

**SGUM Sektion Gefässe**  
**Duplexsonographie der Gefässe**  
**Abschlusskurs**  
**27. – 28. März 2025**

**Duplextechnik: Grundlagen und Optimierung**  
**Spektralanalyse**

**Basel, 27. März 2025**

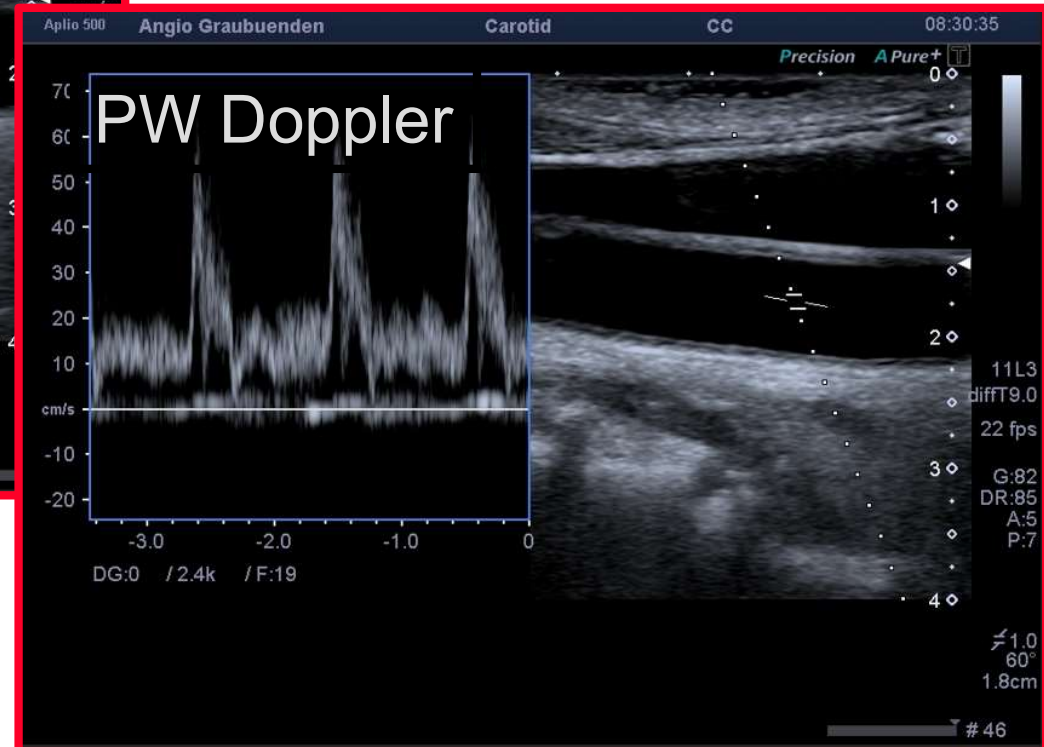
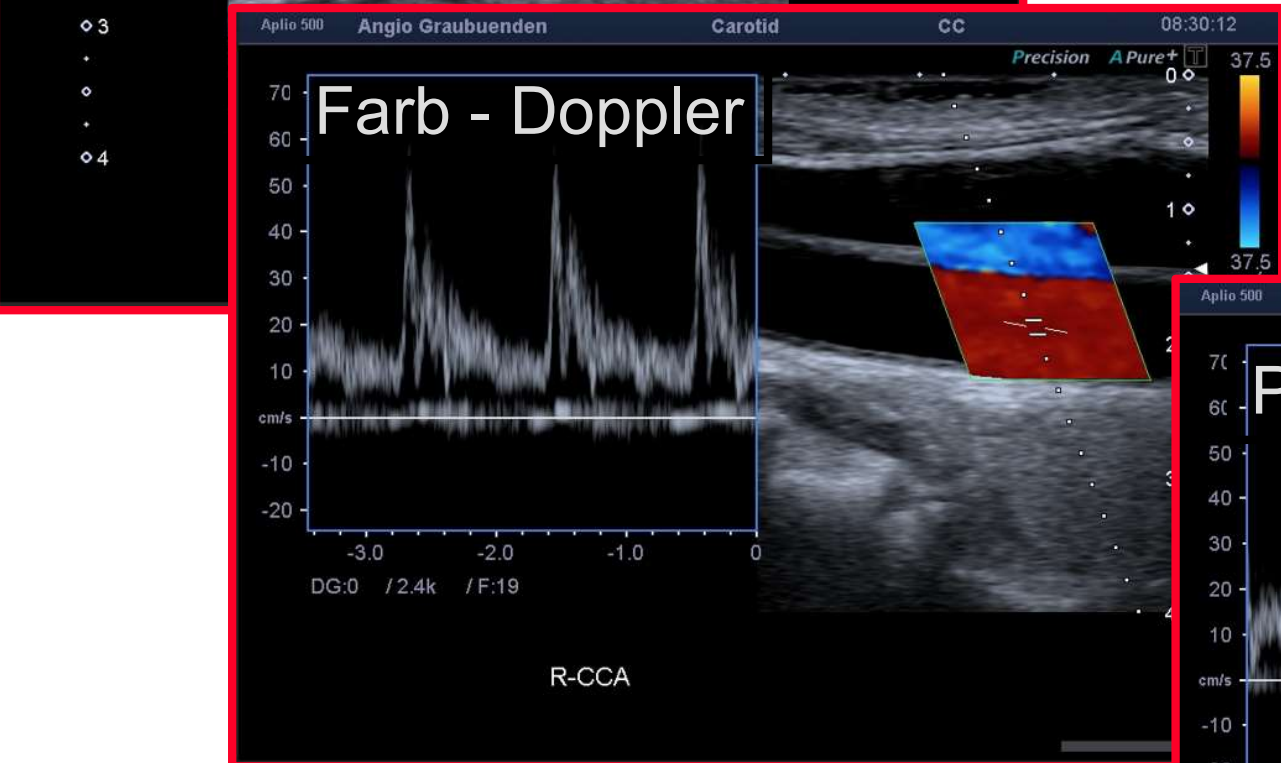
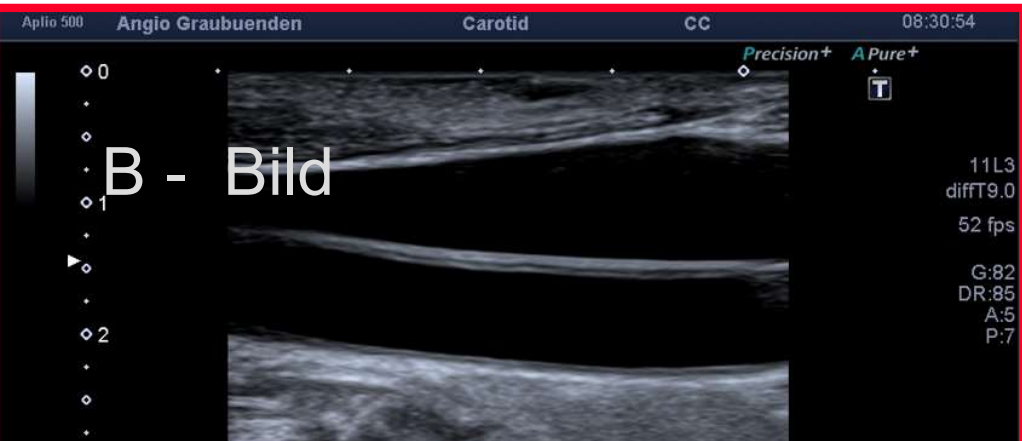
**09h.40-10h.00**

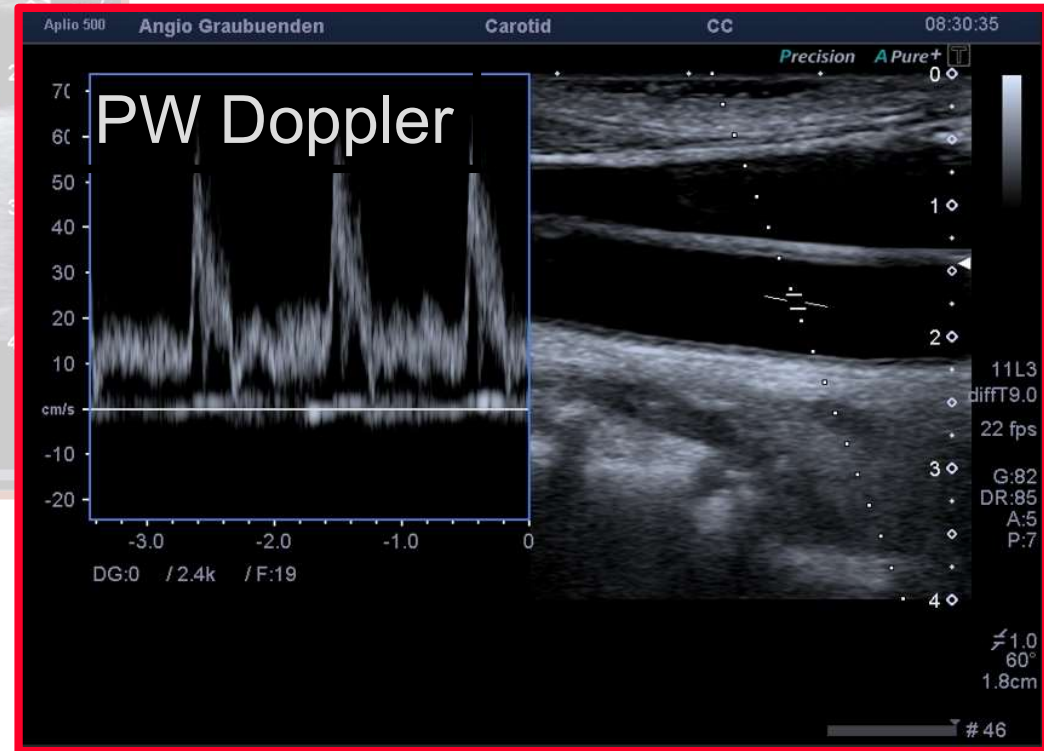
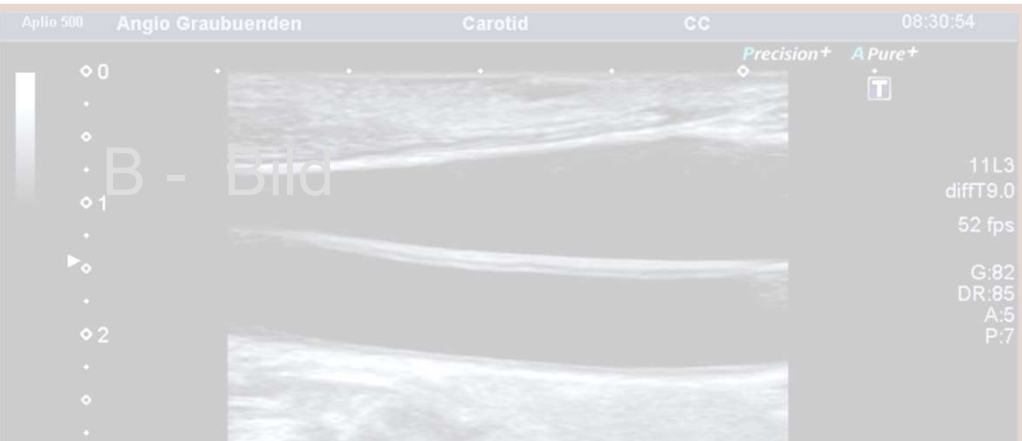
**Corina R. Canova**  
**Fachärztin Innere Medizin und Angiologie (CH)**  
**Interdisziplinäre Gefässmedizin Südost**  
**an verschiedenen Standorten ambulant und Spitalregion Südost**

**[corina.canova@gefaesse-so.ch](mailto:corina.canova@gefaesse-so.ch)**



**GEFÄSSMEDIZIN**  
**SÜDOST**





# Doppler-Informationen

---

## Hämodynamik

- Blut fließt
- Richtung des Blutflusses
- Geschwindigkeit des Blutflusses
- Menge des Blutflusses

## Morphologie

- Tiefe
- Räumliche Lage
- Durchmesser

# Was braucht es für diese Information ?

- **Bewegung** des Blutes
- **Schallwellen** aus einem einkanaligen abwechselnd sendenden und empfangenden Ultraschallsystem
- **Frequenzauswertung**
  - akustisch und
  - graphisch als Frequenzspektrum
- **Fließgeschwindigkeit wird berechnet mit der Dopplergleichung** (Differenz zwischen Sendefrequenz und empfangener Frequenz)



$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 f_0 \cdot \cos \alpha}$$

# Was braucht es für diese Information ?

- Bewegung des Blutes
- Schallwellen aus einem einkanaligen abwechselnd sendenden und empfangenden Ultraschallsystem
- **Frequenzauswertung**
  - akustisch und
  - graphisch als Frequenzspektrum
- **Fließgeschwindigkeit wird berechnet mit der Dopplergleichung** (Differenz zwischen Sendefrequenz und empfangener Frequenz)



$$v = \frac{\Delta f \cdot c}{2 f_0 \cdot \cos \alpha}$$

# Was beeinflusst diese Information ?

---

- **Faktor Mensch:** als Untersucher
- **Faktor Mensch:** als Patient
- **Arterie:** Elastizität  
Verkalkungen  
Peripherer Widerstand
- **Alter der Arterie:** Fließgeschwindigkeit
- **Gefäßterritorium:** Organperfusion

# Was beeinflusst diese Information ?

---

- **Faktor Mensch:** als Untersucher
- Faktor Mensch: als Patient
- Arterie: Elastizität  
Verkalkungen  
Peripherer Widerstand
- Alter der Arterie: Fließgeschwindigkeit
- Gefäßterritorium: Organperfusion

