

# Dekompressionstheorie

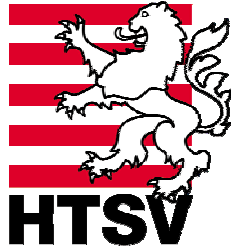
- Theoretische Betrachtung
- Unterschiedliche Modelle
- Sättigungsprofile
- TG Simulation



# Grundlage konventioneller Rechenmodelle ist das Gasgesetz von Henry

Gase lösen sich in Flüssigkeiten in Abhängigkeit von :

Gesetz		Umsetzung für´s Tauchen
➤ Einwirkzeit		Tauchzeit
➤ Temperatur		Temperatur des Gewebes
➤ Partialdruck des Gases über dem Flüssigkeitsspiegel		Druck in der Tauchtiefe
➤ spezifischer Lösungsindex Gas / Flüssigkeit (Gewebe)		spezifischer Lösungsindex Gas / Flüssigkeit (Gewebe)
➤ Verhältnis aus Oberfläche und Flüssigkeitsvolumen		Durchblutung



## Konventionen 1

- I. Biologische Gewebe werden durch mathematische Gewebe ersetzt.
- II. Gewebe nehmen  $N_2$  unterschiedliche schnell auf.
- III. Gewebe nehmen unterschiedlich viel  $N_2$  auf
- IV. Die Zeitspanne zur vollständigen Sättigung / Entsättigung ist unabhängig vom Einwirkungsdruck.
- V. Der Einwirkungsdruck bestimmt die aufgenommene absolute Gasmenge.

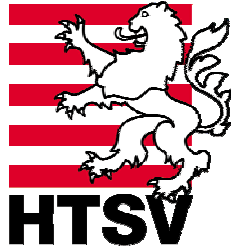


## Konventionen 2

- I. Antrieb für den Gastransport ist immer der Partialdruckunterschied (Druckgradient) zwischen Geweben.
- II. Ort des Gasaustausches im Bereich des Sporttauchens ist die Lunge.  
Hier wird Stickstoff ausgetauscht und vom Blut in oder aus den Geweben transportiert.
- III. Jedes biologische Gewebe toleriert eine bestimmte Gasüberspannung (Übersättigung) , ohne das es zur Bildung von Gasblasen kommt.

## Hinweis zum RGBM

Gase liegen im Körper nicht nur in gelöster, sondern auch in freier Form als Gasblasen, sogenannte  $\mu$ -Blasen, vor.  
Diese Blasen erzeugen noch keine DCS – Symptome.



## Definition : Gasspannung

Gasspannung oder auch  
Partialdruck der Lösung



Der Partialdruck, der sich ergibt,  
wenn man die im Gewebe gelöste  
absolute Gasmenge als Sättigungs-  
menge betrachtet.



Angebotspartialdruck, bei dem die  
zum betrachteten Zeitpunkt im  
Gewebe gelöste absolute  
Gasmenge gerade die Sättigung  
des Gewebes ergeben würde.



## Beispiel Gasspannung

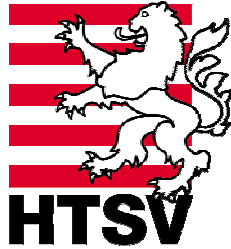
Wie betrachten eine Gasmenge von 10 ml, die in einer Flüssigkeit gelöst ist.

Bei dem gegebenen Umgebungsdruck ist die Flüssigkeit nicht gesättigt, da sie 20 ml Gas aufnehmen könnte.

Nun wird der Umgebungsdruck soweit reduziert, dass die 10 ml Gas genau der im Sättigungszustand maximal möglichen gelösten Gasmenge entsprechen. Das heißt die Flüssigkeit nimmt weder weiter Gas auf, noch gibt sie Gas ab.

Dieser Umgebungsdruck entspricht der Gasspannung.





## Gastransport (Stickstoff)

- Gastransport im Körper geschieht passiv durch Diffusion.
- Gewebe werden je nach physiologischen Gegebenheiten mit Blut versorgt. Das Blut transportiert via Kapillargefäß Stickstoff in das Gewebe.
- Vom Gewebe zum Blut entsteht ein Gradientenunterschied bezüglich der Gasspannung.
- Biologische Gewebe sind nicht homogen, sondern variieren in der Fähigkeit Gas aufzunehmen.
- Ein mathematisches Gewebe bildet nicht direkt ein biologisches Gewebe ab.

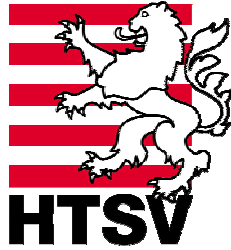


## Sättigung / Entsättigung

Nach 6 Halbwertszeiten betrachtet man ein Gewebe als „voll / leer“

Halbwertszeitzyklen	Aufsättigung	Entsättigung
1	50 %	50 %
2	75 %	25 %
3	87,5 %	12,5 %
4	93,75 %	6,25 %
5	96,875 %	3,125 %
6	98,4375 %	1,5625 %

