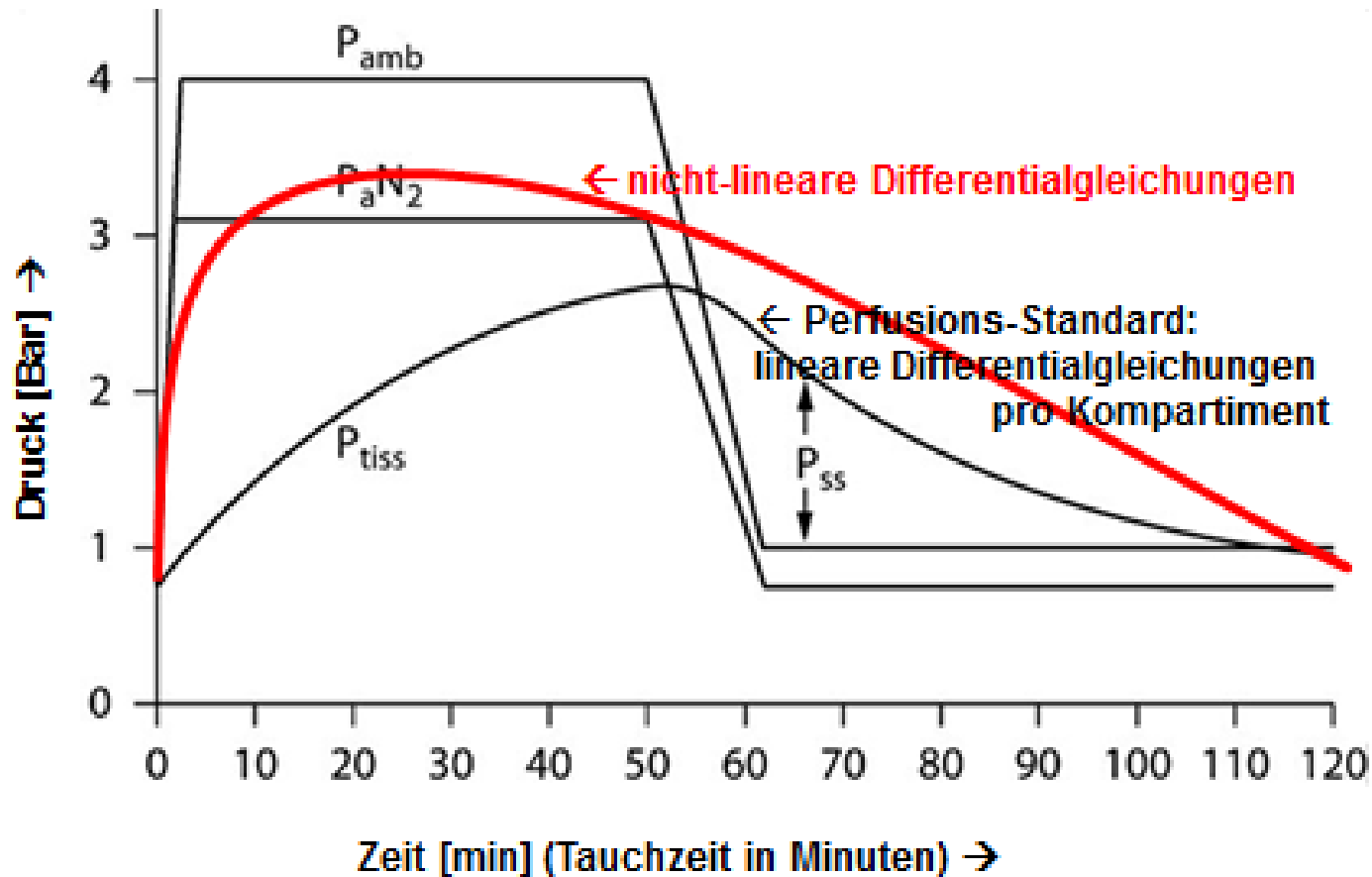
$n - 2$

$n - 1$

n

Diffusion

Dekompressions-Modelle: nur lineare, ungekoppelte DGL, symmetrisch ...

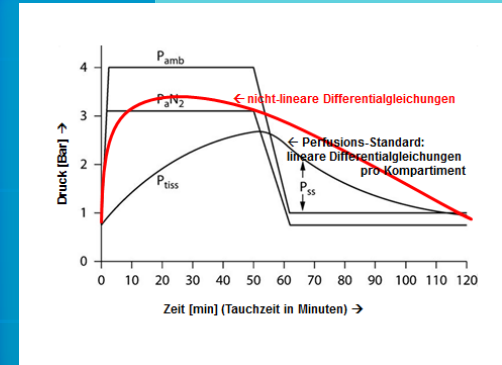


Dekompressions-Modelle: nur lineare, ungekoppelte DGL, symmetrisch ...

SUB
MARINE
CONSULTING

ALLEN (deterministischen) Dekompressions-Modellen,
egal ob:

- *Perfusionsmodell*
- *Diffusionsmodell*
- *Blasenmodell*
- *Kombiniertes Modell*
- *Hybrid-Modell*
- *serielle oder parallele Schaltungen*
- ...



ist EINES GEMEINSAM:

die Berechnung der Sättigung und Entsättigung pro Kompartiment erfolgt
mittels der Lösung einer einfachen, linearen (ungekoppelten)
Differentialgleichung, aka:

Haldane- oder Schreiner-Gleichung!

(bei DIVE wird dies die **Service Engine** genannt)

Dekompressions-Modelle: nur lineare, ungekoppelte DGL, symmetrisch ...

SUB
MARINE
CONSULTING

Lediglich die

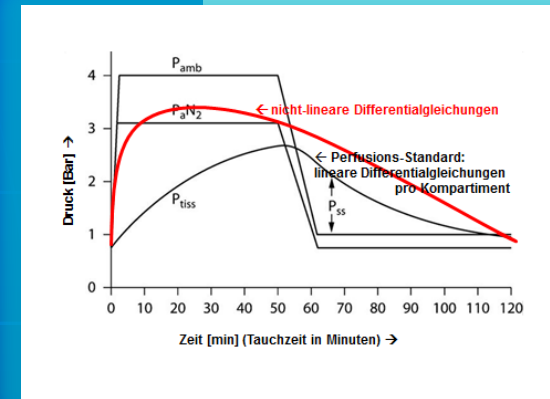
- erlaubte / tolerierte Übersättigung $P_{tol} (*)$
- P_{ss} (P supersaturation) (*)
- SAD (Safe Ascent Depth) (*)
- Ceiling (= Decke) (*)
- ... (*)

wird je nach Modell anders berechnet
(i.d.R. EINE einzige Gleichung / EINE Subroutine)

(*): synonyme Bezeichnungen !

[für Spezialisten: wer will, kann sich den hierzu passenden
C source code von „Subsurface“ für die **ZH-L & VPM Berechnungen**
im Github angucken:

<https://github.com/subsurface/subsurface/blob/master/core/deco.c>]



Dekompressions-Modelle:
nur lineare, ungekoppelte DGL, symmetrisch ...
Komplexität bei der Berechnung von:
 P_{tol} / P_{ss} / SAD / Ceiling/ ...