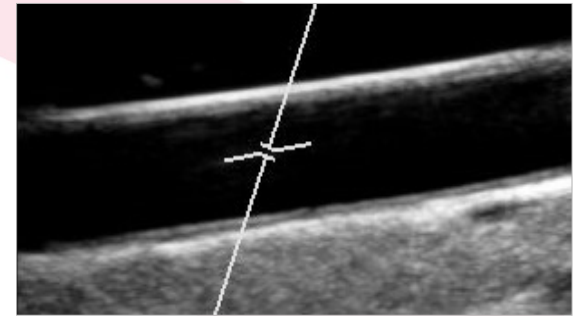
# Dopplertechnik: PW und Farbe

---

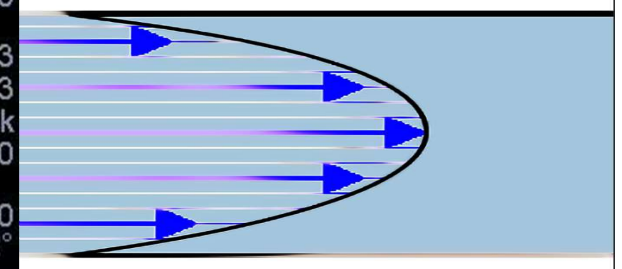
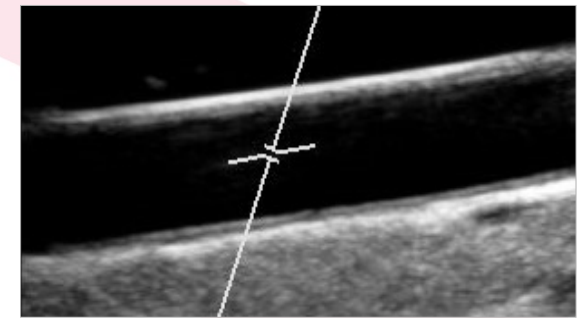
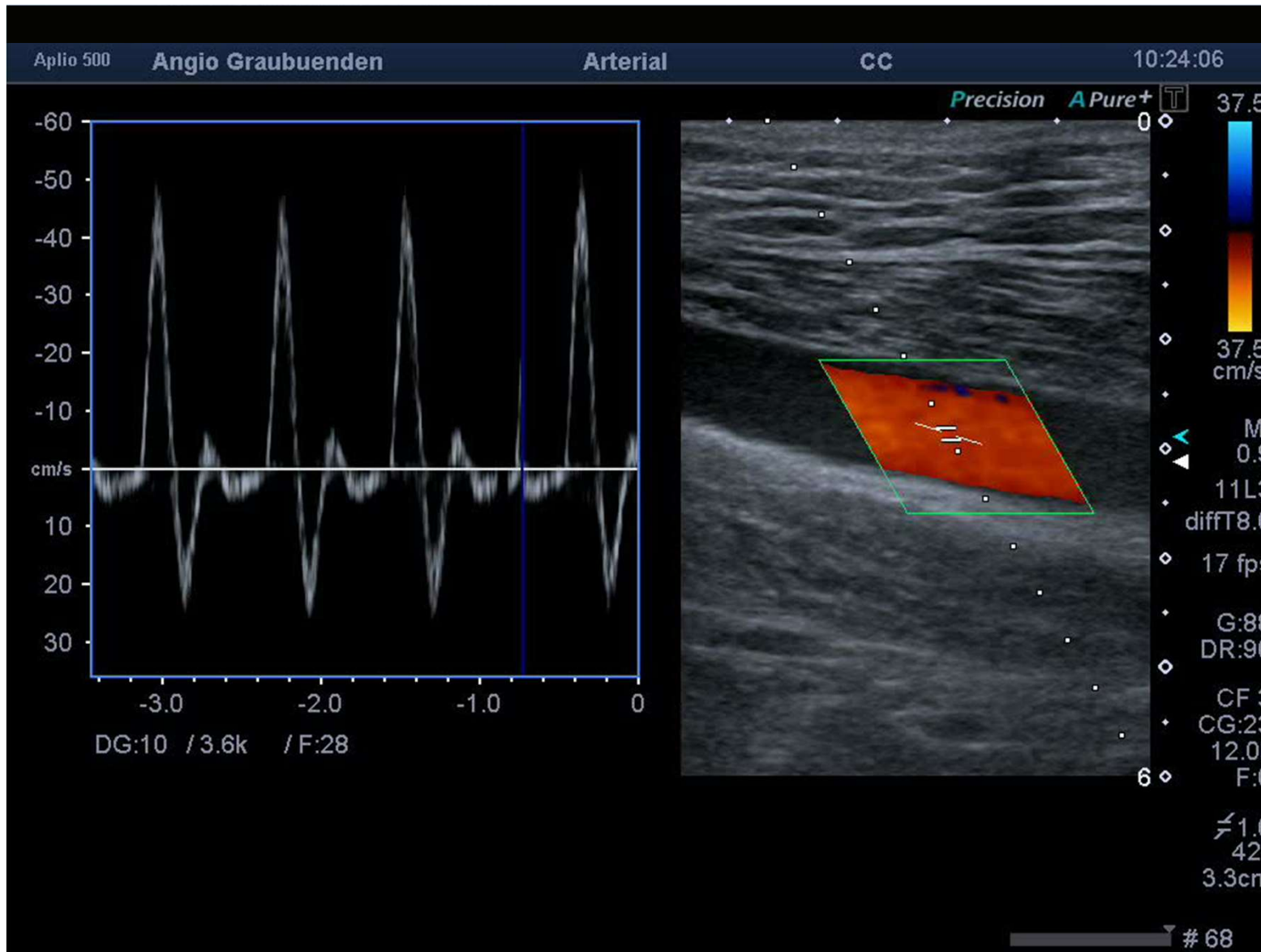
Signale aus **Längsschnitt** registriert

- **Sample Volume:**

- **Kleinstmöglich zum Registrieren**
- Grösser zum Auffinden / Suchen
- an Durchmesser angepasst für Volumenmessung
- In Gefässmitte bei  $\pm$  normalem B-Bild
- In Flussjet bei Stenose
- Entlang Strömung bei möglichen Turbulenzen (Beschleunigung)



# Dopplertechnik: PW und Farbe

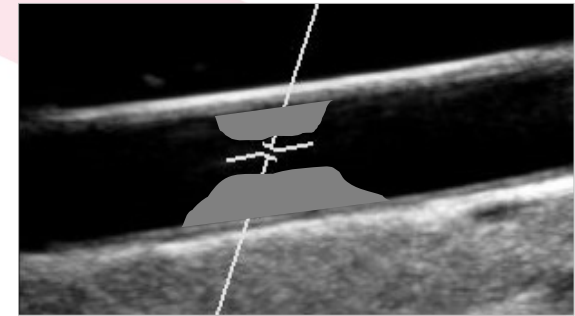


# Dopplertechnik: PW und Farbe

Signale aus **Längsschnitt** registriert

- **Sample Volume:**

- **Kleinstmöglich zum Registrieren**
- **Grösser zum Auffinden / Suchen**
- an **Durchmesser angepasst für Volumenmessung**
- In **Gefässmitte bei  $\pm$  normalem B-Bild**
- In **Flussjet bei Stenose**
- Entlang **Strömung bei möglichen Turbulenzen (Beschleunigung)**



# Dopplertechnik

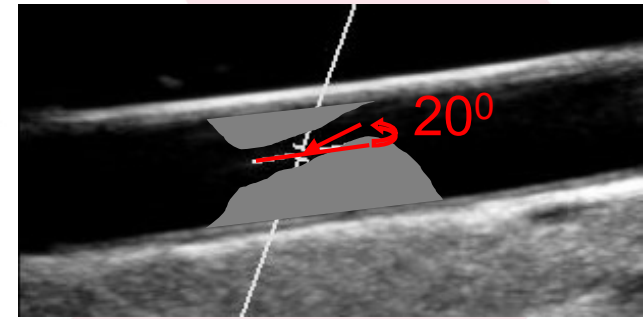
---

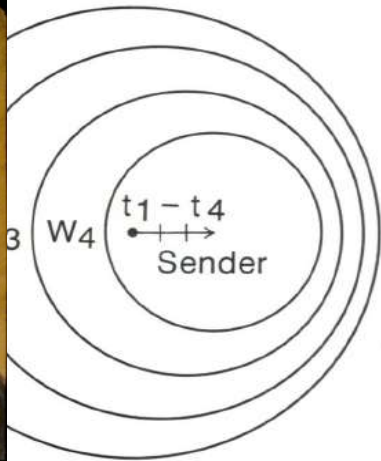
- **Cursor / Korrekturwinkel:**

- Parallel zur Gefässachse ausrichten (Normales B-Bild)
- Gemäss Fluss-Jet bei Stenosen

- **Doppler-Winkel:**

- Standardisiert bei  $60^\circ$
- Nicht  $> 60^\circ$
- $< 60^\circ$  entspricht kleinerem Messfehler
- Bei Follow-up-Vergleichen stets gleicher Winkel



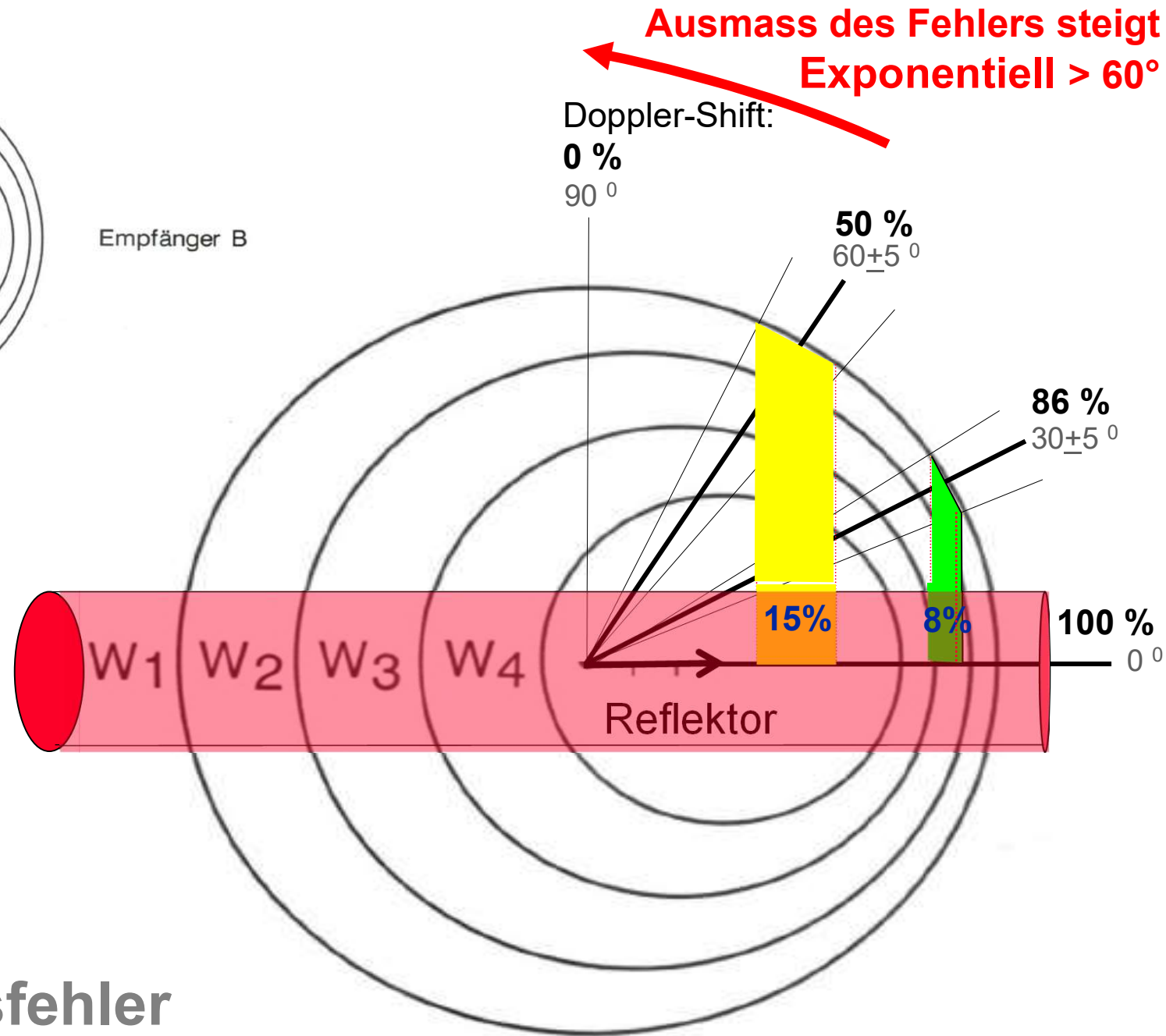


Empfänger B

**Doppler-Winkel  $\leq 60^\circ$**

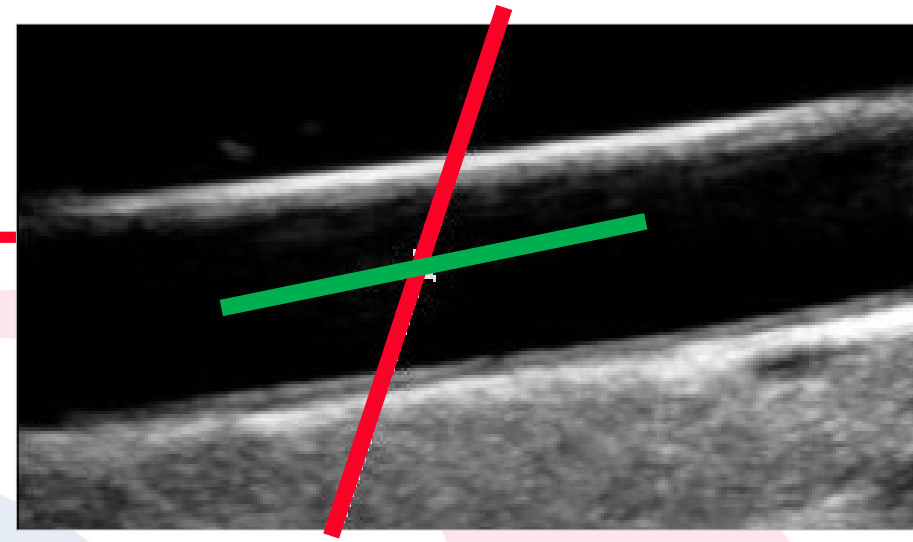
Je grösser der Winkel, desto:

- grösser der Messfehler
- geringer der Doppler-Shift

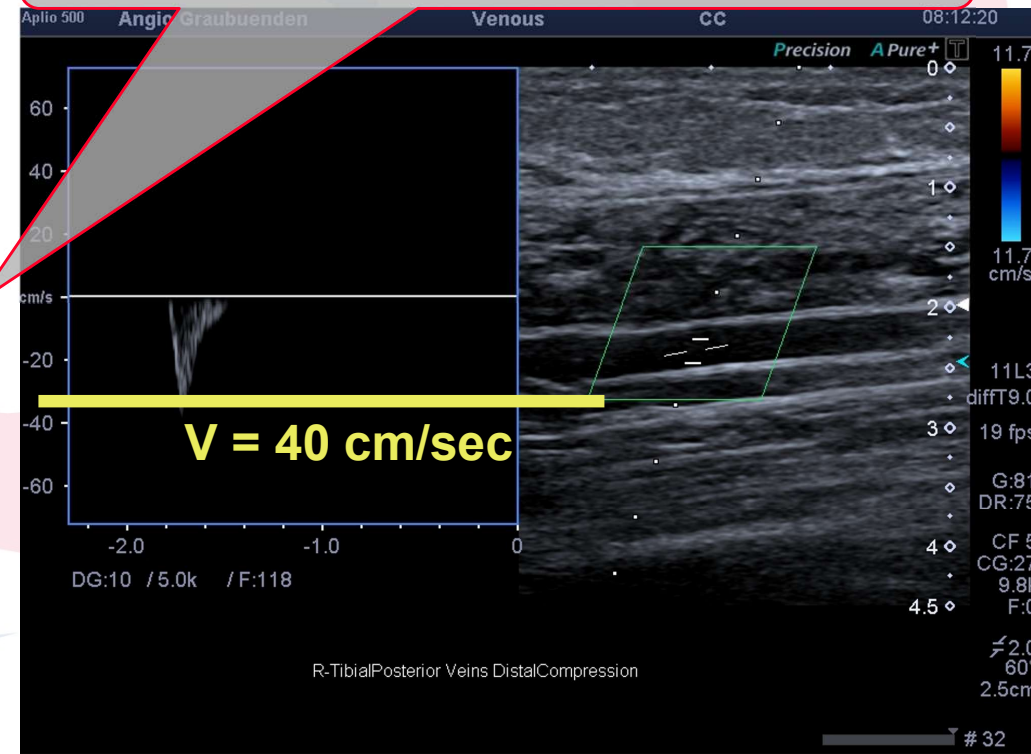
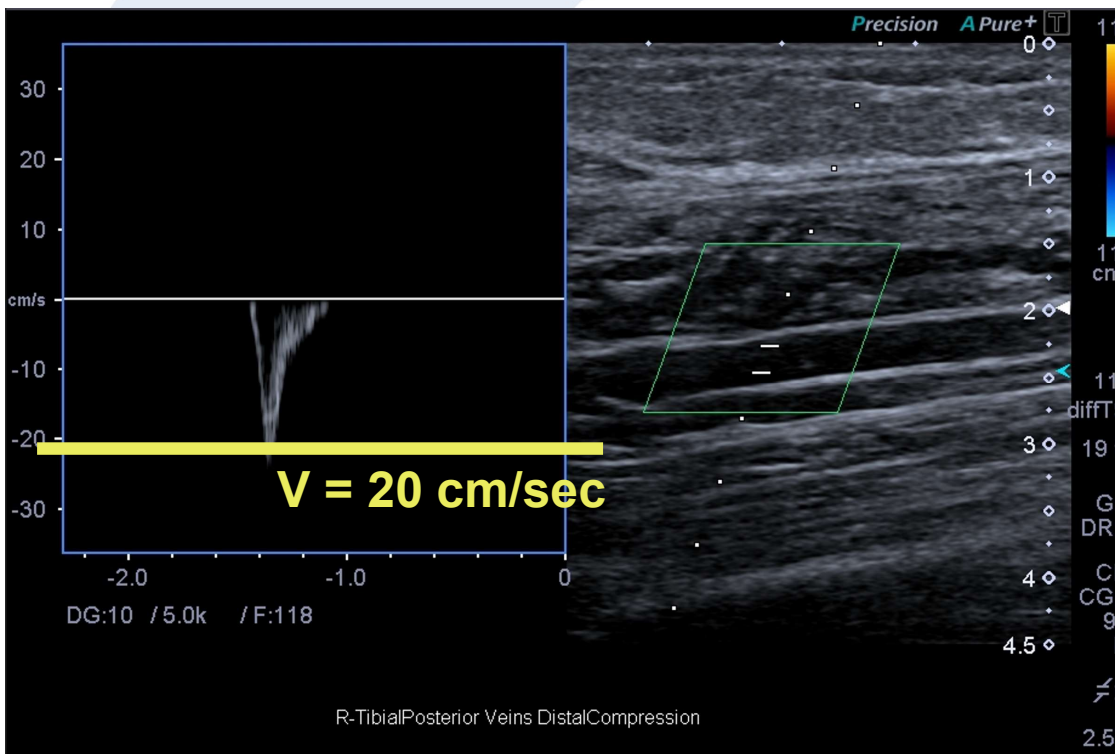


# Winkelkorrektur

- Einschallwinkel
- Korrekturwinkel



Welche Ableitung ist korrekt ?