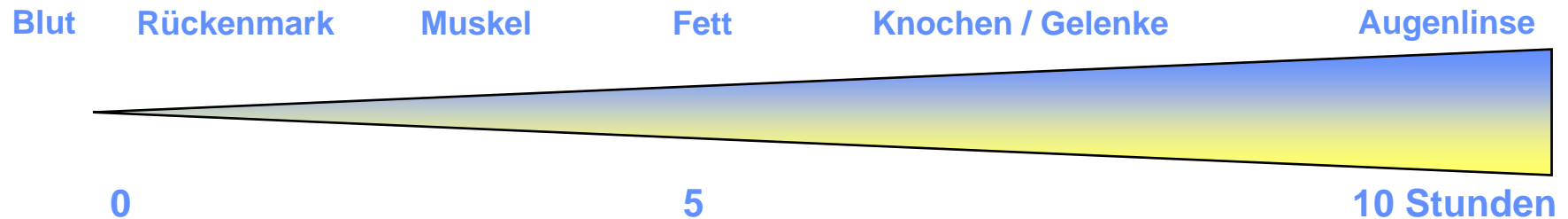


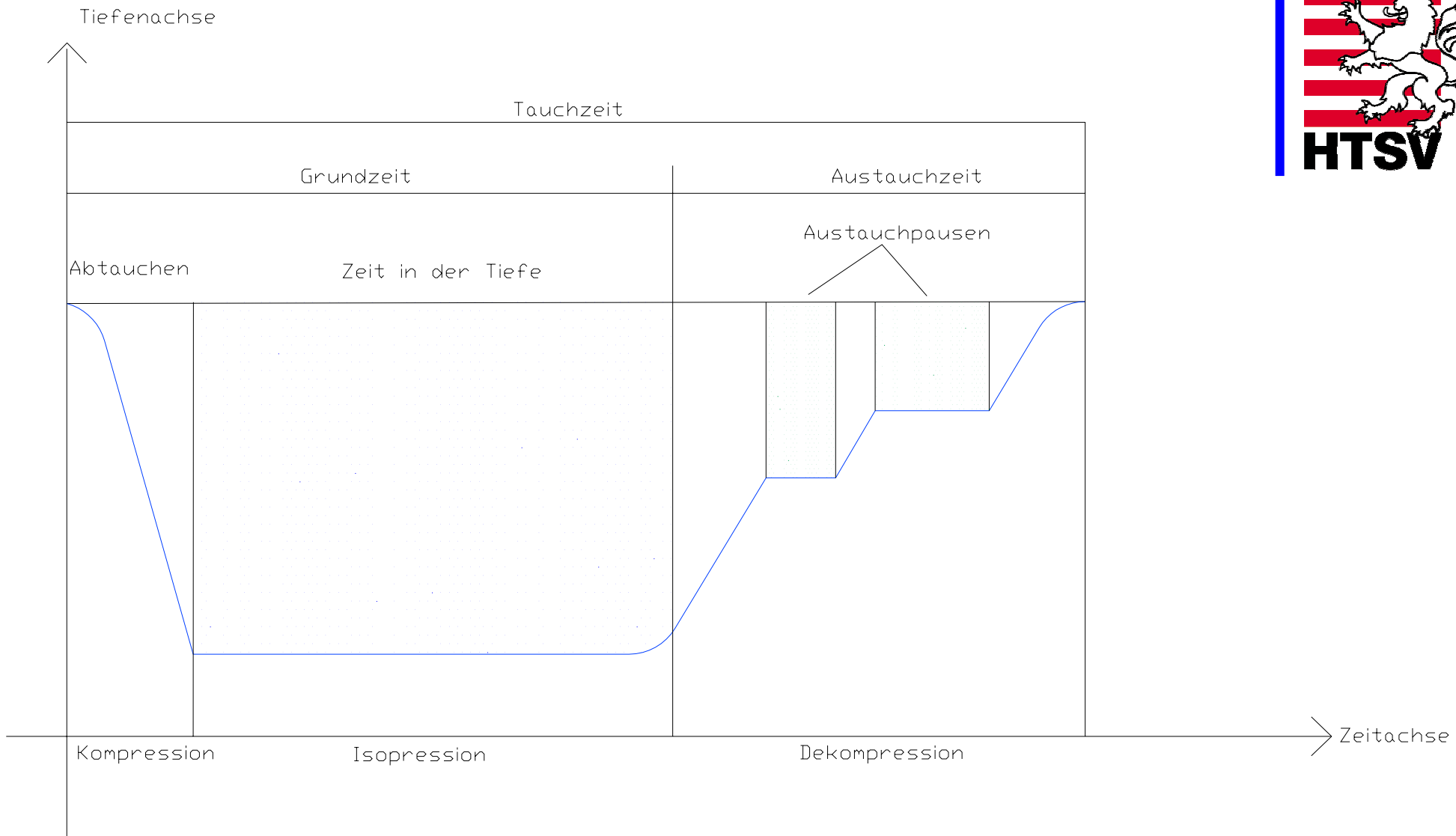
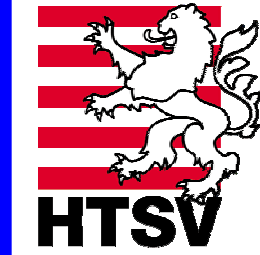