SUB
MARINE
CONSULTING

Complexity:

Linear;
M-type eq.

2 Inertgas
iterated t_D

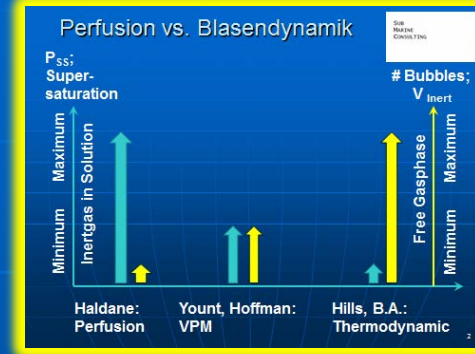
Quadratic;
iterated P_{ss} &
 t_D

Bessel: $J_0 J_1 Y_0 Y_1$
(Gauss-Legendre)²

Haldane:
Perfusion

Yount, Hoffman:
VPM

Hills, B.A.:
Thermodynamic



Prinzipielle Schwächen bei deterministischen Dekompressions-Algorithmen: (gilt für Perfusions- also auch Blasenmodelle):

- **Einsatzgrenzen: wurden vergessen!** (Haldane: < 6 Bar, < 30 min TTS)
- **mangelnde Datenbasis**
(Haldane: $n > 30$!!!)
- **„uneventful decompression“**
- **Extrapolation für längere / tiefere Tauchgänge steht auf statistisch sehr wackeligen Beinchen!**

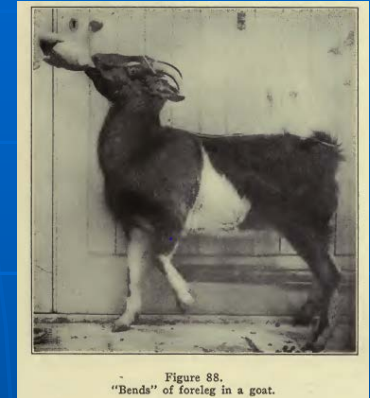
(Quelle:
Haldane, J S. Respiration, p. 346, Yale University Press,
1922, 1927)



Figure 88.
“Bends” of foreleg in a goat.

Prinzipielle Schwächen bei deterministischen Dekompressions-Algorithmen: (gilt für Perfusions- also auch Blasenmodelle):

- allometrisches Polynom
- „2:1“ paßt nicht für alle Kompartimente
- Spektrum der Halbwertszeiten
- Resultat, eigentlich nur für „Table I“ (Quelle: ibdid., S. 350):



Since the introduction into the British Navy twelve years ago of the method of decompression embodied in the tables, with the corresponding regulations as to air supply and testing of the pumps, deep diving has been conducted with comfort and safety to the divers, so that compressed-air illness has now practically disappeared except in isolated cases where from one cause or

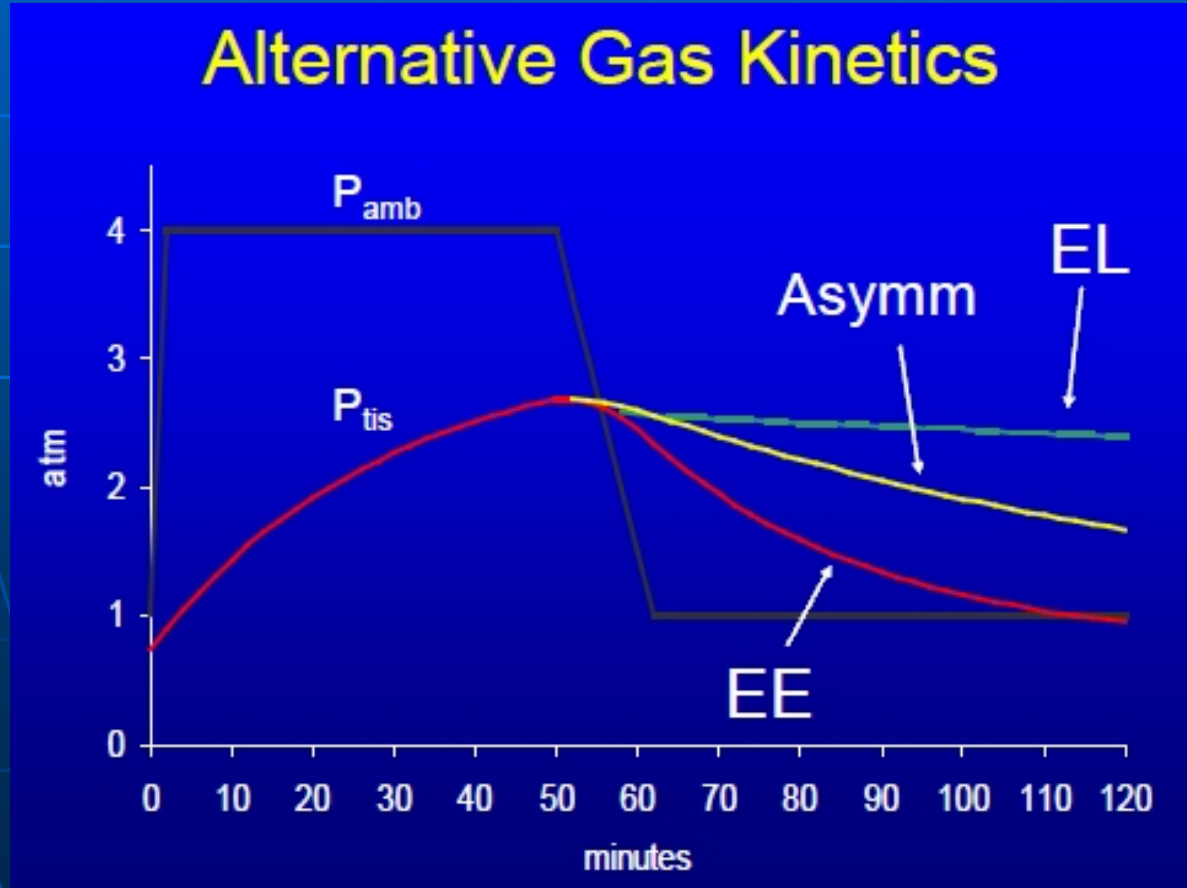
Prinzipielle Schwächen bei deterministischen Dekompressions-Algorithmen:

(gilt für Perfusions- also auch Blasenmodelle),
hier nur eine kleine Auswahl:

- „Low Pass“
(e-Funktion als Filter für hochfrequente Anteile)
- Symmetrie bei Auf- & Entsättigung ?
- Körperliche Belastung („workload“)
(O₂ Verbrauch, nicht ΔP an der 1. Stufe!)
- Hauttemperatur
(nicht Wassertemperatur am Computer!)
- Hoher pO₂ (Bradycardie & Vasoconstriction)
- Latenz bei Gaswechsel (Ventilation / Perfusion)
- Biometrie der Klientel
- Adaption der Klientel
- ... →

Prinzipielle Schwächen bei deterministischen Dekompressions-Algorithmen: (gilt für Perfusions- also auch Blasenmodelle), hier nur eine kleine Auswahl:

- Symmetrie bei Auf- & Entsättigung?