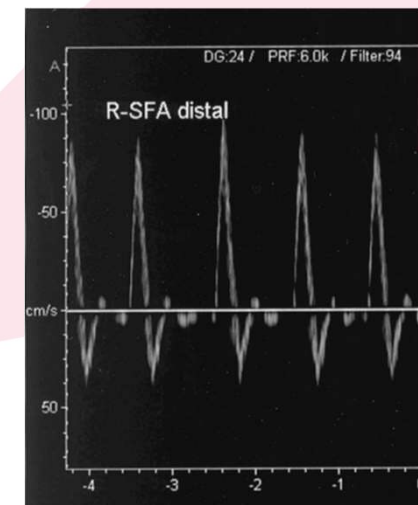
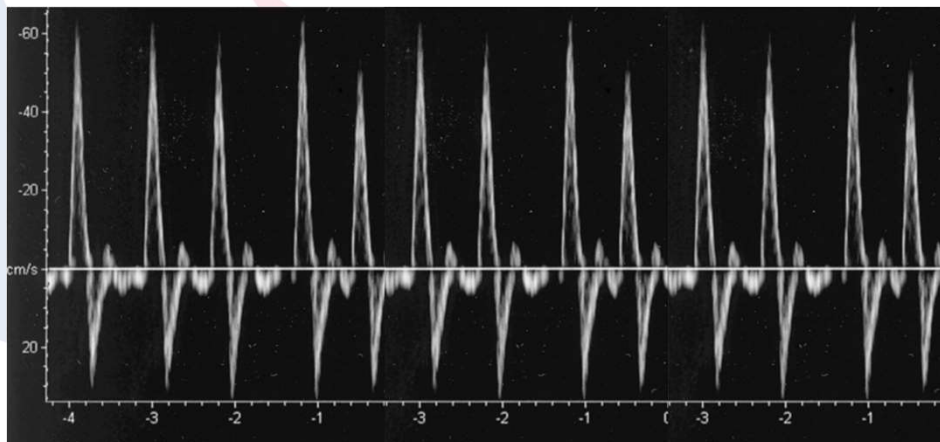
# Was beeinflusst diese Information ?

---

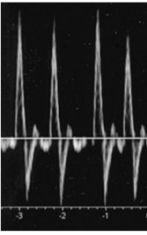
- Faktor Mensch: als Untersucher
- Faktor Mensch: als Patient
- **Arterie:**
  - Elastizität**
  - Verkalkungen**
  - Peripherer Widerstand**
- **Alter der Arterie:** **Fließgeschwindigkeit**
- **Gefäßterritorium:** **Organperfusion**

# Normales Flussmuster: „peripher“

- periphere Gefäße: "high-resistance flow"
  - drei- bis vierphasisches Flussmuster mit
  - geringgradig diastolischem Rückfluss
  - "systolischem Fenster"

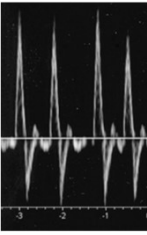


# Wie kommt das zustande ?



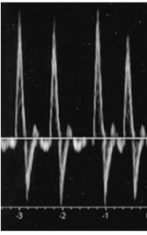
- **Elastische Gefäße mit Windkesselfunktion**
- **(glas)-klares Spektralmuster mit freiem Spektralfenster bei homogenem Fluss**
- **(glas)-klares Spektralmuster mit freiem Spektralfenster bei fehlenden Wandartefakten**
- **perfekte kardiale Pumpfunktion**
- **normaler Peripherer Widerstand im körperlichen Ruhezustand**
- **unbeeinflusst von Medikamenten**

# Wie kommt das zustande ?



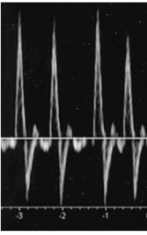
- **Elastische Gefäße mit Windkesselfunktion**
- **(glas)-klares Spektralmuster mit freiem Spektralfenster bei homogenem Fluss**
- **Prozess zur Reduktion des Druckunterschieds zwischen Systole und Diastole**
  - Hält Blutdruck aufrecht
  - Bedingt Elastizität der Arterien
- **Wandelt pulsierenden Blutstrom aus dem Herzen in gleichmässigen Volumenfluss im Kreislauf**
- **normaler Peripherer Widerstand im körperlichen Ruhezustand**
- **unbeeinflusst von Medikamenten**

# Wie kommt das zustande ?

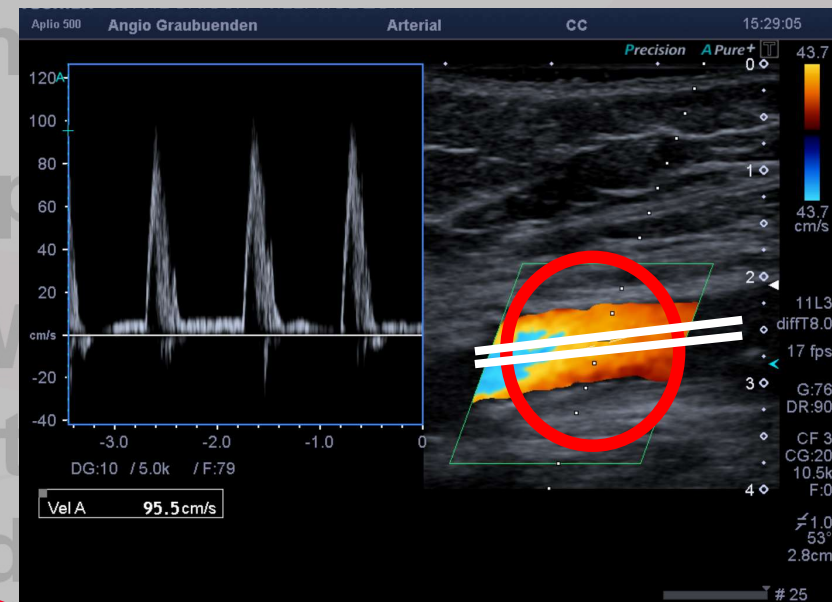
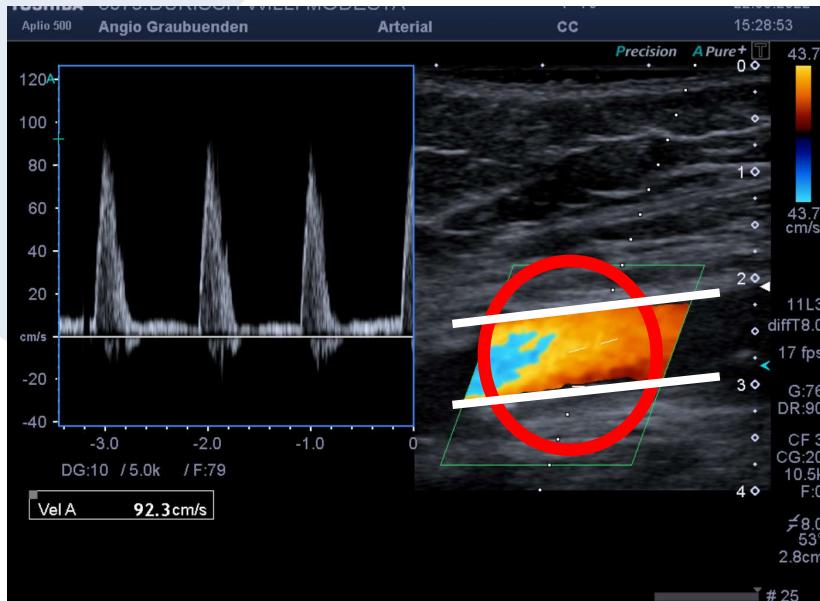


- **Elastische Gefäße**
  - **(glas)-klares Spektrum**
  - **Spektralfenster bei homogenem Fluss**
  - **(glas)-klares Spektrum**
  - **Spektralfenster bei fehlenden Wandartefakten**
  - **perfekte kardiale Pumpfunktion**
  - **normaler Peripherer Widerstand im körperlichen Ruhezustand**
  - **unbeeinflusst von Medikamenten**
- Reinheit / Klarheit der Spektralkurve hängt ab von:
- Ort der Signableitung
  - Position des Sample Volumes in Bezug auf die laminare Strömung
  - Wandbeweglichkeit und Wandbeschaffenheit
  - Flussturbulenzen
  - Kann je nach abgeleiteter Region vom «Idealbild» abweichen

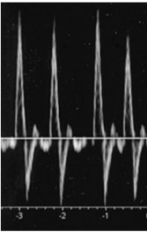
# Wie kommt das zustande ?



- **Elastische Gefäße**
  - **(glas)-klares Spektralmuster**
  - **Spektralfenster bei homogenem Fluss**
  - **(glas)-klares Spektralmuster mit freiem Strömung**
- Reinheit / Klarheit der Spektralkurve hängt ab von:
- Ort der Signableitung
  - Position des Sample Volumes in Bezug auf die laminare Strömung

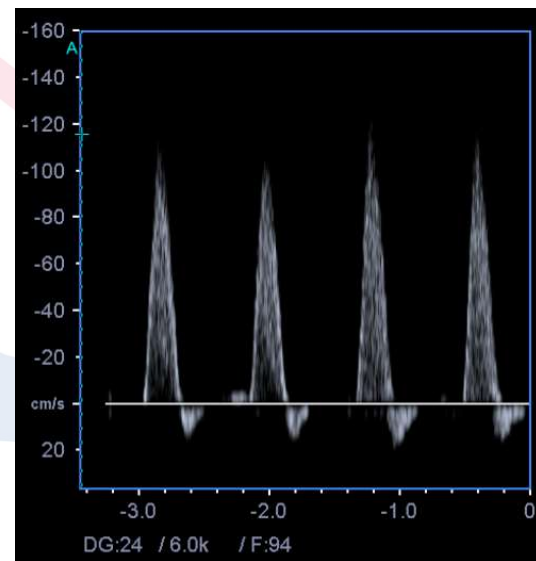
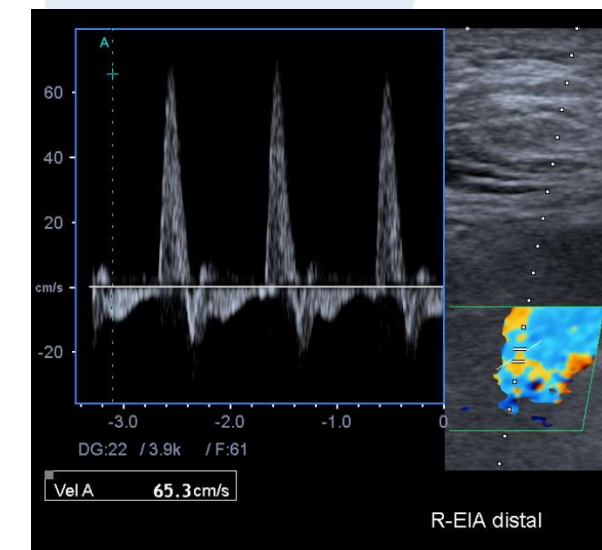
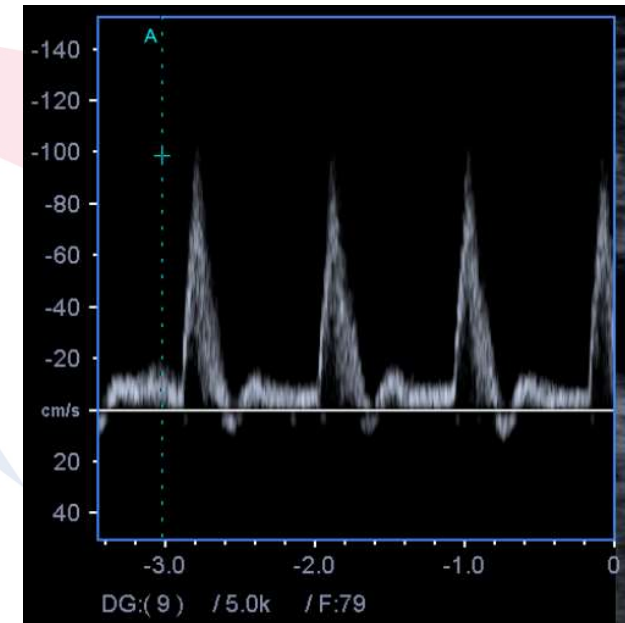
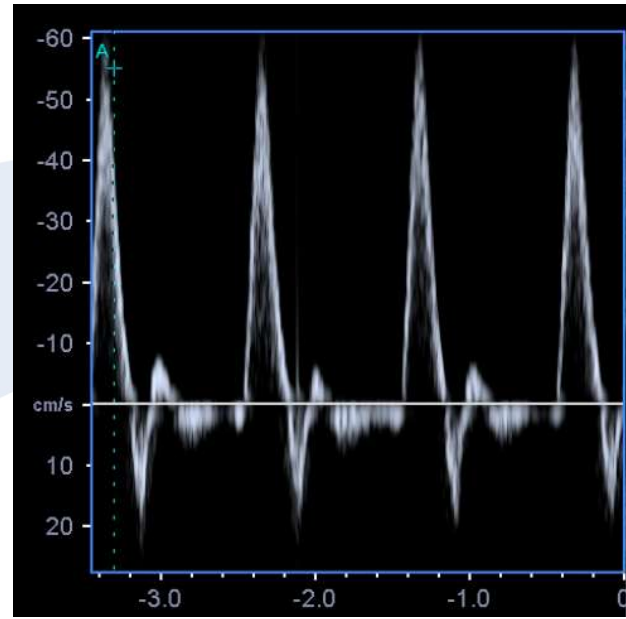
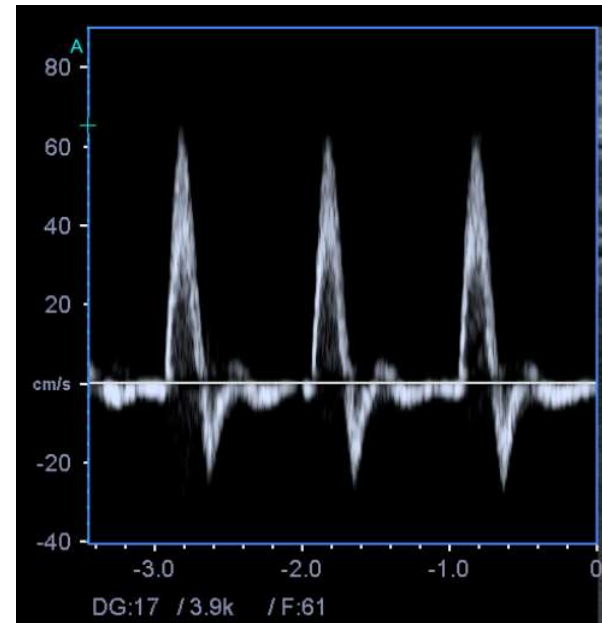