## Mathematische Gewebe

Gewebe mit unterschiedlichen Halbwertsättigungszeiten

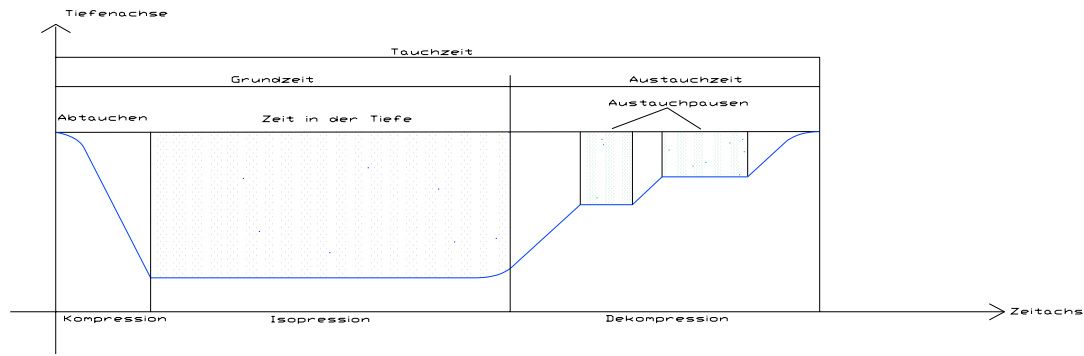
Gewebe	Halbwertszeit		Gewebe	Halbwertszeit
1	4,0 min		9	64,0 min
2	5,7 min		10	90,5 min
3	9,0 min		11	120,0 min
4	11,3 min		12	181,0 min
5	16,0 min		13	256,0 min
6	22,6 min		14	362,0 min
7	32,0 min		15	513,0 min
8	45,3 min		16	724,0 min