- ... →
- Parallel- & Serien-Schaltung der Kompartimente
- die „Schlafende“ (aktives & passives Kapillarbett)
- Hydration / Hydratation
- Lage im Wasser / „blood pooling“
- Metabolische Gase / R_q (respiratorische Quotient)
- $\tau N_2 / \tau He = 2,65$ für alle Kompartimente ?
- und, und, und ... individuelle Suszeptibilität , ...

Nur bei ganz modernen Algorithmen („Hybrid Modellen“)
teilweise berücksichtigt (Copernicus, 3CG (*), USN
VVAL-18 LEM (**), ...)

Copernicus: Brubakk et al, NTNU

(*) 3CG: 3-compartment general model → S.A.U.L.

USN: United States Navy

VVAL-18: Name einer Variable im FORTRAN-Source-Code

(**) LEM: Linear Exponential Multigas

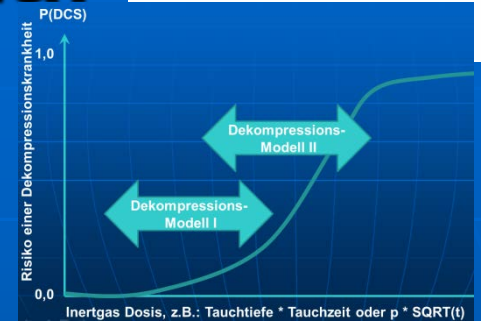
Welches Modell ist denn nun besser?

- es gibt grundsätzlich
- 2 Gruppen von Dekompressionsmodellen:
- deterministische vs. statistische
- deterministische: Perfusions- oder Blasenmodelle
- statistische:
a-posteriori Analyse der Tauchprofile und
mathematischer Fit der freien Koeffizienten
an das Ergebnis des Tauchganges: DCS „ja / nein“

Quelle:

CAISSON 30. Jg./ 2015 / Nr. 4, 31. Jg./ Januar 2016 / Nr. 1,
S. 20 - 30: Der etwas andere Vergleich - Teil III Über P(DCS)

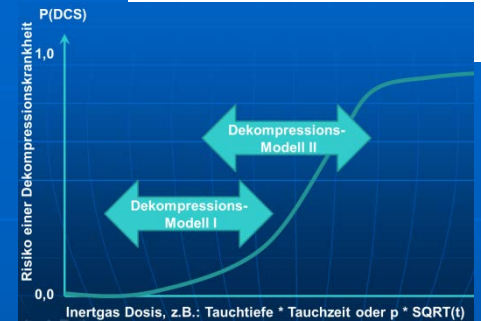
Ausweg aus diesem Dilemma: über $P(\text{DCS})$ [Probability of DCS],



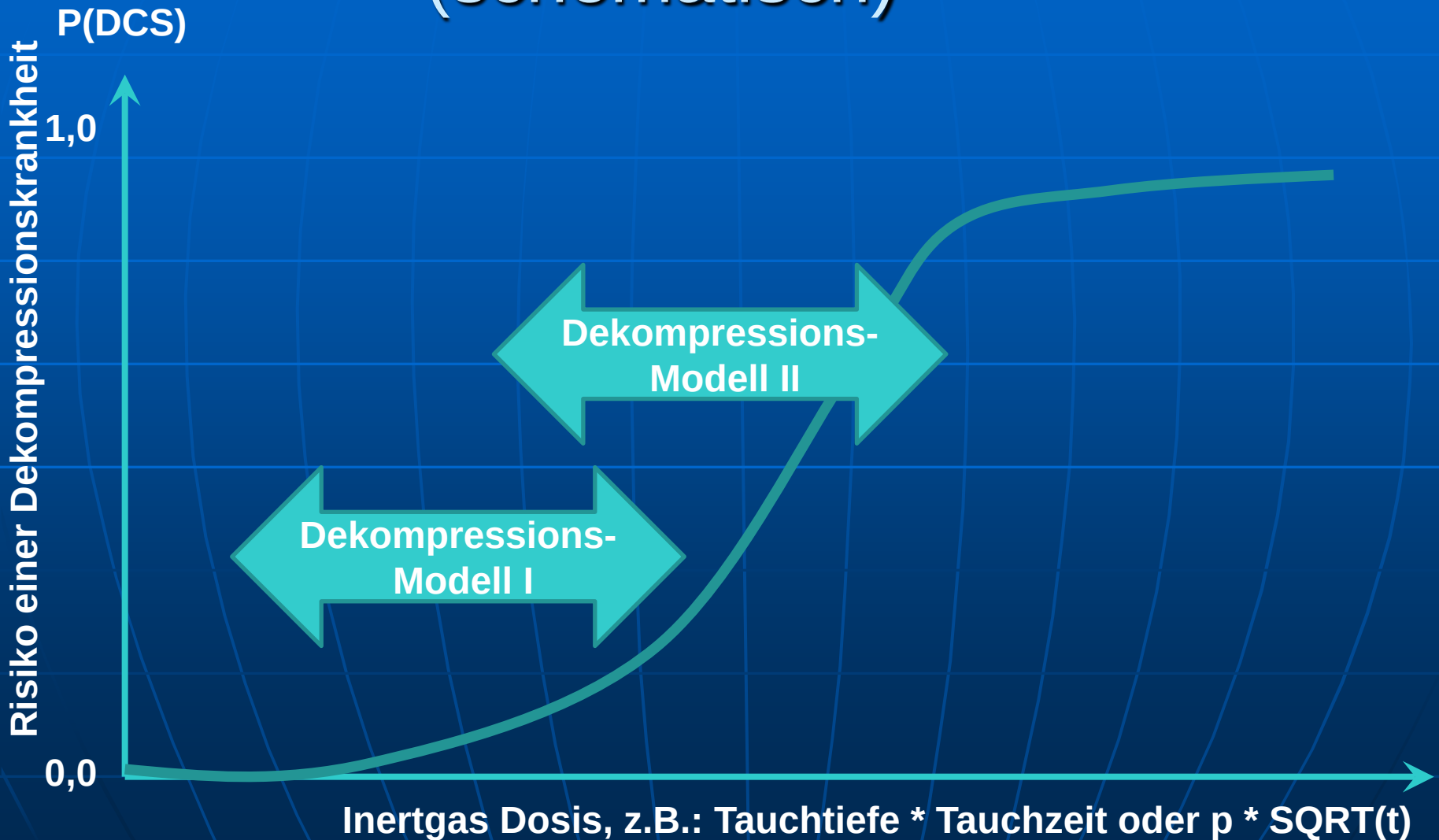
die statistische
Wahrscheinlichkeit (P)
sich eine
Dekompressionskrankheit
(DCS)
einzufangen ...