# Wie kommt das zustande ?



- **Elastische Gefäße** mit **Reinheit / Klarheit der Spektralkurve** hängt ab von:
  - Ort der Signableitung
  - Position des Sample Volumes in Bezug auf die laminare Strömung
- **(glas)-klares Spektralfenster** bei **homogenem Fluss**
- **(glas)-klares Spektralfenster** bei **fehlenden Wandartefakten**
  - Wandbeweglichkeit und Wandbeschaffenheit
  - Flussturbulenzen
- **perfekte kardiale Pumpfunktion**
- **normaler Peripherer Widerstand im körperlichen Ruhezustand**
  - Kann je nach abgeleiteter Region vom «Idealbild» abweichen
- **unbeeinflusst von Medikamenten**

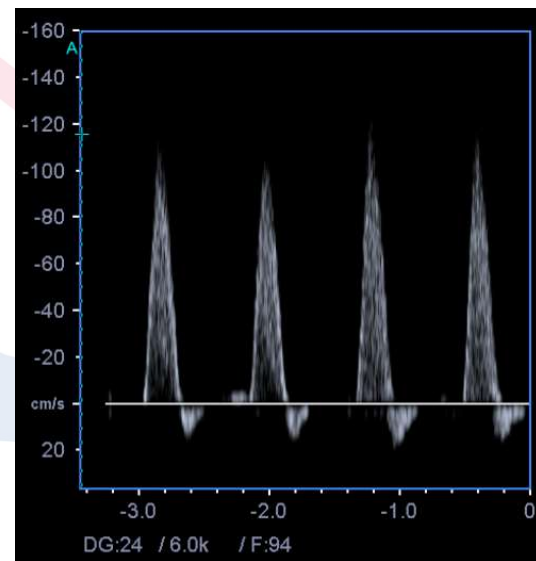
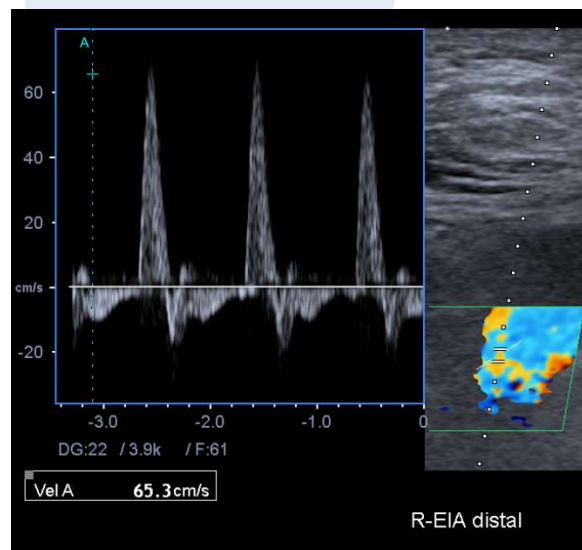
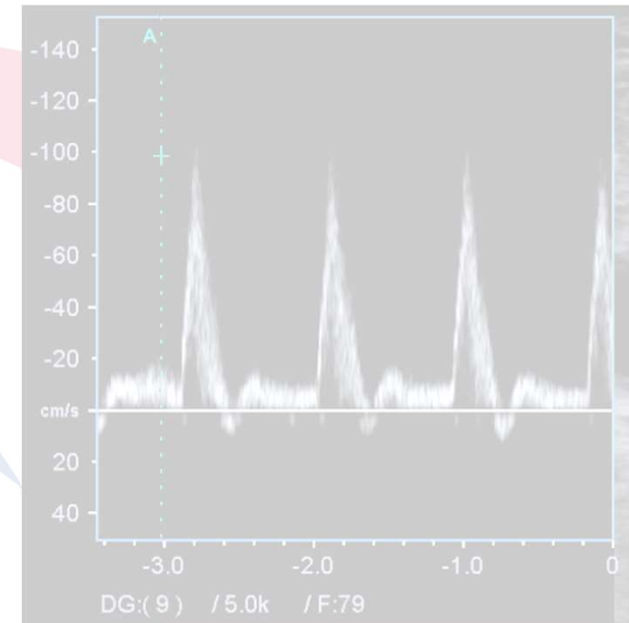
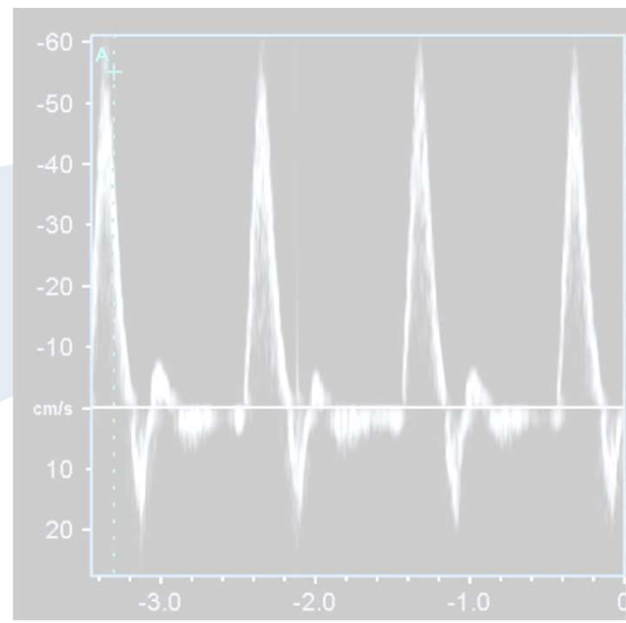
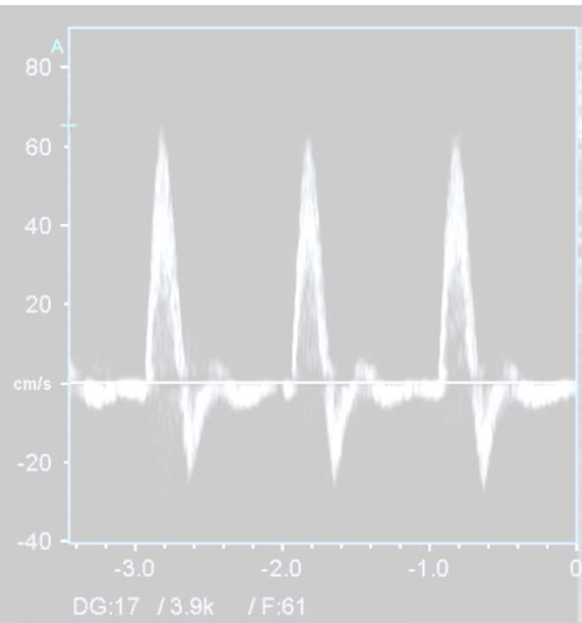
# Gibt es das richtige Spektralmuster?



Welches stammt von Gefäßkrankem Menschen ?



# Gibt es das richtige Spektralmuster?

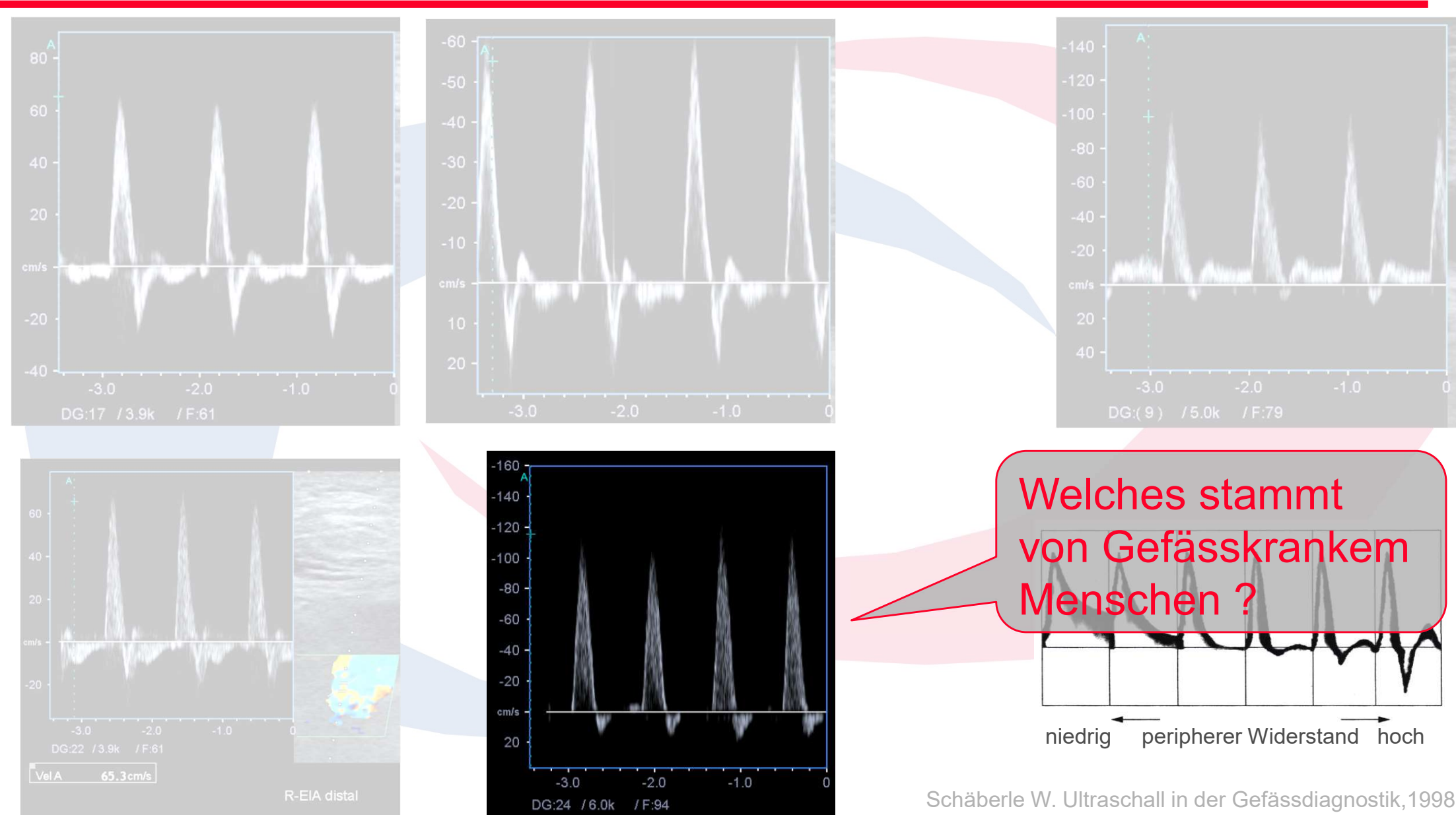


Welches stammt von Gefäßkrankem Menschen ?



niedrig ← peripherer Widerstand → hoch

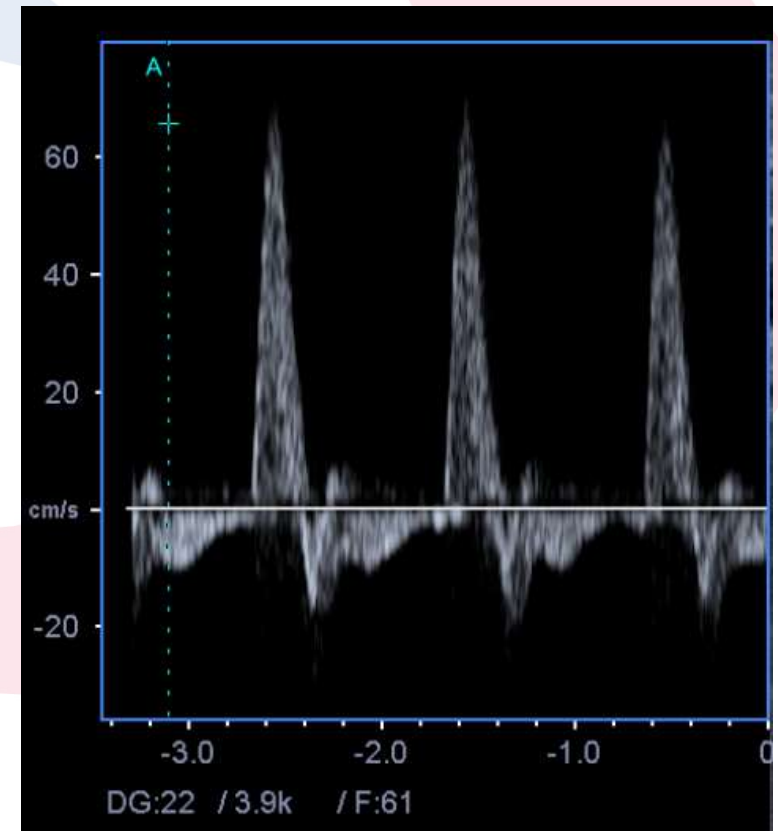
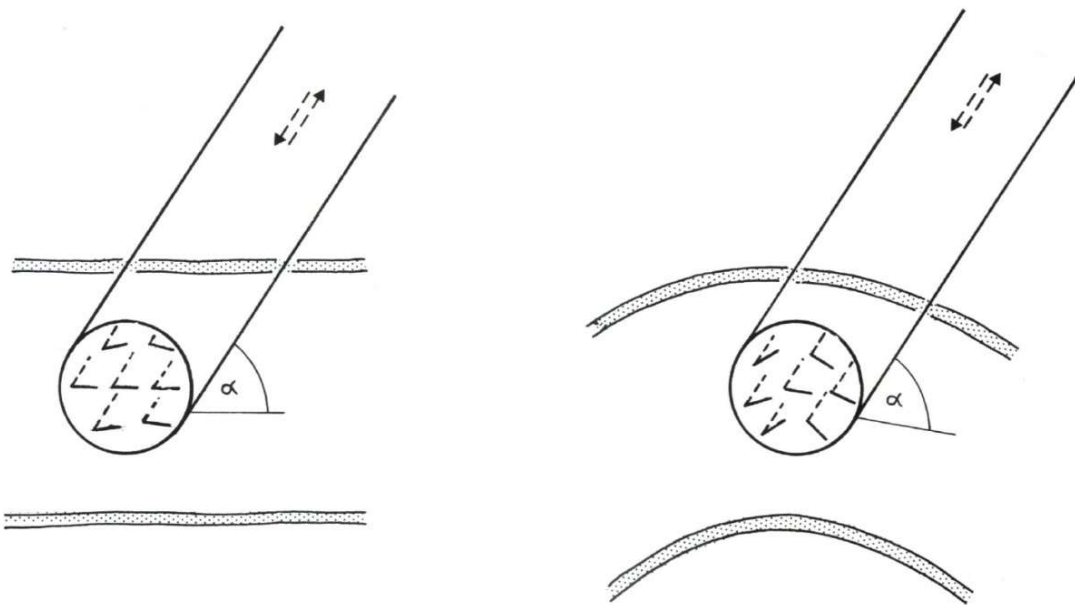
# Gibt es das richtige Spektralmuster?