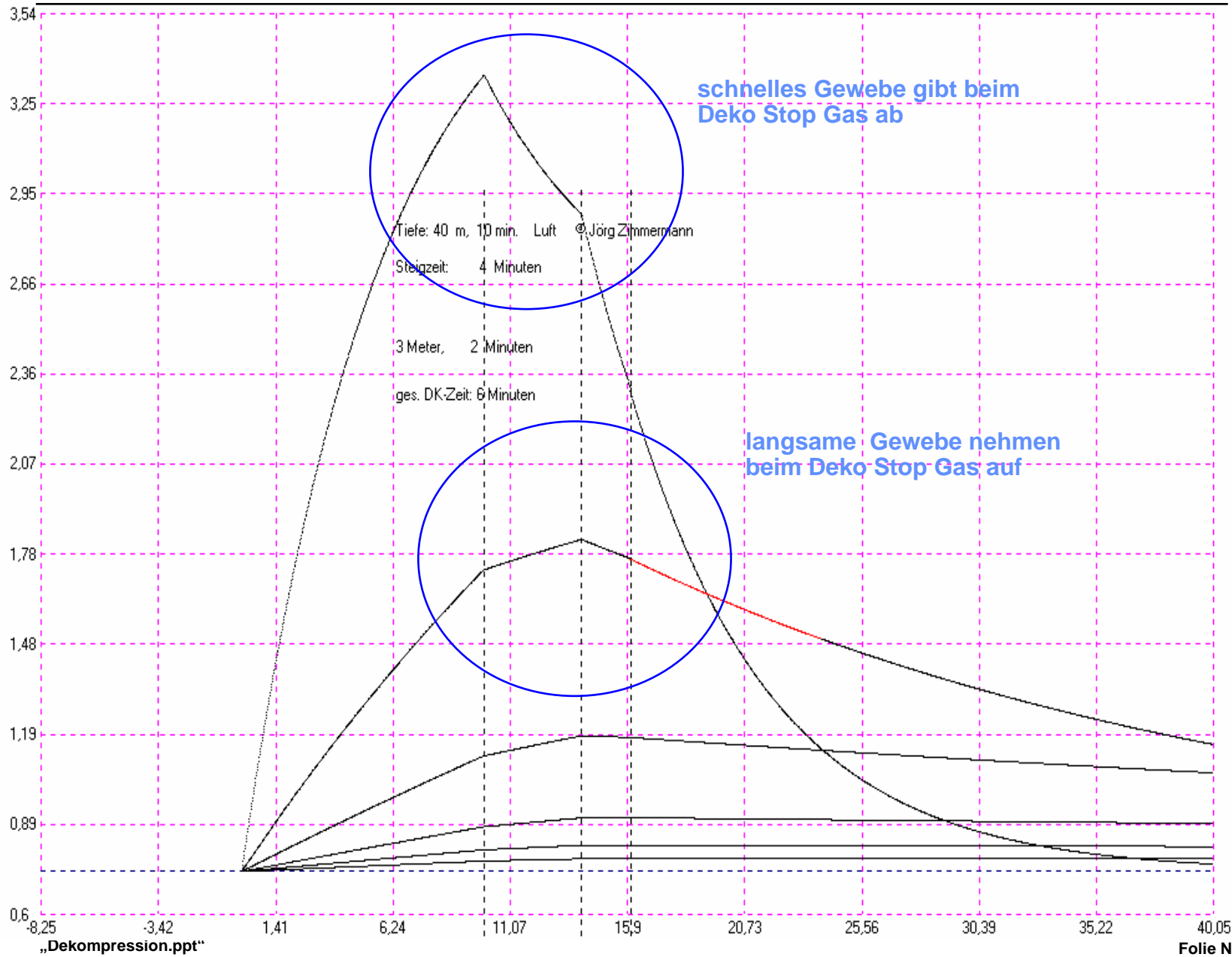


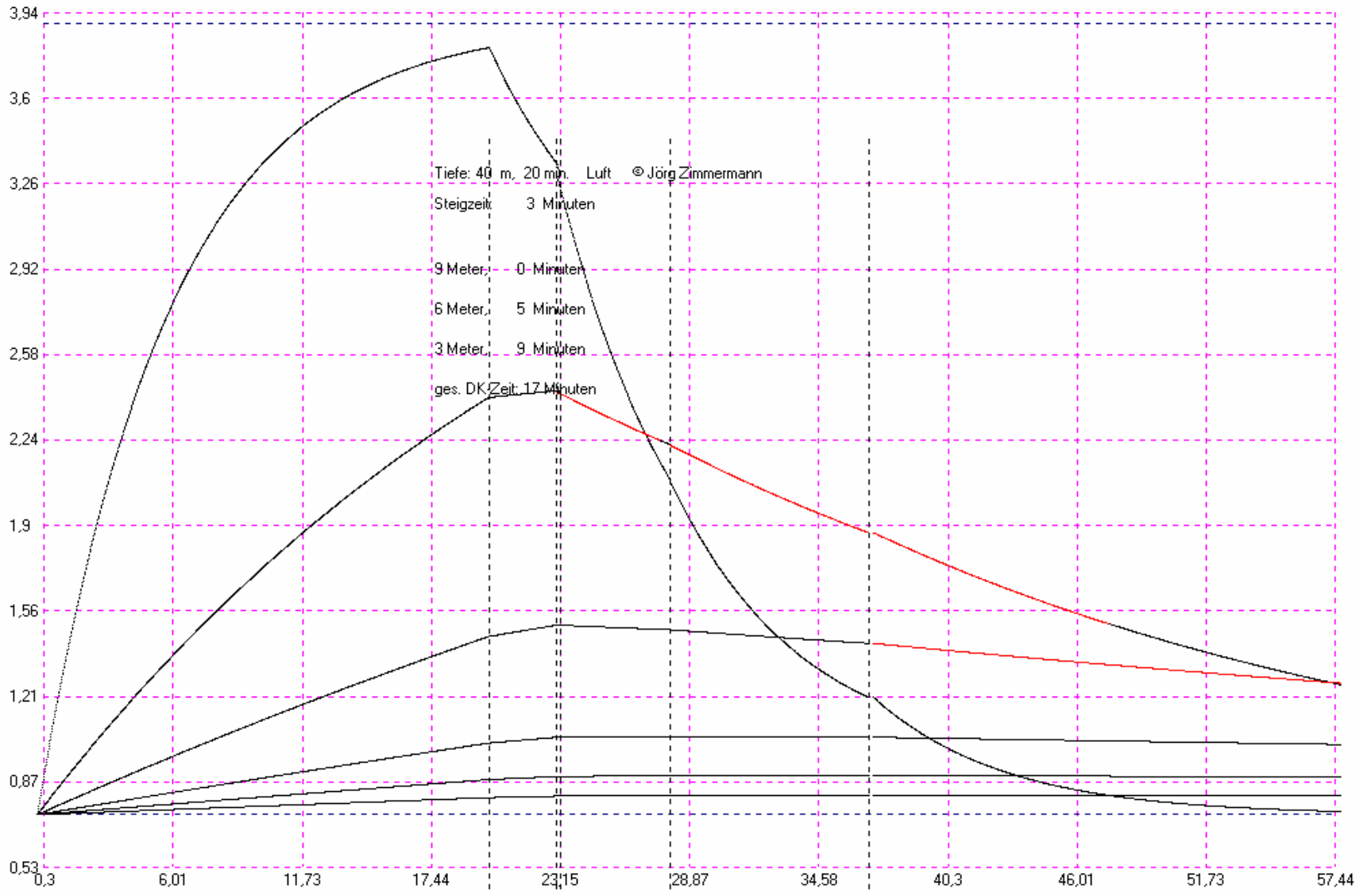


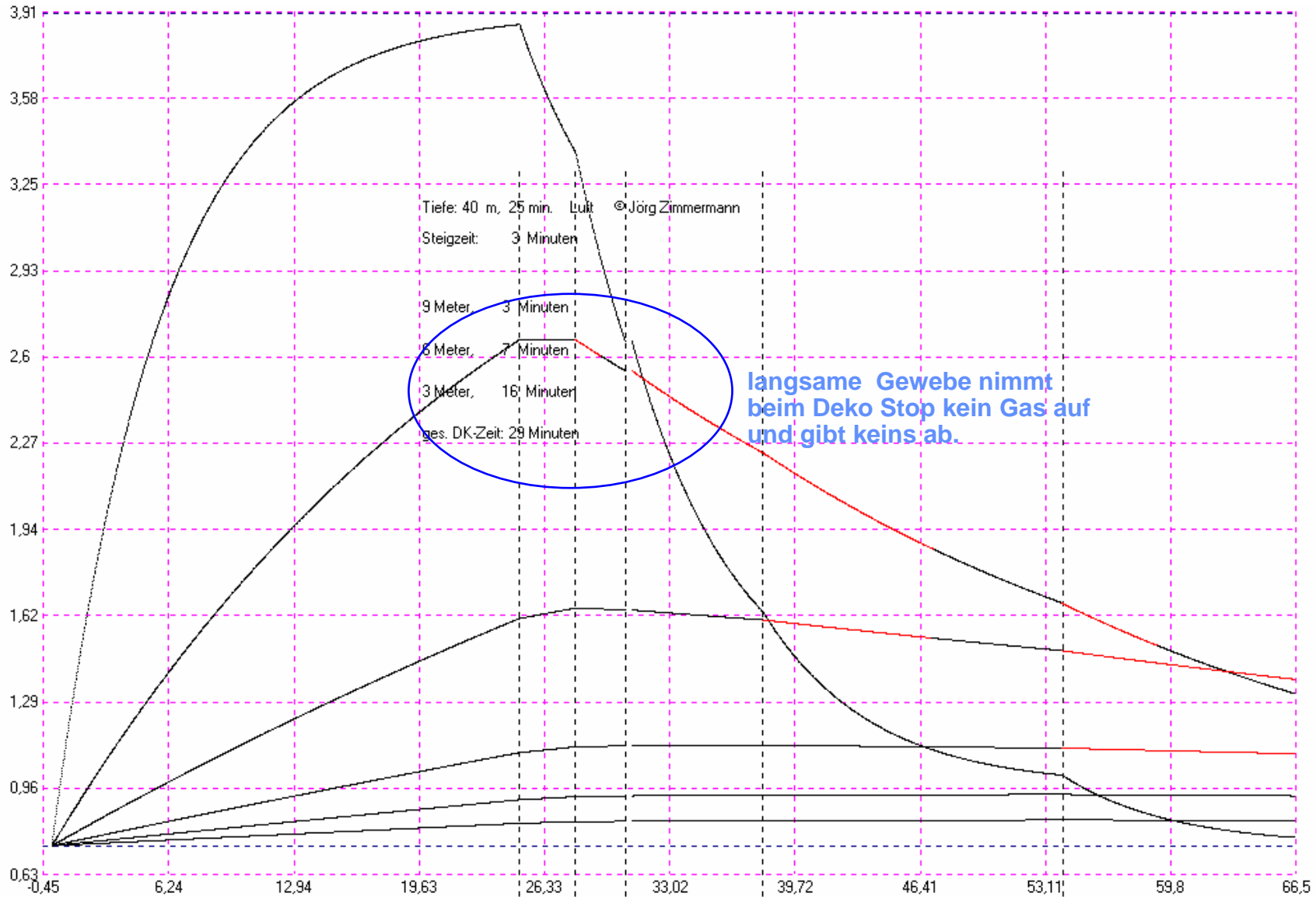
# Verhalten der Kompartimente

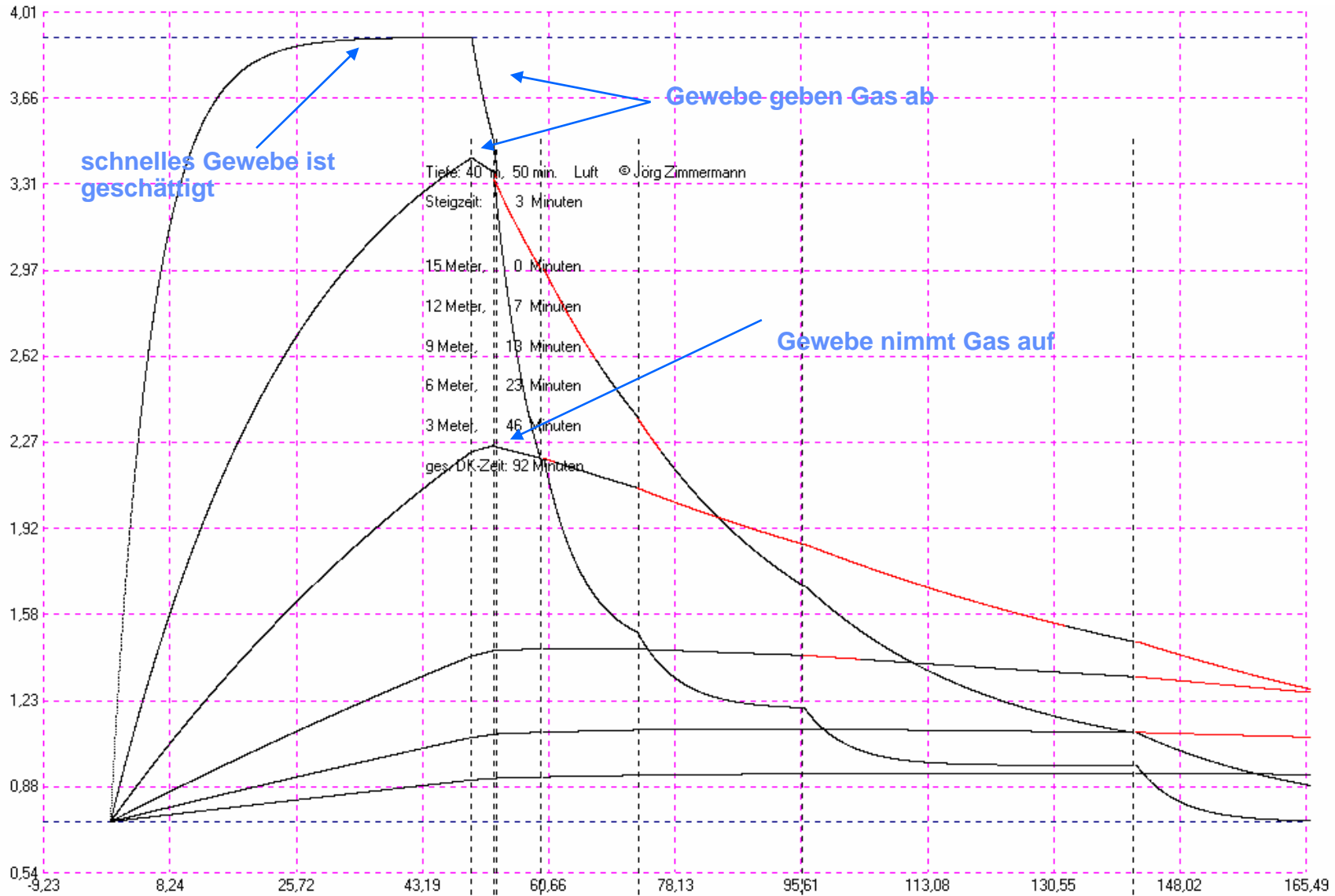