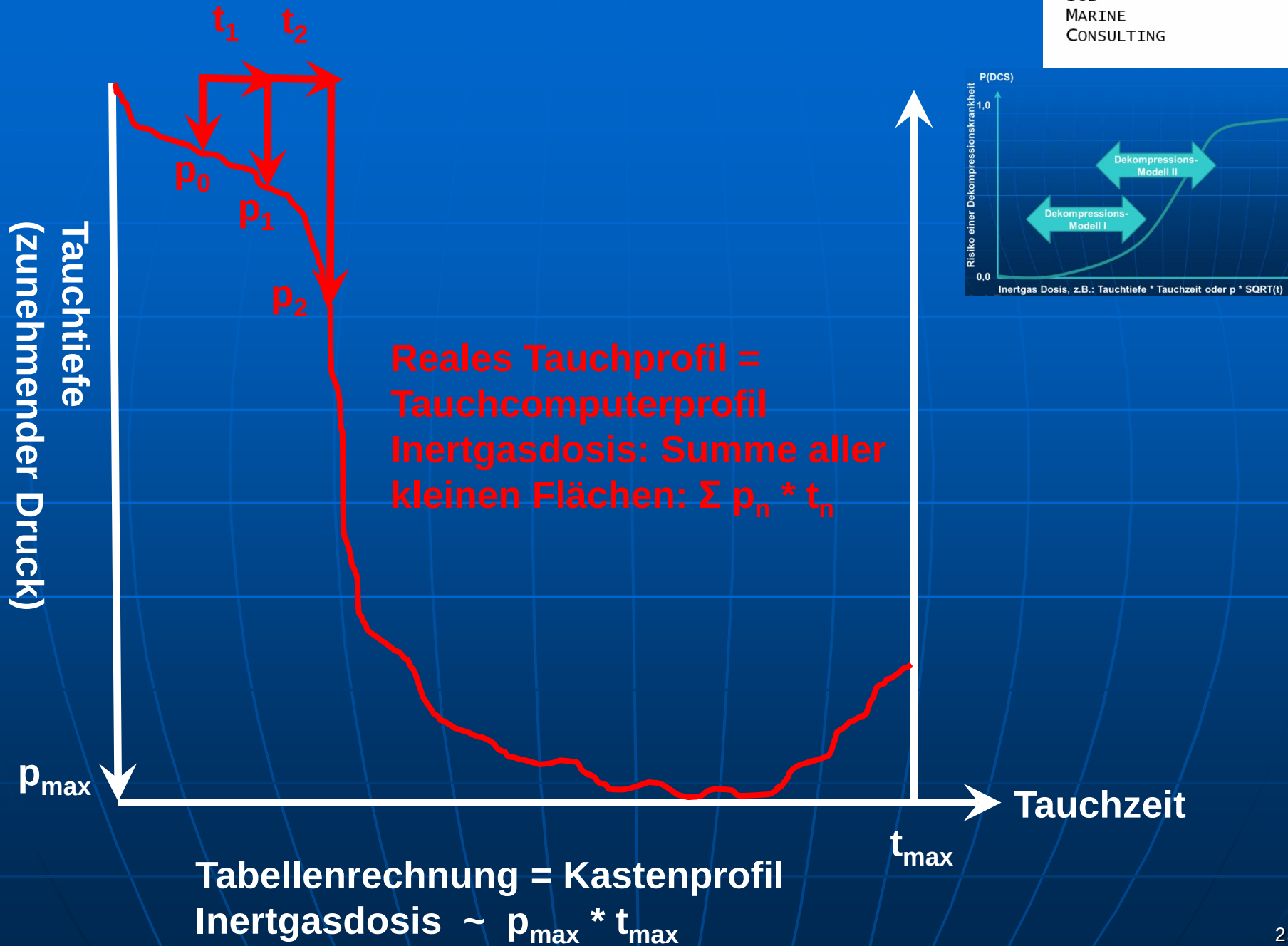
$P(\text{DCS})$:
statistical probability (P) of
contracting a decompression
sickness (DCS)

$$P(\text{DCS}) = 1.0 - P(\text{no DCS})$$



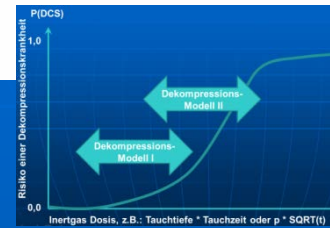
P(DCS): Dosiskurve nach Hill (schematisch)





„deterministic“ vs. „statistic“

SUB
MARINE
CONSULTING



INPUT:

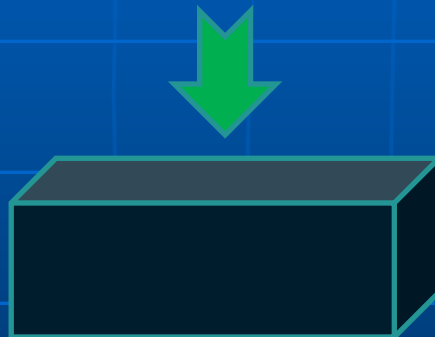
Dive
Parameters:

- depth
- time
- fO_2
- ...

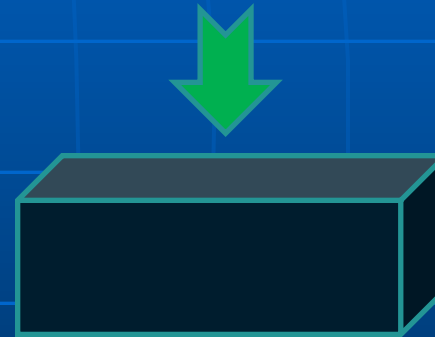
Calibration
Database:

- $n * 10^3$ dives ...
- biometrics
- environment
- DCS outcome /
- doppler scores ...

MODEL
TYPE:



deterministic



statistic

OUTPUT:

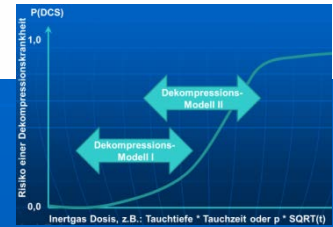
SAD (safe ascent depth,
ceiling)
stop depth & time