# Technisch bedingte Spektralverbreiterung

Das kleinstmögliche Messvolumen (MV) ist physikalisch stets viel grösser als Reflektor (EC)

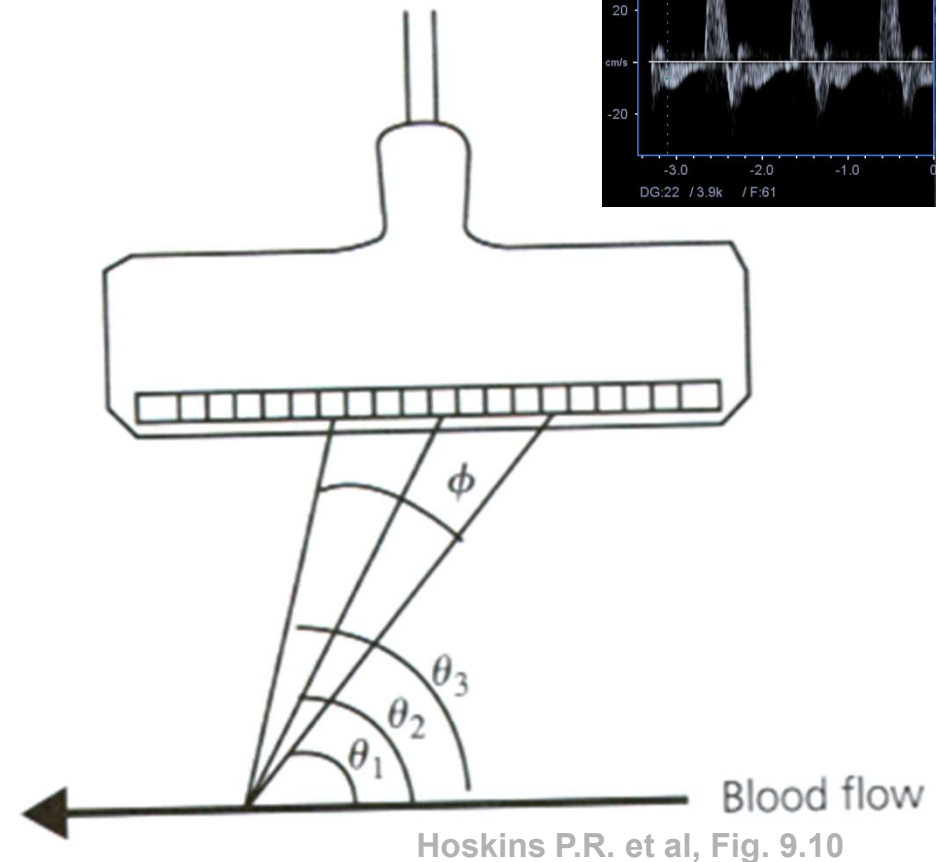
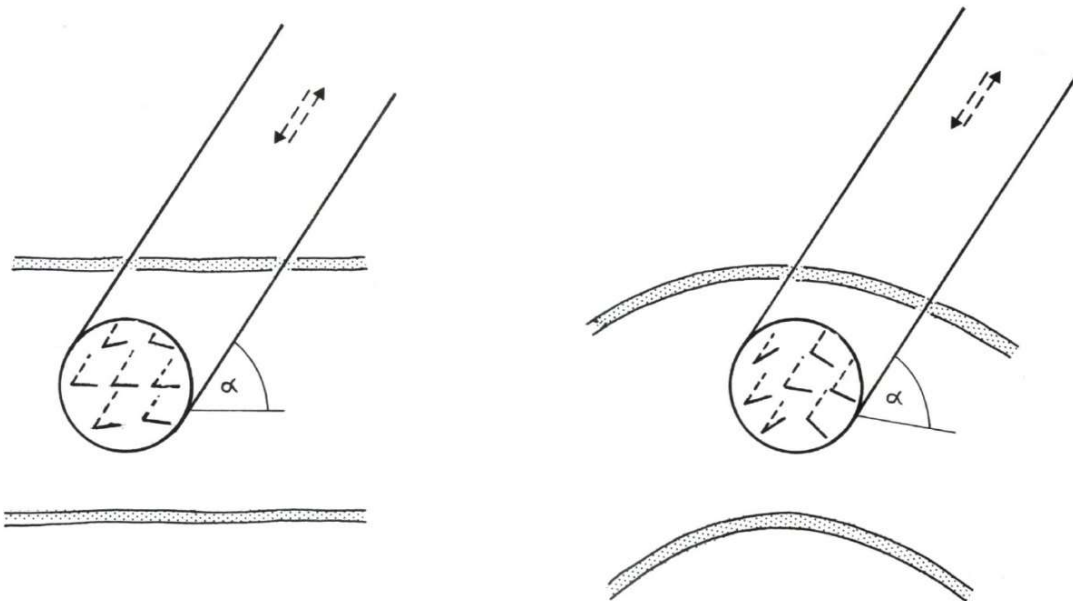
Geschwindigkeits-Vektoren innerhalb des Messvolumens



# Technisch bedingte Spektralverbreiterung

Das kleinstmögliche Messvolumen (MV) ist physikalisch stets viel grösser als Reflektor (EC)

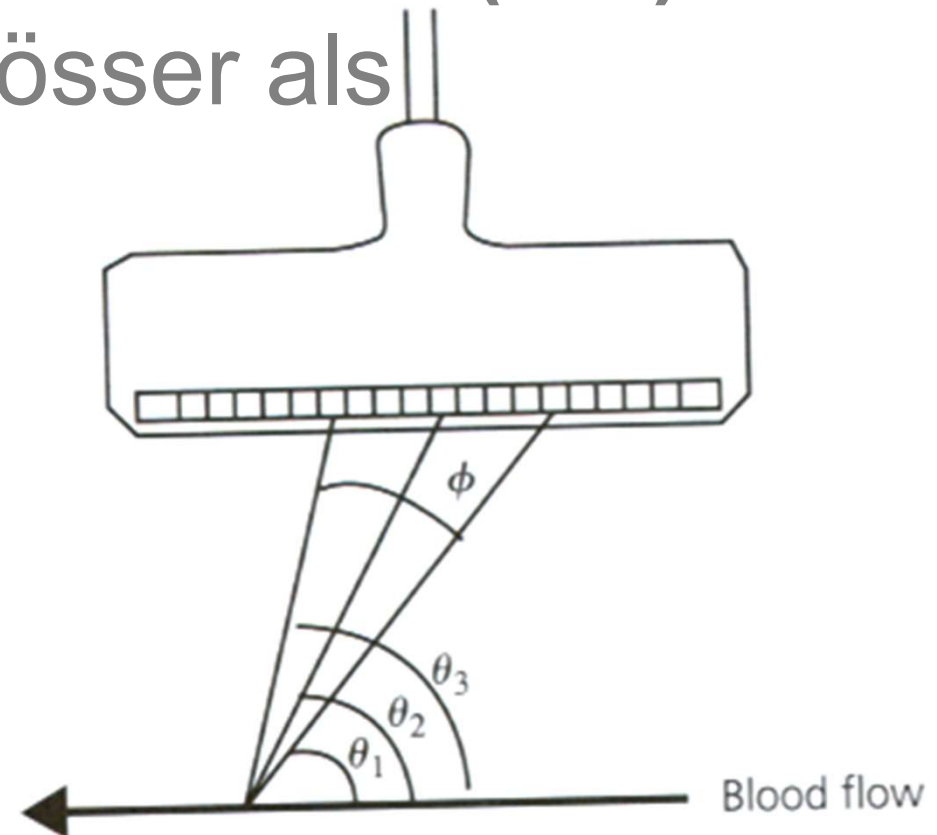
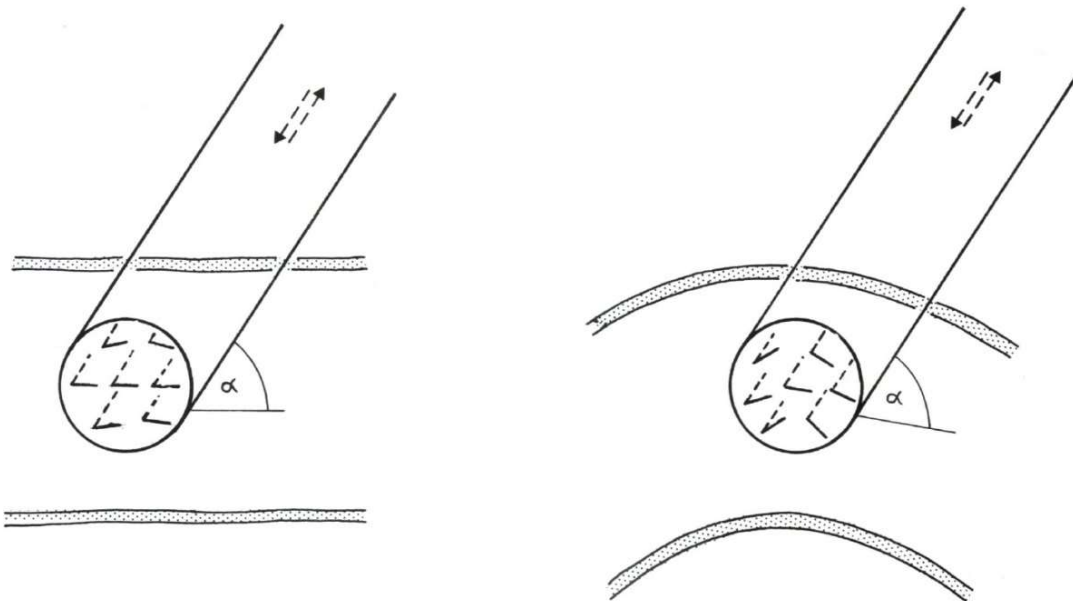
Geschwindigkeits-Vektoren innerhalb des Messvolumens



# Technisch bedingte Spektralverbreiterung

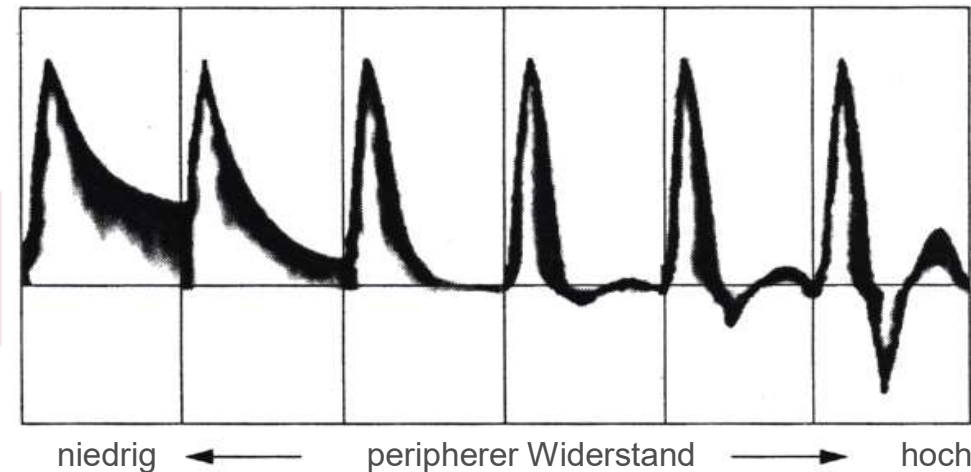
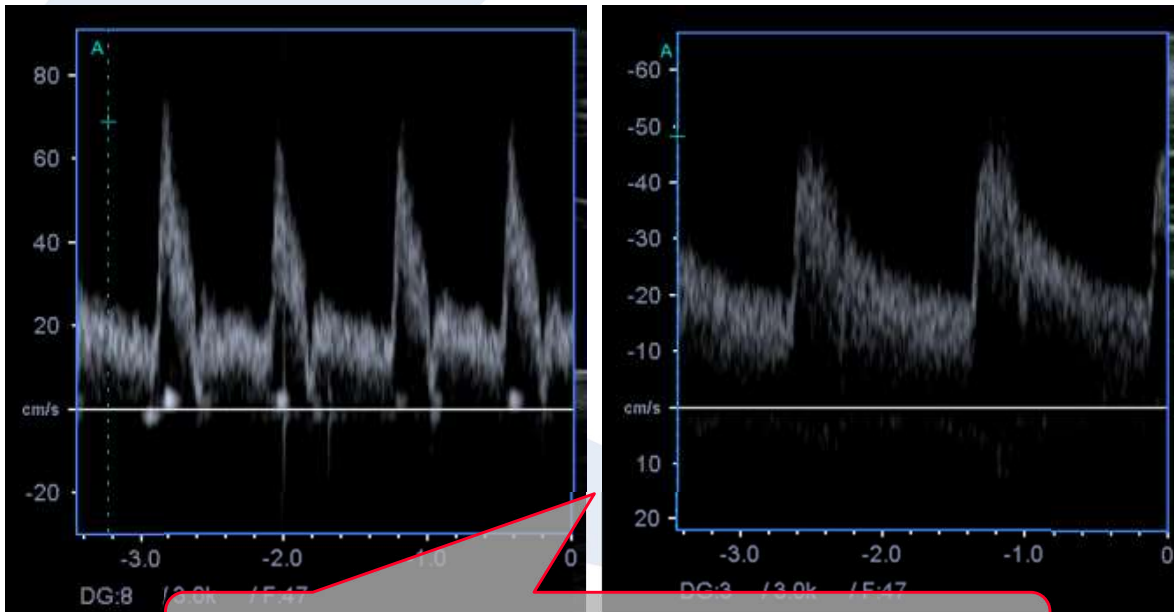
Das kleinstmögliche Messvolumen (MV) ist physikalisch stets viel grösser als Reflektor (EC)

Geschwindigkeits-Vektoren innerhalb des Messvolumens



# Normales Flussmuster: „parenchymatös“

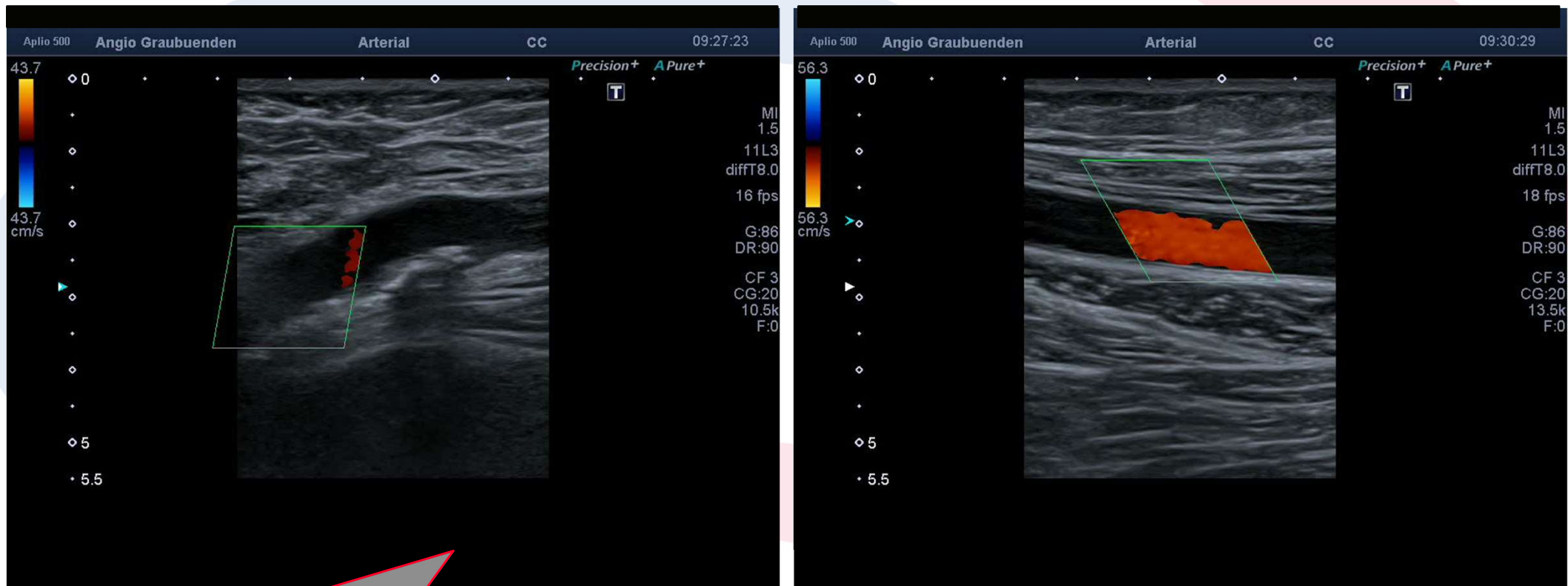
- Fluss zu parenchymatösen Organen:  
"low-resistance flow" (oder poststenotisch)
  - deutlicher diastolischer Fluss



Welche Arterien sind das ?