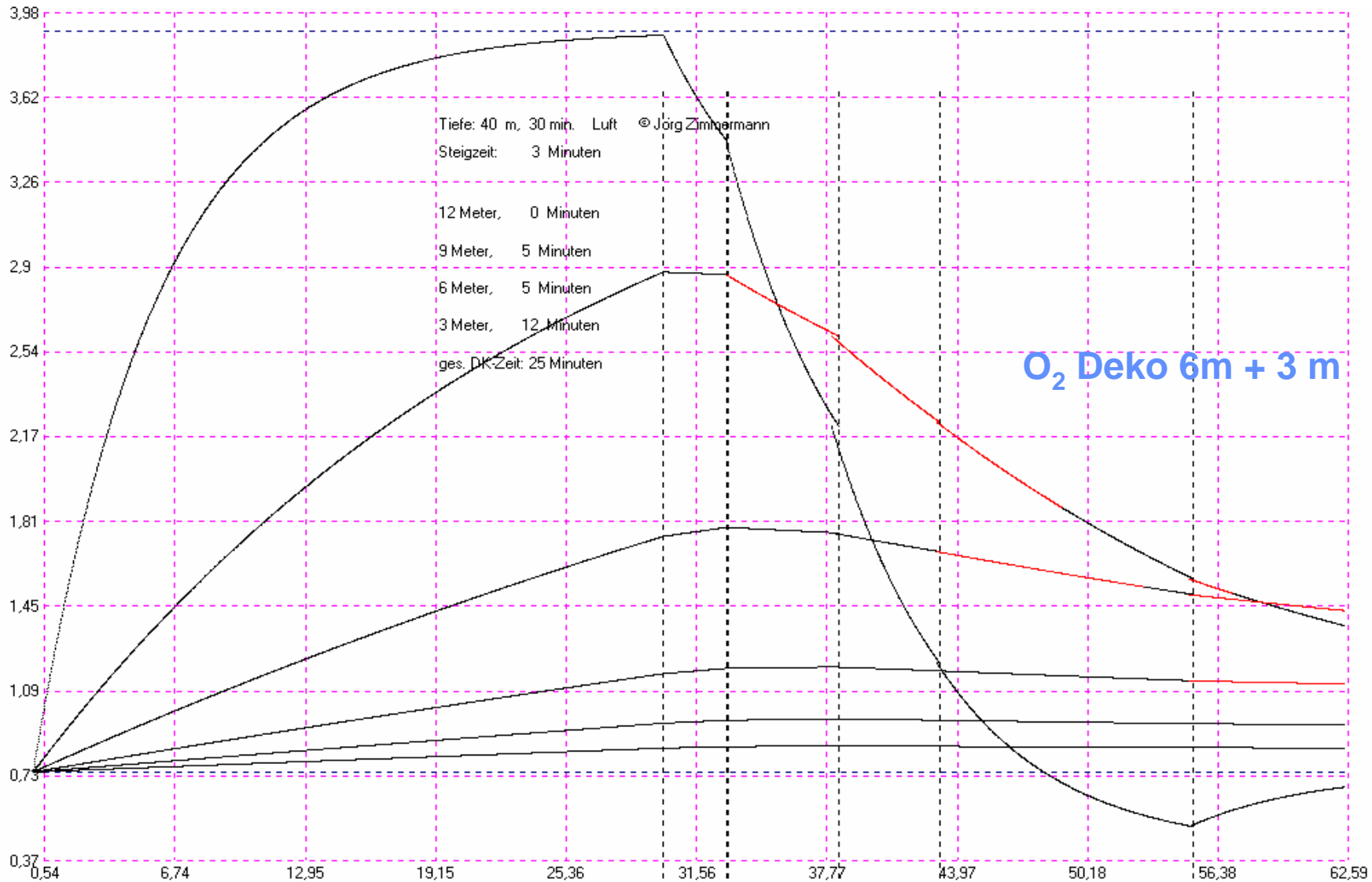
Kompression	alle Gewebe nehmen N <sub>2</sub> auf
Isopression	langsame Gewebe nehmen weiter N <sub>2</sub> auf schnelle Gewebe sind bereits gesättigt.
Dekompression	Gasspannung im Gewebe < angebotener Partialdruck Gewebe nehmen Gas auf
	Gasspannung im Gewebe > angebotener Partialdruck Gewebe geben Gas ab
Der vom Gewebe tolerierte max. Umgebungsdruck bestimmt die zulässige Auftauchtiefe.	