P(DCS)
probability of
contracting DCS

„deterministic“ vs. „statistic“



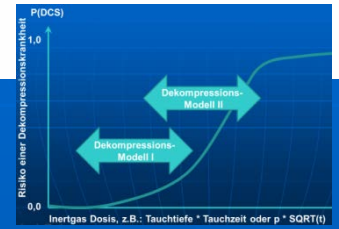
SUB
MARINE
CONSULTING



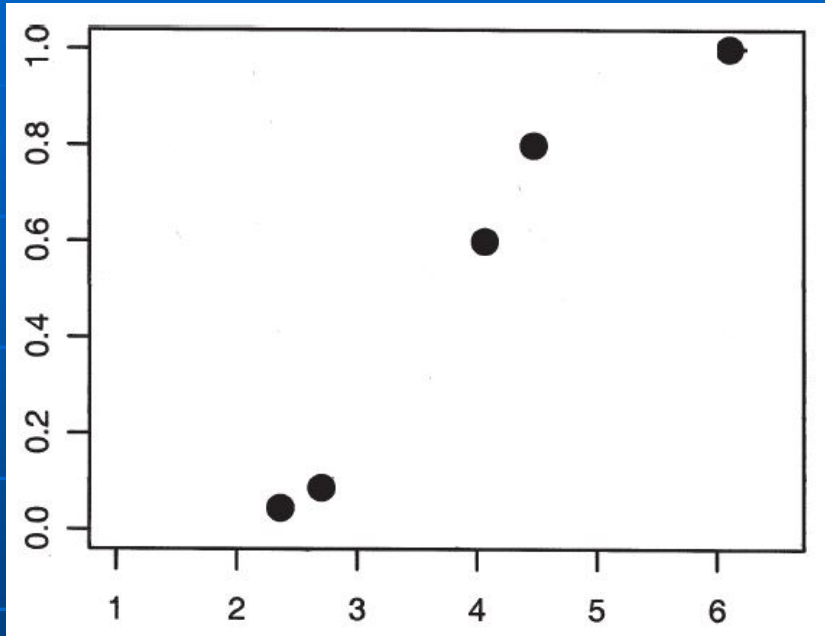
Depth		P(DCS) = 0,05 5%	P(DCS) = 0,01 1%	USN old (= PADI, old)	USN 2008	RGBM dive #1	RGBM dive #2	DSAT RDP (= PADI, new)
feet	m	NDL [min]	NDL [min]	NDL [min]	NDL [min]	NDL [min]	NDL [min]	NDL [min]
25	7,6	-	-	595	1102	-	-	-
30	9,1	240	170	405	371	150	150	-
35	10,7	-	-	310	232	-	110	-
40	12,2	170	100	200	163	110	110	140
50	15,2	120	70	100	92	80	80	80
60	18,2	80	40	60	63	55	55	55
70	21,3	80	25	50	48	40	40	40
80	24,4	60	15	40	39	30	30	30
90	27,4	50	10	30	33	25	n.a.	25
100	30,5	50	8	25	25	20	n.a.	20
110	33,5	40	5	20	20	16	n.a.	17
120	36,6	40	5	15	15	13	n.a.	14
130	39,6	30	5	10	12	10	n.a.	12

„deterministic“ vs. „statistic“

SUB
MARINE
CONSULTING



$P(\text{DCS}) \rightarrow$



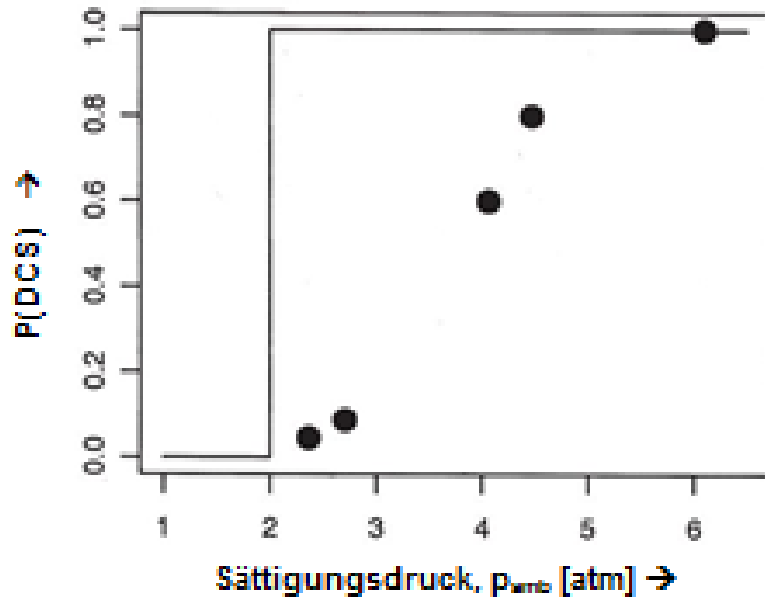
saturation pressure, p_{amb} [atm] $\rightarrow$

original data
from
Haldane:
experiments
with goats

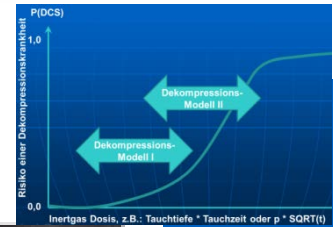
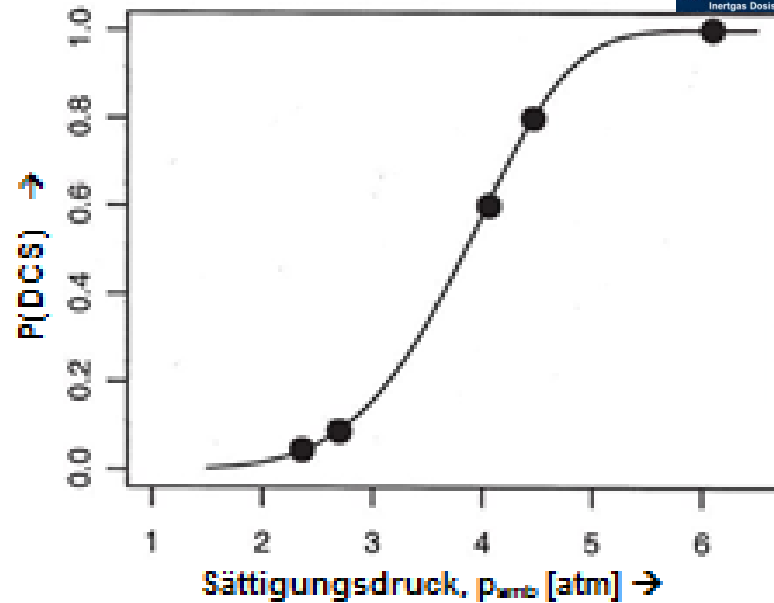
„deterministic“ vs. „statistic“

SUB
MARINE
CONSULTING

Deterministisches Modell



Statistisches Modell



$$P(\text{DCS}) = 1.0 - e^X$$

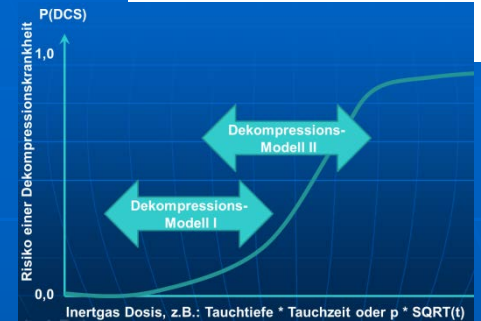
mit:

$$X = (-0,00034 \cdot (\text{atm})^{5.65})$$

atm sind die Werte an der X-Achse

Source: David J. Doolette, South Pacific
Underwater Medicine Society (SPUMS) Journal
Volume 35 No. 1 March 2005, S. 28 – 31