# Wir schauen an, was wir sehen ....

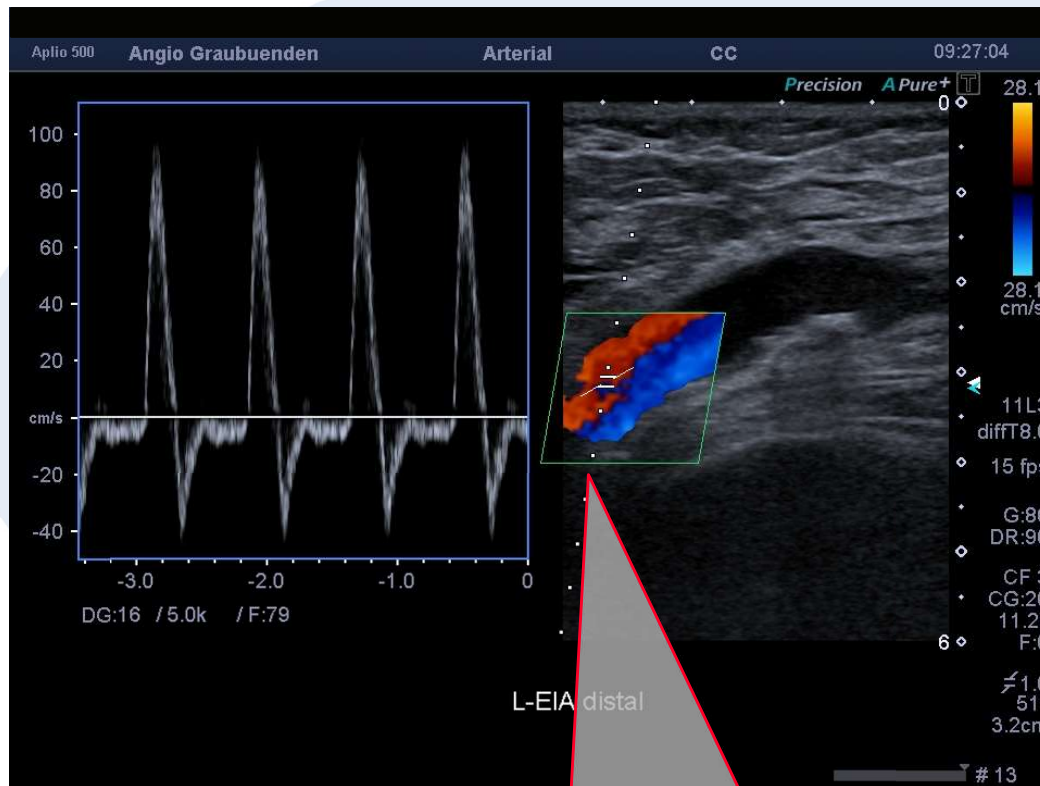
- mehrphasig ? monophasig ? normal ?



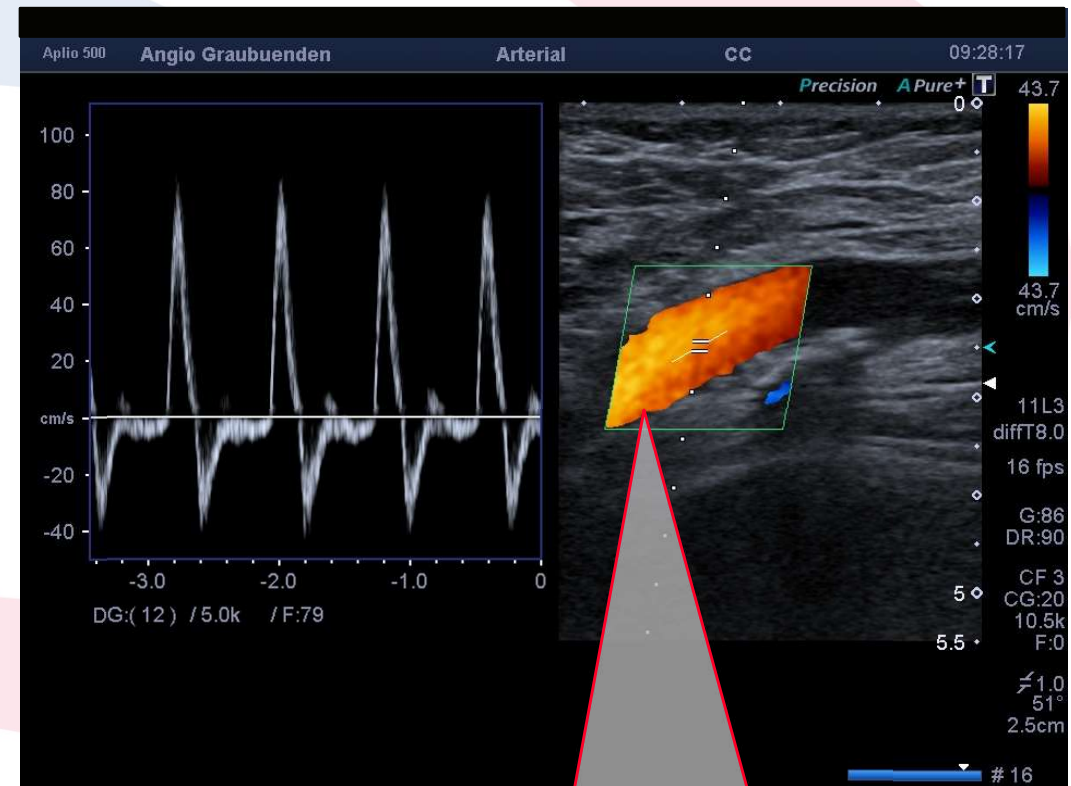
Welche Arterien sind das ?

# Wir schauen an, was wir sehen ....

- mehrphasig ? monophasig ? normal ?



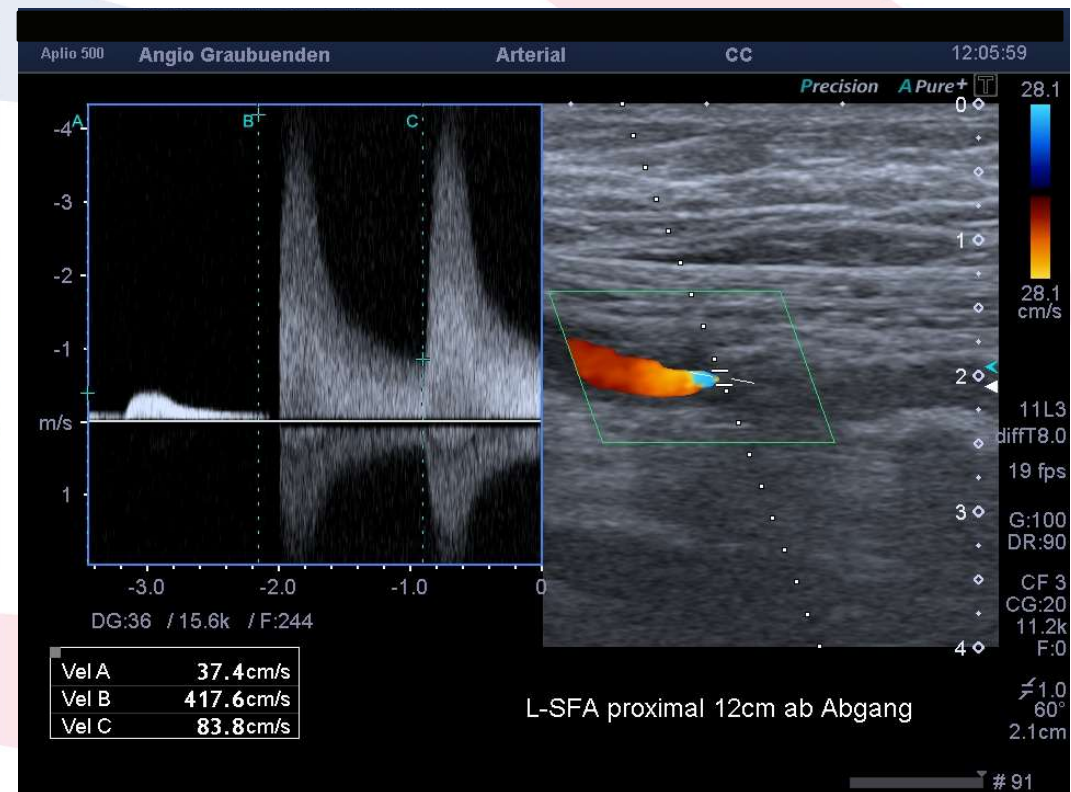
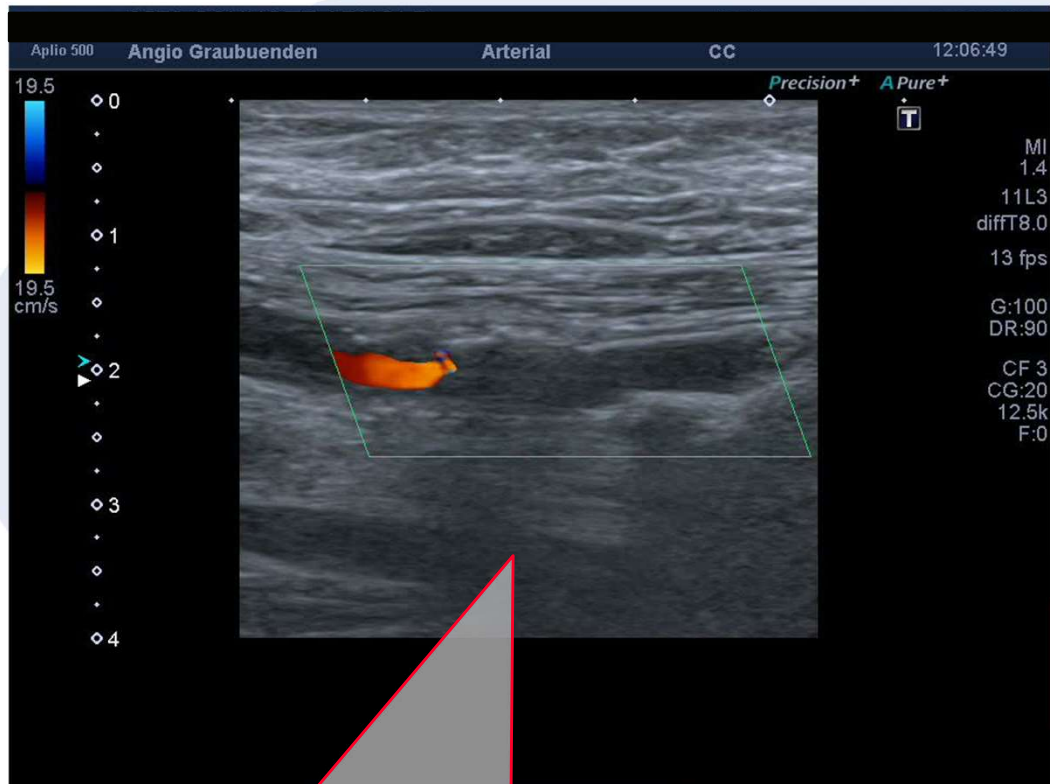
Warum blau und rot ?



Warum rot ?

# Wir schauen an, was wir sehen ....

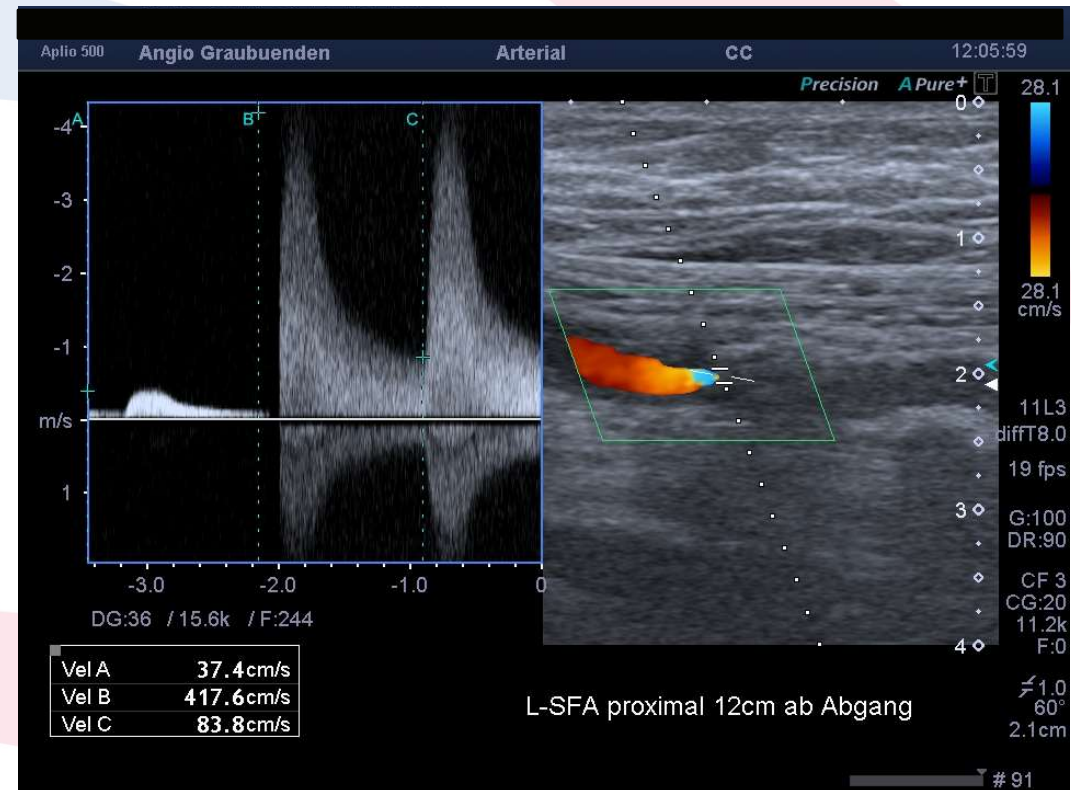
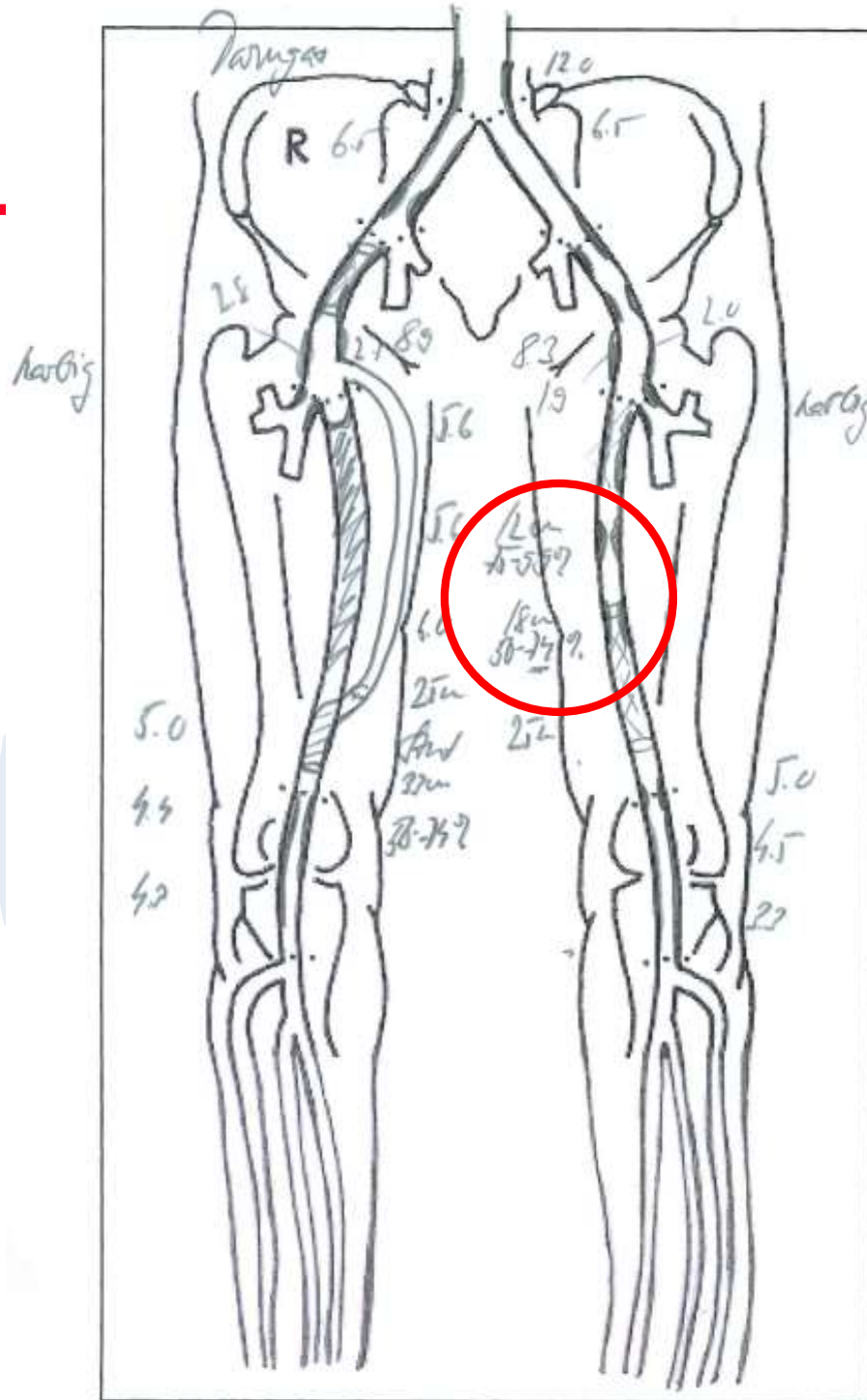
- mehrphasig ? monophasig ? normal ?