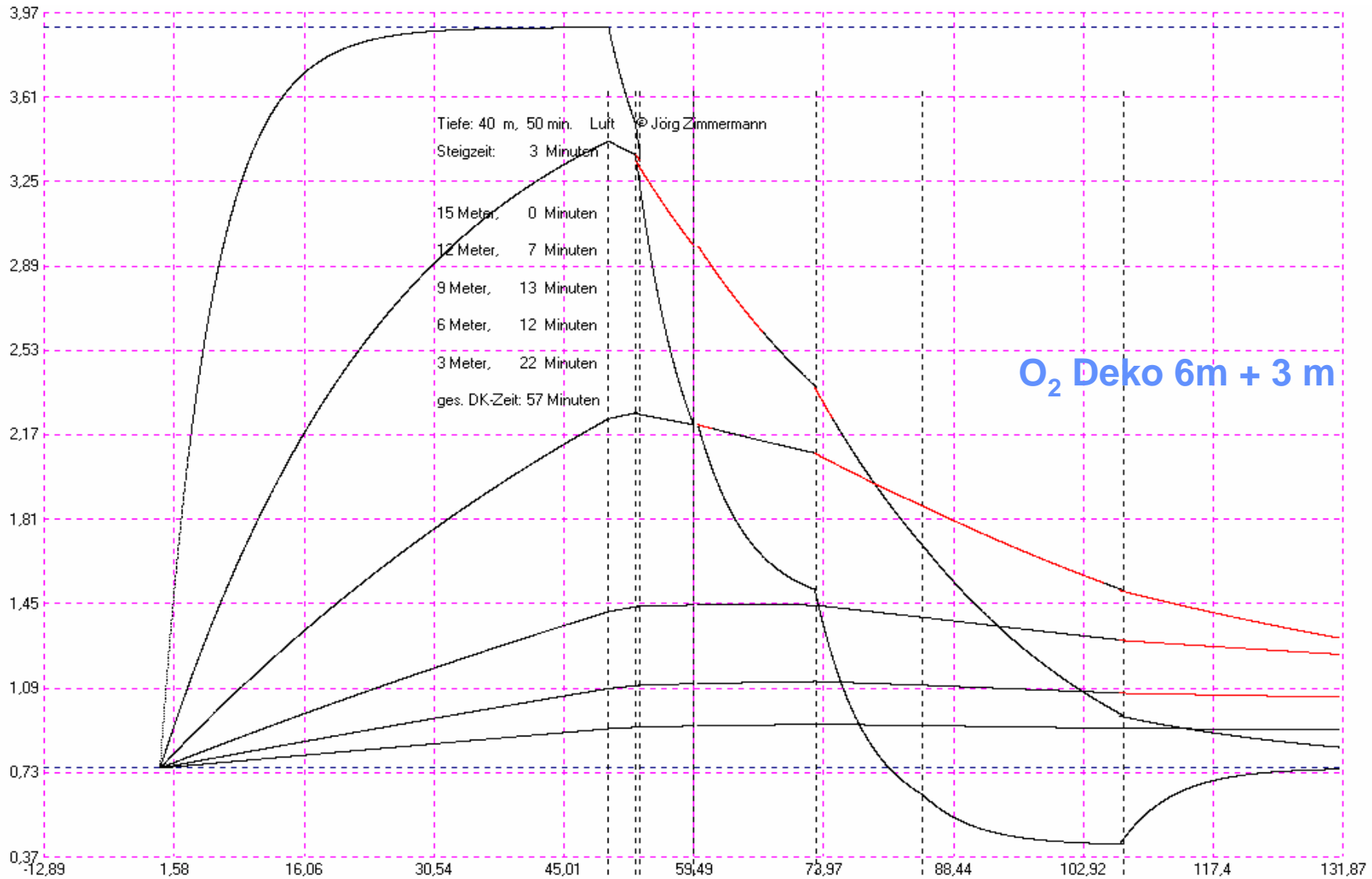
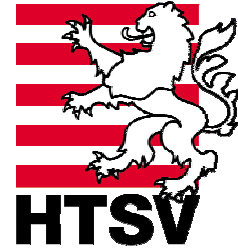














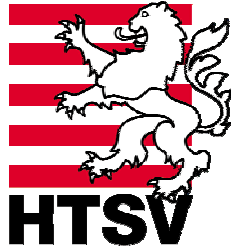
## RGBM (reduced gradient bubble modell)

Gas liegt im Körper nicht nur in gelöster Form (dem Gesetz von Henry folgend), sondern auch in freier Form als Gasblasen vor.