zum weitermachen: P(DCS) Simulationen



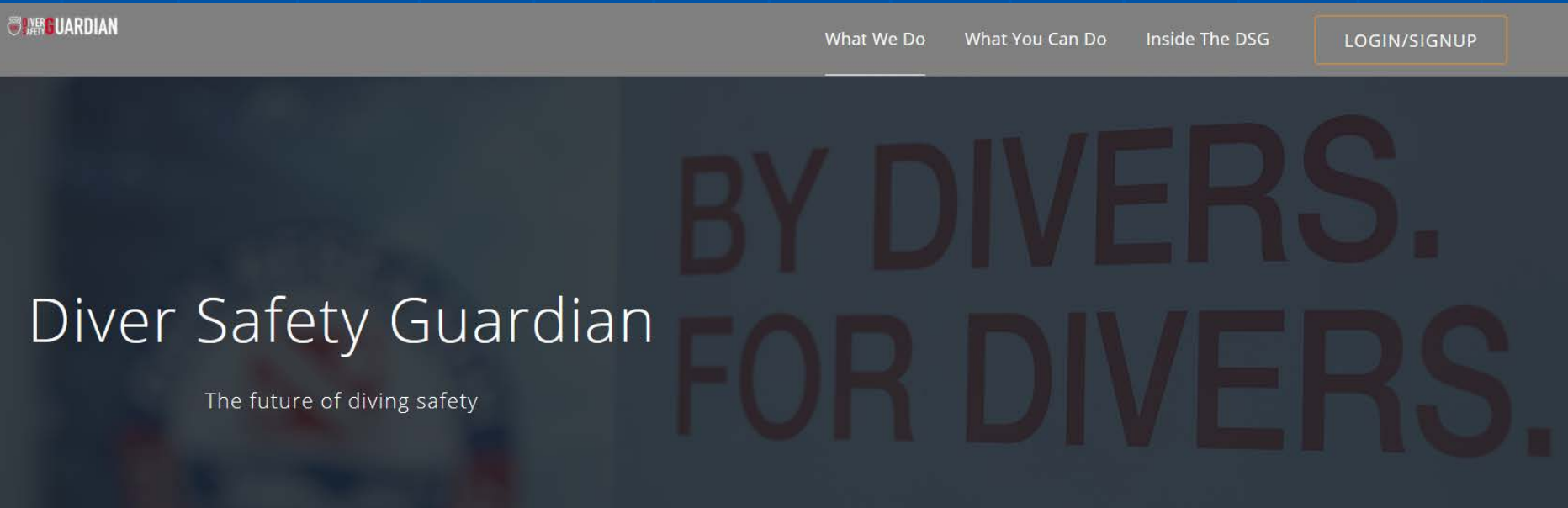
→ DIVE:

https://www.divetable.info/DIVE_V3/index.htm

→ S.A.U.L.:

http://moderndecompression.com/?page_id=493

DAN DSG: the DIVER SAFETY GUARDIAN portal from: DAN, the Divers Alert Network



- 1): <https://www.daneurope.org>
- 2): <https://www.diversafetyguardian.org/>

DAN DSG:
the DIVER SAFETY GUARDIAN
portal from:
DAN, the Divers Alert Network

SUB
MARINE
CONSULTING



Welcome to Diver Safety Guardian

The future of Diving Data Collection

The most advanced tools in dive analysis

Ein bisschen Geschichte:

off-line von Mai 2018 – März 2021!!!

Datum:	# Profile:	# Taucher:
19.05.2018	70149	5687
20.12.2017	65612	5446
12.08.2017	60860	5111
22.05.2017	55404	4863
28.11.2016	50809	4442
12.09.2016	43383	4079
07.06.2016	36679	3374
05.04.2016	31583	3139
18.03.2016	27707	2938
11.03.2016	19517	2461

on-line: ca. 2015



DAN DSG → DRA: Decompression Risk Analysis

SUB
MARINE
CONSULTING



Technischer Ablauf:



Decompression
???
Impossible!!!



Technischer Ablauf:

→ Tauchgang vom Tauchcomputer in den PC laden

→ mittels der PC/Logbuch Software

Tauchgang im

DAN kompatiblen Format (*.zxl oder *.uddf)

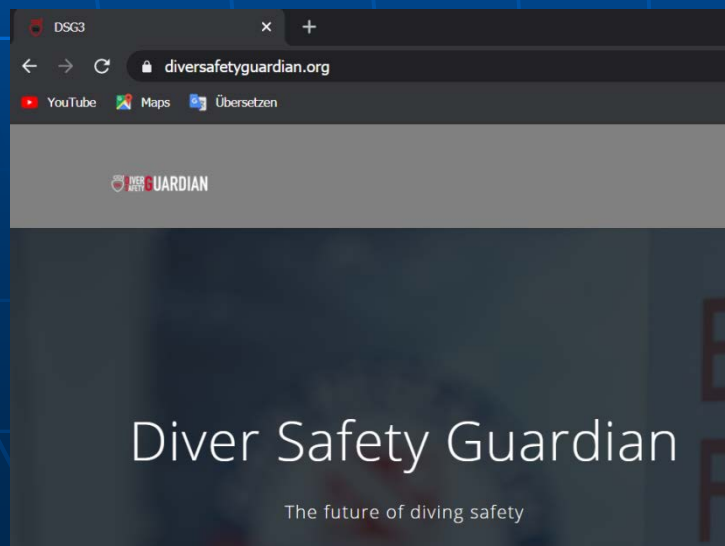
→ exportieren

→ im DSG Portal einloggen

Und dann ab damit

→ 1 Maske mit

→ 22 drop-down Menues & Fragen



Decompression
???
Impossible!!!