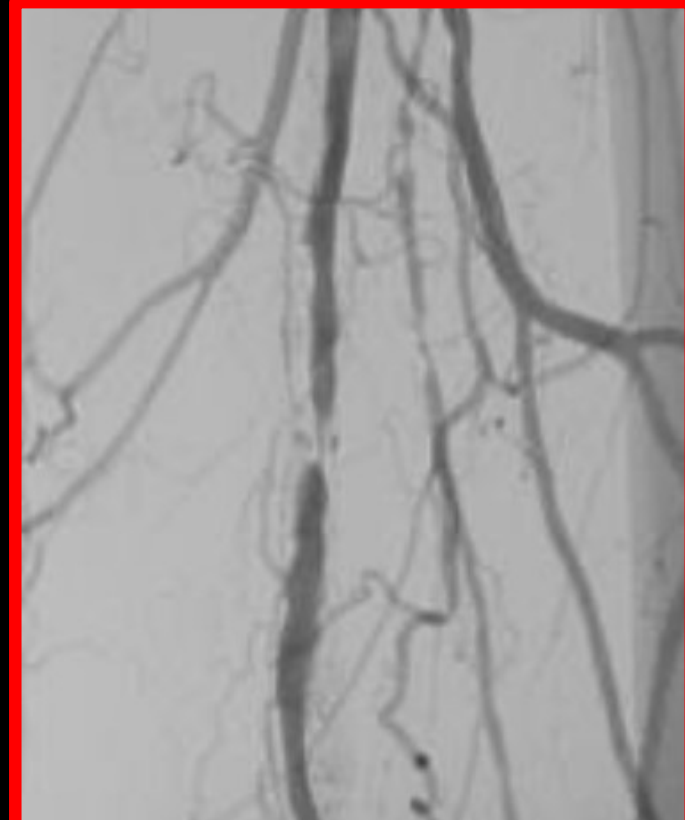
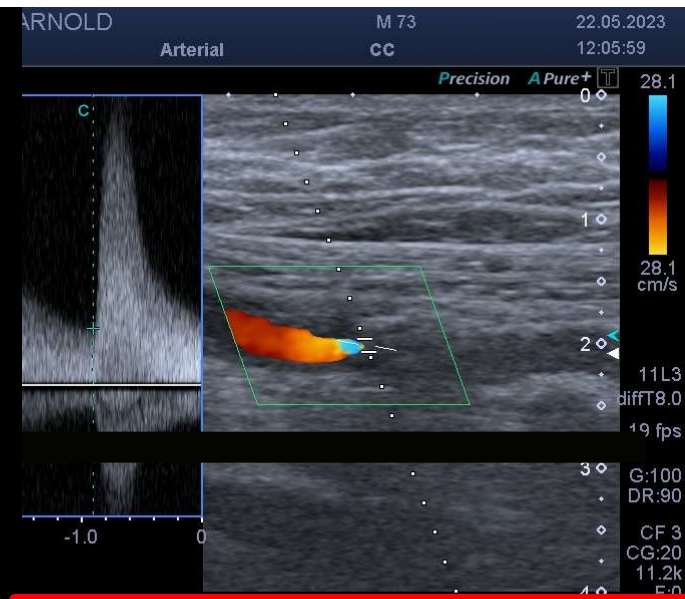
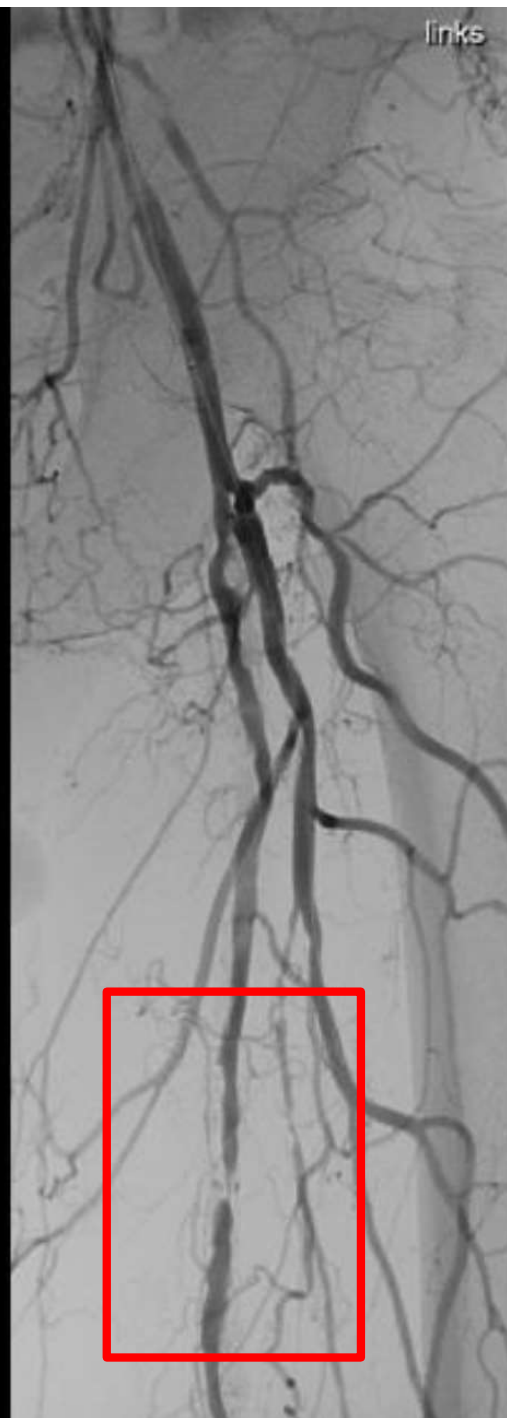
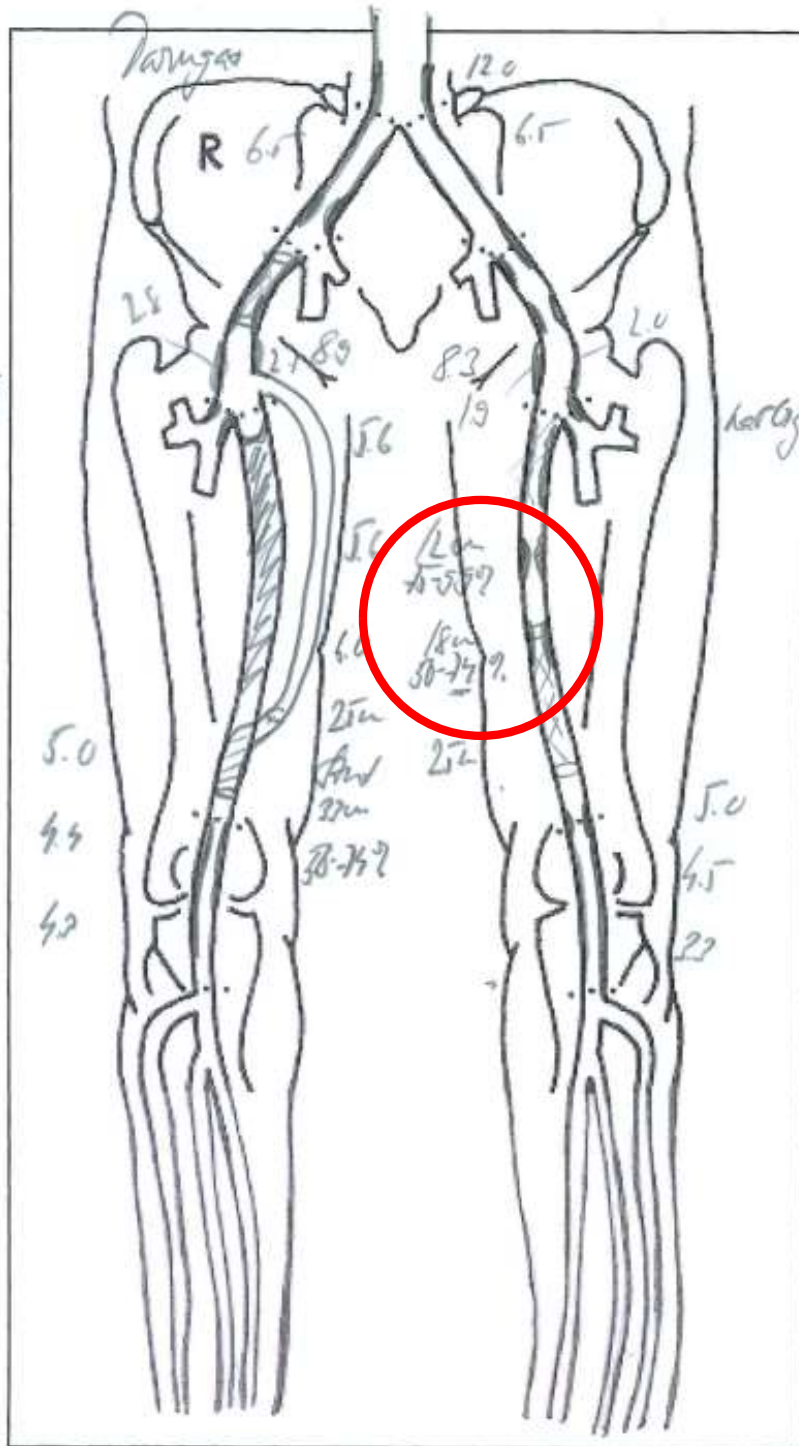


pathologisch ? warum ?

# was wir sehen ....

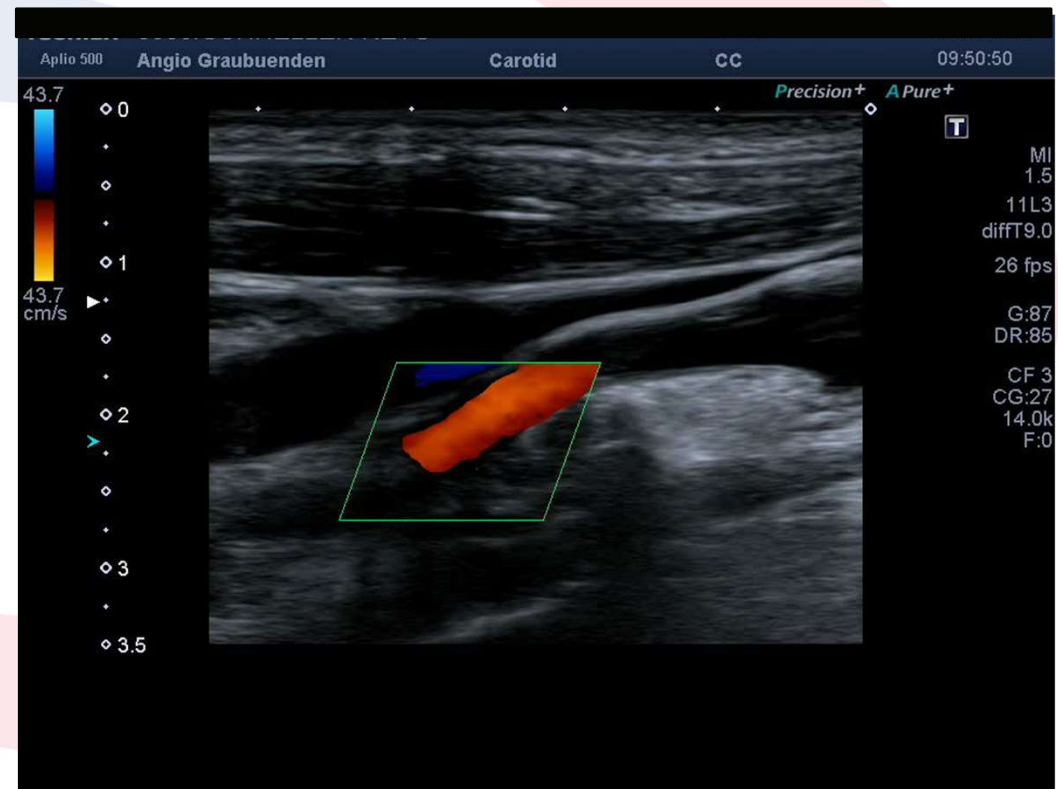
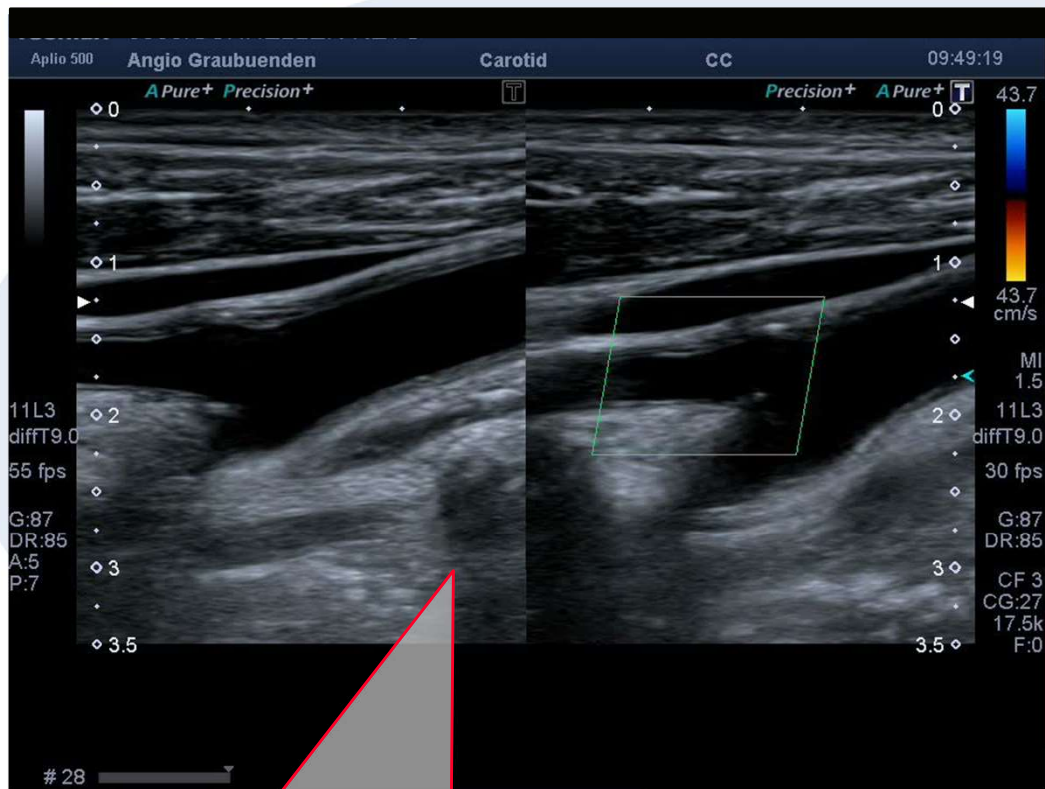
## monophasig ? normal ?