Der Blasendurchmesser liegt im Bereich von einigen tausendstel mm.

Aufgrund ihrer Größe rufen die Bläschen zwar keine physiologischen Symptome hervor, haben jedoch folgende Auswirkungen :

- Gasbläschen neigen zur Zusammenlagerung + Bildung von größeren Blasen
- Blasen verlangsamen die Gasabgabe und verzögern somit die Dekompression



## RGBM (reduced gradient bubble modell)

### Gasblasen folgen anderen Gesetzmäßigkeiten als gelöste Gase

Eine Blase wächst, wenn die Gasspannung in der Umgebung größer ist als der Druck innerhalb Blase, weil Gas in die Blase hineinströmt.

Eine Blase schrumpft, wenn der Druck in der Blase kleiner ist als die Gasspannung in der umgebenden Flüssigkeit / Gewebe.

Bei einer Reduktion des Umgebungsdruckes entstehen sofort  $\mu$  Blasen.

Wird aufgetaucht, steigt die Gasüberspannung im Gewebe an. Folglich strömt Gas aus dem umgebenden Gewebe in die Blasen. Die Blasen werden größer.



## RGBM (reduced gradient bubble modell)

Ein RGBM Dekompressionsalgorithmus folgt anderen Richtwerten als konventionelle Rechenmodelle :

1. Es werden tiefere Stops eingelegt, um ein vermehrtes Wachsen / Entstehen von Blasen zu verhindern.
2. Die Aufstiegs geschwindigkeit ist auch aus großer Tiefe immer 10 m / min, da beim Aufstieg immer  $\mu$  Blasen entstehen. Eine variable Aufstiegsrampe, die allein den Bedingungen des physikalischen Gesetzes von Boyle Mariotte entspricht, berücksichtigt nicht die physiologischen und blaskinetischen Vorgänge und wird nicht angewandt.
3. Durch die tieferen Stops wird ein entstehen von Gasblasen verhindert, die Dekompression ist effektiver, oberflächennahe Deko Stops können in der Regel kürzer ausfallen.

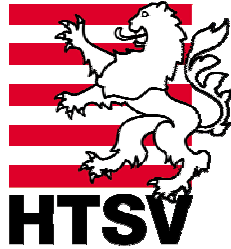


# Vergleich konventionelles Modell

## Gewebeüberspannungsorientierte Rechenmodelle

Annahme :

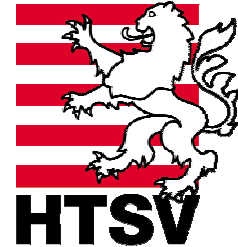
- Die gesamte im Körper gespeicherte Gasmenge liegt in gelöster Form vor.
- Antriebskraft des Dekompressionsvorgangs ist allein der unterschiedliche Gasdruck (Gasspannung) zwischen dem Gewebe und dem im Kreislauf- bzw. Atmungssystem.
- Je größer dieser Druckunterschied ist, desto schneller geht der Gas- austausch von statten.  
Dies wird dadurch erreicht, dass bis auf eine maximale zulässige Austausch- tiefe aufgetaucht wird, um den Gasumgebungsdruck zu minimieren und die Gasüberspannung bis zu den Grenzen Gasblasenbildung zu maximieren.



## Vergleich RGBM (reduced gradient bubble modell)

### Gasblasenorientierte Rechenmodelle (RGBM)

- limitieren das Gasvolumen, das zur Bildung von Blasen führen kann, durch das Einhalten tieferer Stopps bei denen der Druck innerhalb der Gasblase immer deutlich über dem im umgebenden Gewebe gehalten wird.
- Die Gewebeüberspannung wird geringer gehalten als im konventionellen Rechenmodell.
- Folglich gelangt Gas aus der Blase in umgebende Flüssigkeit und geht in Lösung.
- Die Dekompression ist dadurch erheblich effektiver als bei konventionellen Rechenmodellen.



## Vergleich RGBM / Bühlmann Dekoplan

TG 1 Daten		TG 2	Intervall 90 min
Tiefe	42 m	39 m	Deko mit und ohne
Grundzeit	25,0 min	25,0 min	Sauerstoff ab 6 m Tiefe

Rechenmodell	RGBM	Bühlmann / Hahn	RGBM		Bühlmann / Hahn	
Tiefe				O <sub>2</sub>		O <sub>2</sub>
21 m	1,5 min	0,5 min	1,0 min	0,5 min	0,0 min	0,0 min
18 m	1,5 min	0,5 min	1,5 min	1,5 min	0,5 min	0,5 min
15 m	3,5 min	2,0 min	3,5 min	3,0 min	1,5 min	1,5 min
12 m	3,5 min	3,5 min	4,0 min	3,5 min	3,0 min	3,0 min
9 m	5,0 min	6,0 min	5,5 min	5,0 min	5,0 min	5,0 min
6 m	9,0 min	8,5 min	10,0 min	4,0 min	8,0 min	8,0 min
3 m	10,5 min	20,0 min	17,5 min	6,0 min	32,0 min	10,0 min
Summe	34,5 min	41,0 min	43,0 min	23,5 min	50,0 min	28,0 min