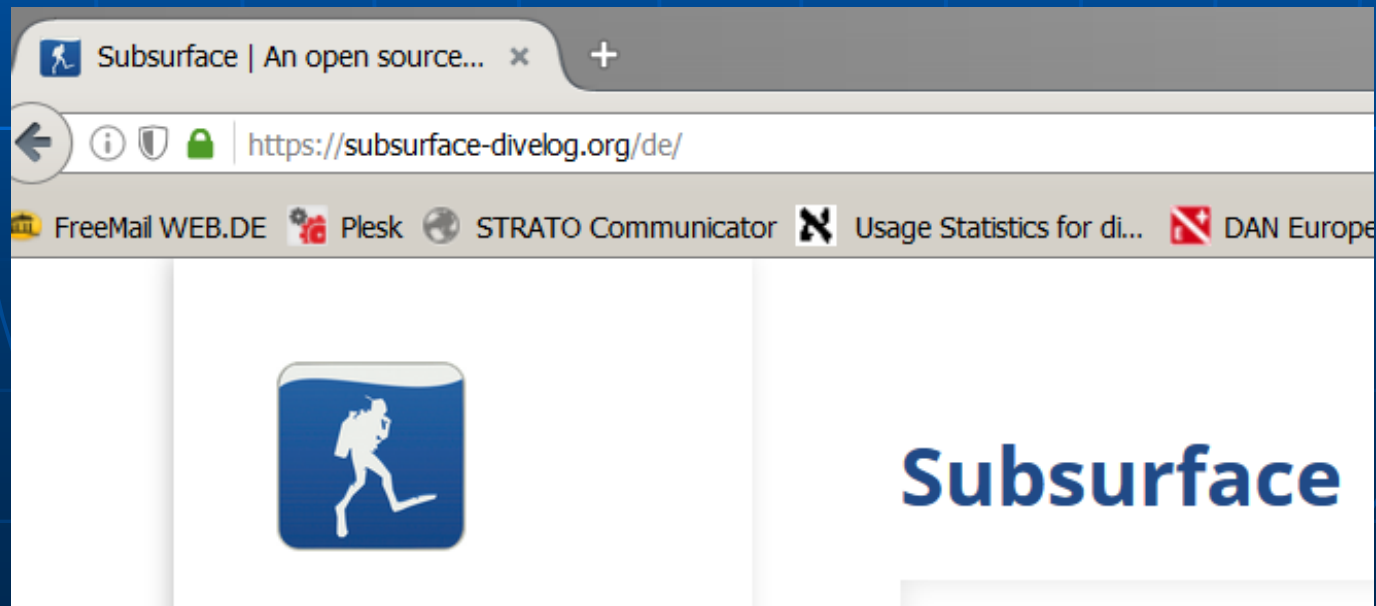
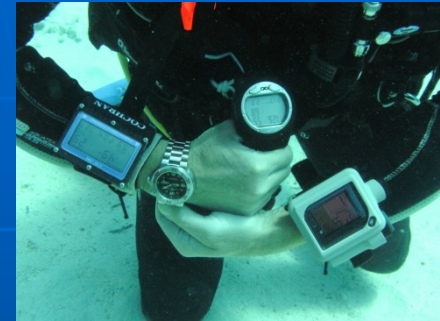
→ **DRA automatisch!!!**

DAN DSG

SUB
MARINE
CONSULTING

Unterstützte Tauchcomputer / PC Software
(try-&-error):

fast (!) alle über das UDDF
Fileformat
(Universal Dive Data Format)
und *irgendeinen kostenlosen* File-Konverter, z.B.:





Dashboard

My Dives

Statistics

Surveys

Support

Your Statistics

Highlights

- Logbook

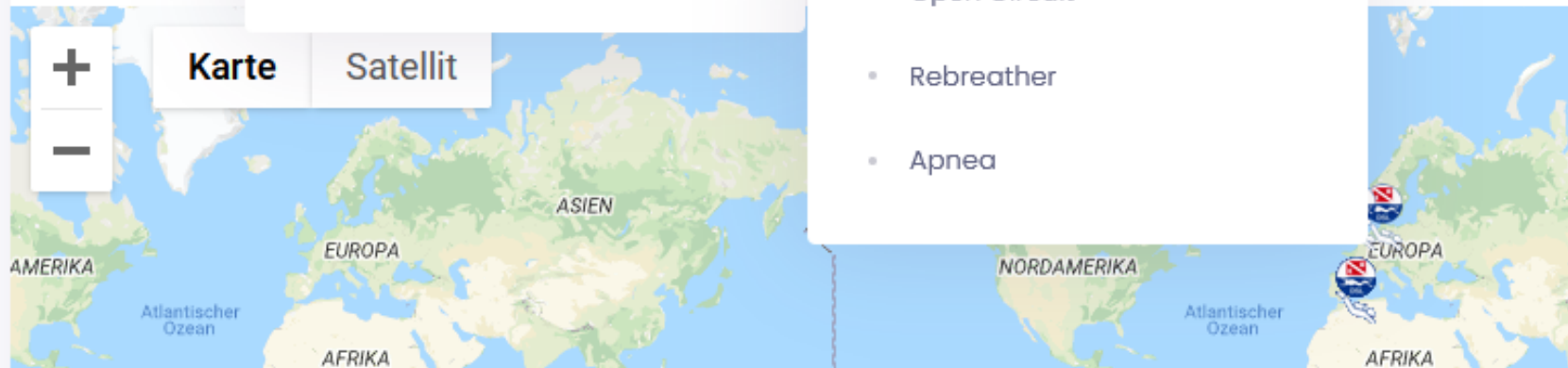
[Upload a Dive](#)



Karte

Satellit

- Open Circuit
- Rebreather
- Apnea



Upload Dives  • Events • Upload Dives

Decompression
???
Impossible!!!



Drop files here, paste or [browse](#)

Only zxl, zxu and uddf files.

DRA: Decompression Risk Analysis

SUB
MARINE
CONSULTING



Hi, Albrecht



[Dashboard](#) [My Dives](#) [Statistics](#) [Surveys](#) [Support](#)

Top 5 – Safest Dives



Tauchturm / Ox-Tox Test

,

5.52

m

77.07

mins

Date & Time: 21.05.17, 18:11



Tauchturm

,

1.80

m

41.2

mins

Date & Time: 29.09.11, 15:31



Dodo-ES

,

3.94

m

14.53

mins

Date & Time: 20.02.16, 11:11



AG / Kreta

,

4.16

m

35.47

mins

Date & Time: 08.09.16, 11:34



,

3.78

m

56

mins

Date & Time: 01.06.16, 11:35

Top 5 – Less Safe Dives



RATIO: corrupted

,

95.39

m

20.5

mins

Meersburg, Deutschland

Date & Time: 04.12.16, 10:29



FORENSIK

,

38.00

m

115.07

mins

Date & Time: 08.03.15, 10:57



Sudan

,

35.16

m

50.2

mins

Date & Time: 04.12.16, 12:43



,

98.50

m

111.83

mins

Date & Time: 02.02.18, 11:29



TC3

,

28.46

m

48.93

mins

Date & Time: 02.11.05, 07:59



25.38 m

Average Depth



98.5 m

Max Depth



20913.89 m

Total Depth



51.73 mins

Average Runtime



115.07 mins

Max Runtime



29 days, 14 hrs, 22
mins

Total Runtime



Albrecht Salm

✉ albi@divetable.info

📄 227116

📍 , Germania

Mean DRA



Uploaded Dives

824



Compiled Dives

824 - 100 %



Your Ranking

1



Registered since

28.01.21



Your Special Projects



Location

Water entry type *

Shore

Enviroment *

Lake

Dive location (city) *

Find Me

Elat, Israel

Dive Site (name) *

Aqua Sport

Altitude *

0

Choose your dive site on the map

Find Me

Write an Address

SUB
MARINE
CONSULTING



Decompression
???
Impossible!!!

Physical State

How did you feel
before this dive? *

Rested



How much exercise
have you done
before this dive? *

Nothing



Did you drink any
alcoholic drink
before this dive? *

No



Did you have a flue
or cold before this
dive? *

No



Medications

Select any of this medication taken before this dive

Antiallergics



Antibiotics



Antidepressants



Antiepileptics



Antiasthmatics



Contraceptives



Blood Pressure



Decongestants



Antidiarrhoeals



Antiflues



Heart /
Circulation



Insuline



Dive Conditions

Purpose *

Visibility *

Current *

Workload in the dive *

Thermal Comfort *

Altitude Exposure

Did you take any plane in the 24 h prior to this dive?

Yes ☐ No ☒

Decompression
???
Impossible!!!



Equipment

Suit Type *

Wet suit

Mouthpiece type *

Standard

Weight system *

8

kgs

Glycemia

Pre:

Post - 15 min:

Problems

Dive Problems *

×

None

Equipment Problems *

None

Out of air

Buoyancy

Equalization

Shared Air

Sea sickness

Headache

Tanks

+ Add

Minute

0|0.000

O2

21

%

He

0

%

Tank Volume

12

Lt

Start Pressure

200

BAR

End Pressure

45

BAR

Cancel

Save



Dive of 23.02.19, 11:36  My Dives Logbook



Aqua Sport

 Open circuit

 Eilat - Israel

 23/02/2019 11:36



Runtime
01:05:43



Max Depth
42.36 m



Special Projects



Avg Depth
14.24 m



Good job!

Your diveform has been successfully saved

OK

Actions 



Min Temperature
20 °C



Max Temperature
22 °C

DRA: Decompression Risk Analysis

SUB
MARINE
CONSULTING

Vertical Speed



Gas

AIR

O2: 21% - N2: 0% - He: 0%

Volume: 12.00 Lt

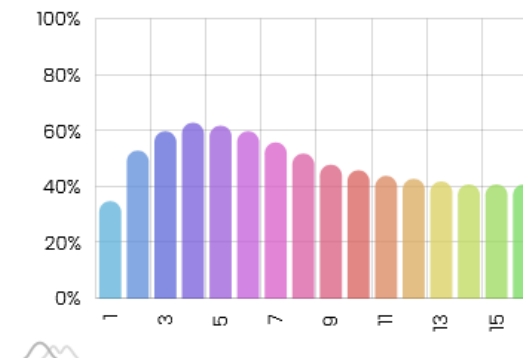
Initial Pressure : 200 BAR

End Pressure : 45 BAR

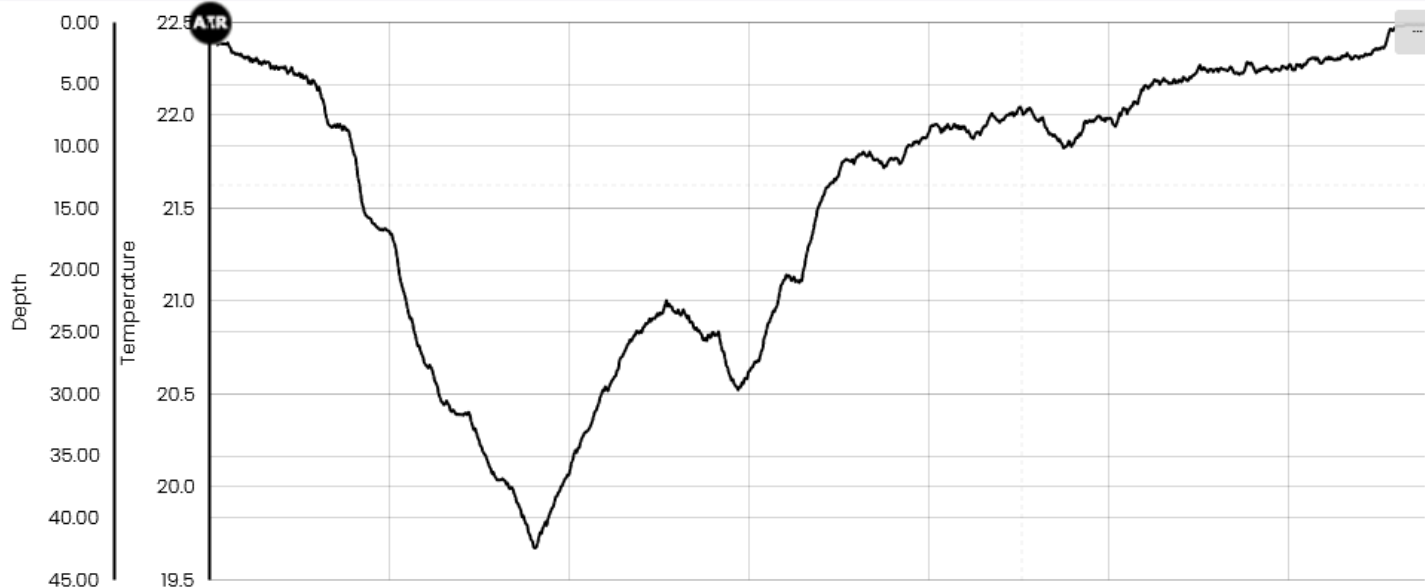
Total Gas Breathed : 155 BAR - 1860 Lt

SAC: 17.1 ml/min

Compartment Saturation



Body Saturation



Dive Infos

Runtime: 43.27 mins

Depth: -7.02 mt

Temperature: 22 C

Ceiling: N/A

Decompression Risk Analysis

**Verbesserung der Qualität:
macht tauchen noch sicherer!!!**

- der Daten!
- der Analysen!

d.h.: dann der

- Modelle!
- Tauchcomputer!

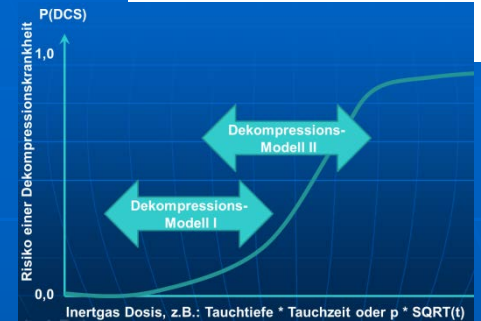
→ macht tauchen noch sicherer!!!

→ ALSO: Tauchgänge hochladen !!!!!!!



Decompression
???
Impossible!!!

zum weiterlesen:



- **110 Jahre Tauchtabellen:**

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32813.03042>

- **Weitere Aspekte von DCS (Linksammlung auf englisch):**

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.22131.66087>

- **Entwicklung der statist. USN Tabellen (engl.):**

https://www.divetable.info/bilder/Museum/aquaCorps_N8_p55_60.pdf

- **Weitere Tauch-Manuale kostenlos:**

https://www.divetable.info/manuals_4_free/index.htm

- **Das A.A.Bühlmann-Gedächtnis-Symposion in Zürich:**

https://www.divetable.info/BS_ZH/

Zum guten Schluß, aus dem neuen „deco manual“:

“Als junger Mensch suchte ich oft Gelehrte und Geistliche auf,
um ihren Streitgesprächen zu lauschen.
Aber ich ging nie klüger weg, als ich gekommen war.“
Omar Chayyam, undatiert

(Quelle: *Umar-i Hayyām*; arabisch **عمر الخيام**, war persischer Mathematiker, Astronom, Astrologe, Kalenderreformer, Philosoph und durch seine Vierzeiler (die Rubā'īyāt) berühmter Dichter. Er lebte von ca. 1048 – 1131. Sein obiger „grüner Spruch“ könnte gut auf unseren [DWSD](#) oder den analogen [deco workshop](#) gelten ... ☺)