# Wir schauen an, was wir sehen ....

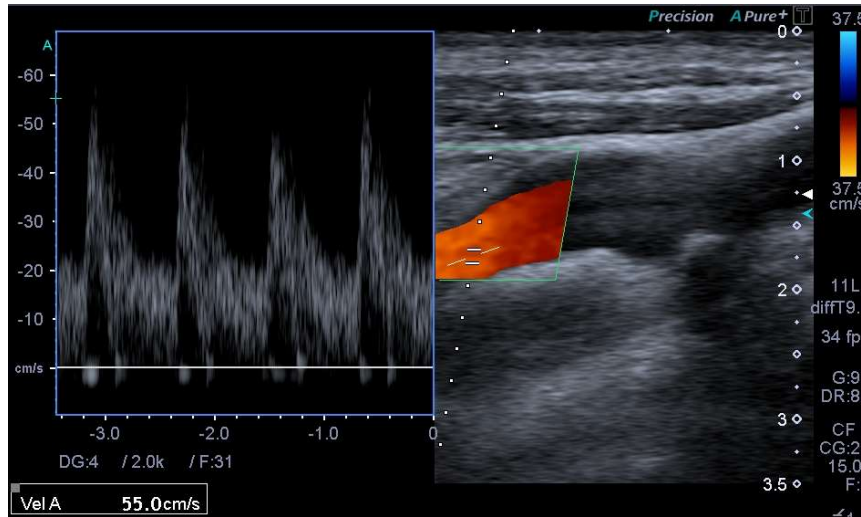
- mehrphasig ? monophasig ? normal ?



Welche Arterie ist das ?

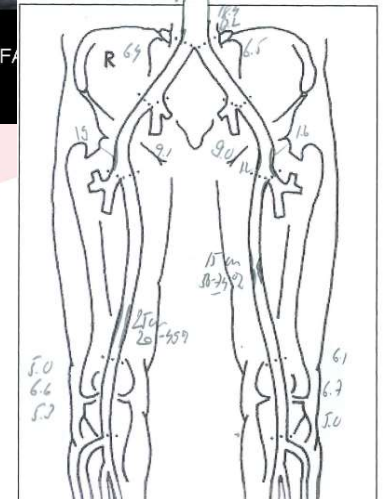
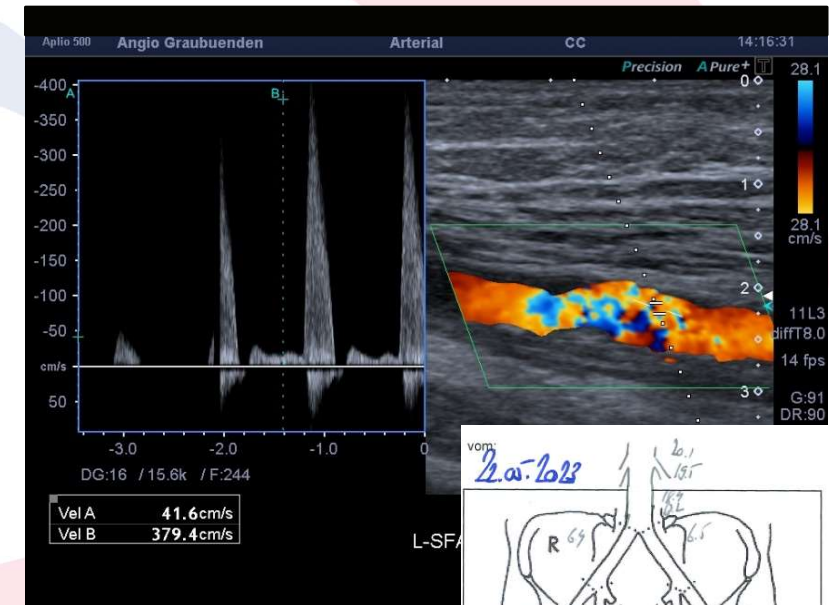
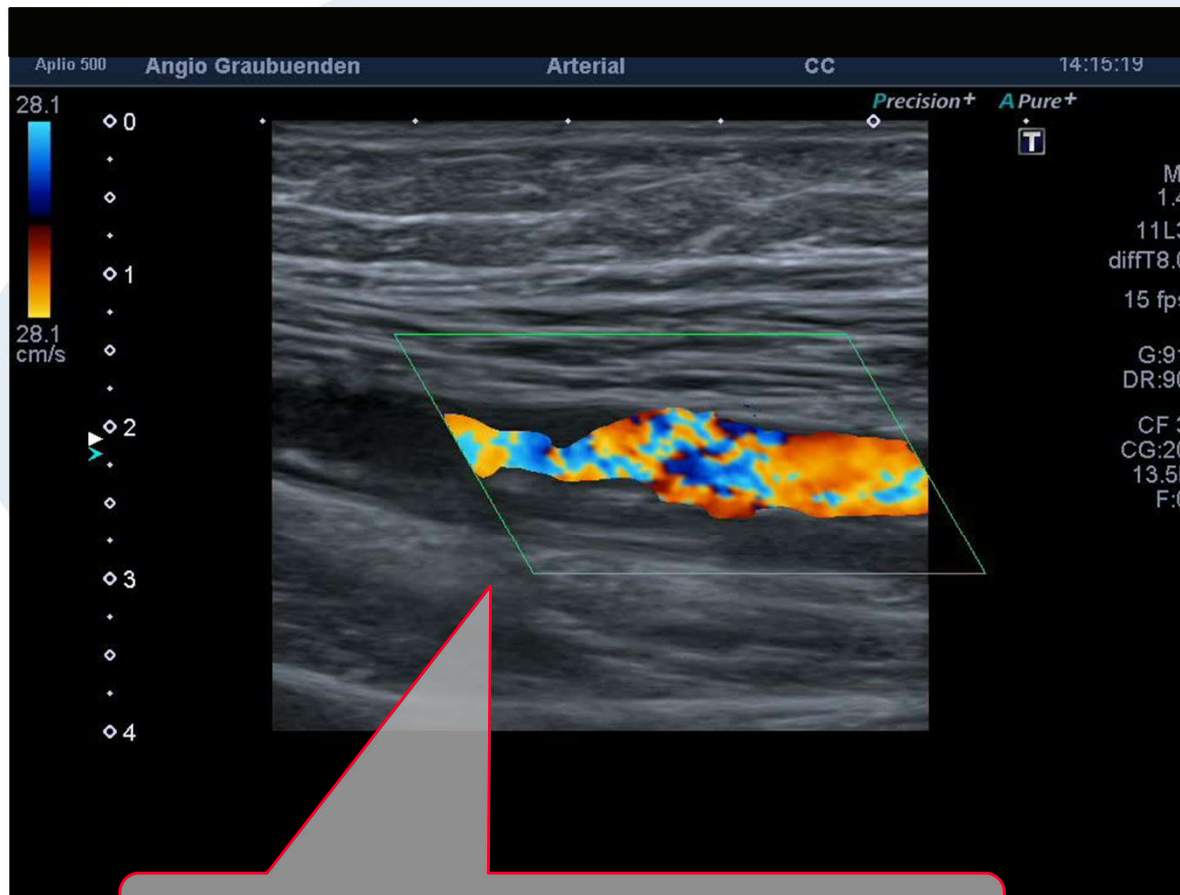
# Wir schauen an, was wir sehen ....

monophasig ? normal ?



# Wir schauen an, was wir sehen ....

- mehrphasig ? monophasig ? normal ?



pathologisch ? warum ?

# Was beeinflusst diese Information ?

---

- Faktor Mensch: als Untersucher
- **Faktor Mensch:** als Patient
- **Arterie:** Elastizität  
Verkalkungen  
Peripherer Widerstand
- Alter der Arterie: Fließgeschwindigkeit
- Gefäßterritorium: Organperfusion

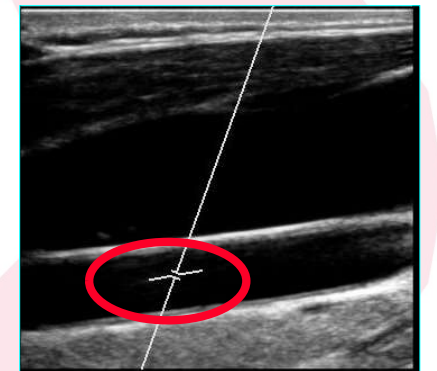
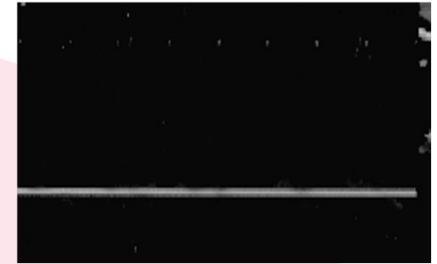
# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

Was tun wir, wenn nichts fließt ?

Ist das Gefäß verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF reduziert** wurde und **Bereich** angepasst wurde
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde



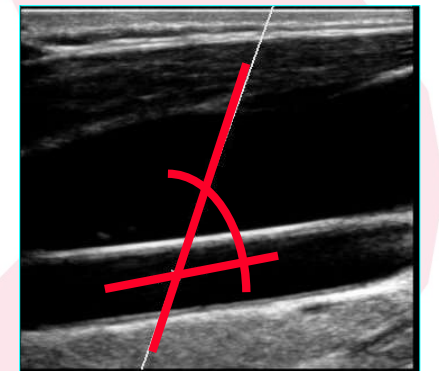
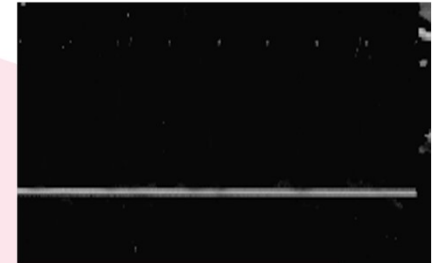
# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

Was tun wir, wenn nichts fließt ?

Ist das Gefäß verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF reduziert** wurde und **Bereich** angepasst wurde
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde



# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

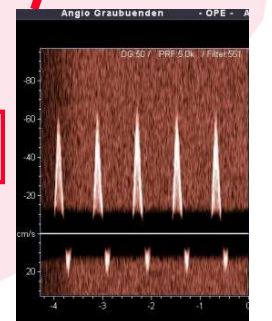
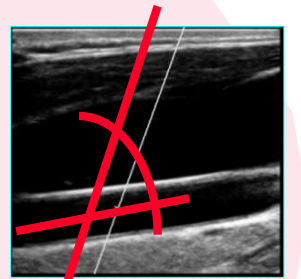
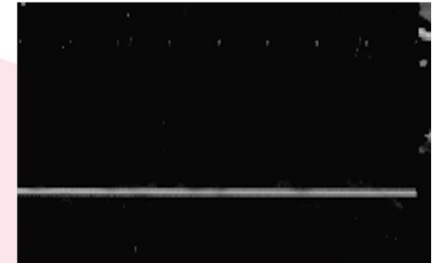
Was tun wir, wenn nichts fließt ?

Ist das Gefäss verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF** reduziert wurde und **Bereich** angepasst wurde
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde

PW-Doppler Gain erhöhen



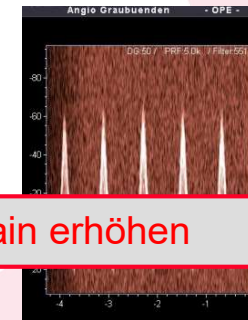
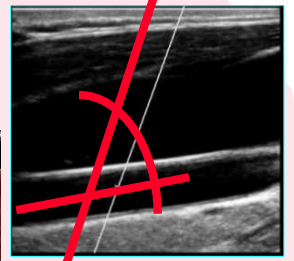
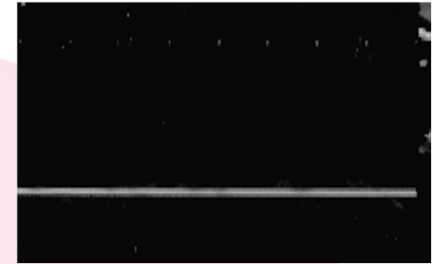
# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

Was tun wir, wenn nichts fließt ?

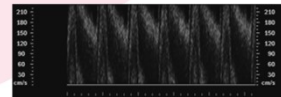
Ist das Gefäß verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF reduziert** wurde zur Detektion von langsamem Fluss
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde



PW-Doppler Gain erhöhen



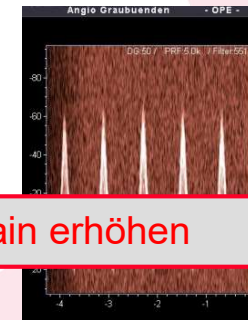
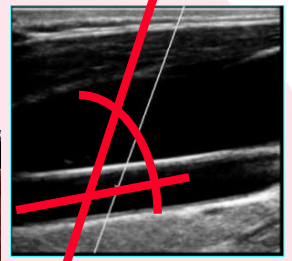
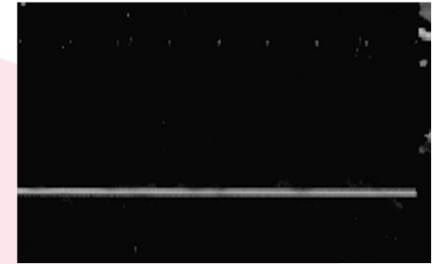
# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

Was tun wir, wenn nichts fließt ?

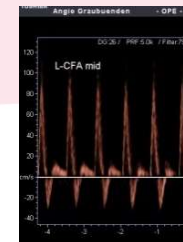
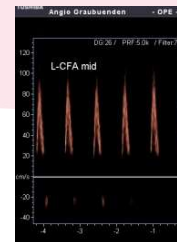
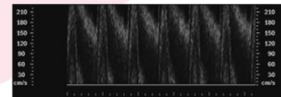
Ist das Gefäß verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF** reduziert wurde und **Bereich** angepasst wurde
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde



PW-Doppler Gain erhöhen



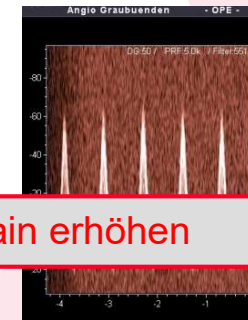
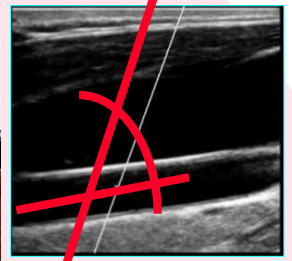
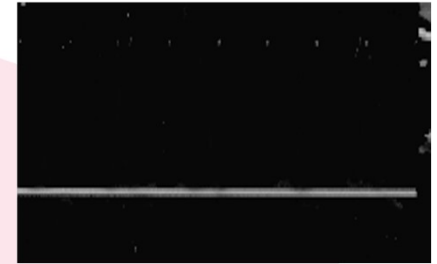
# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

Was tun wir, wenn nichts fließt ?

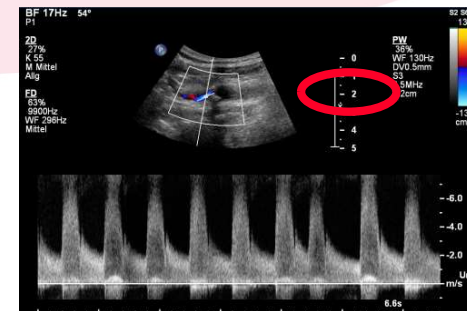
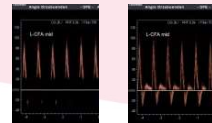
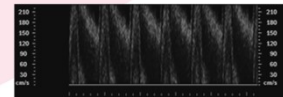
Ist das Gefäss verschlossen ?

Ja, aber ..... nur falls:

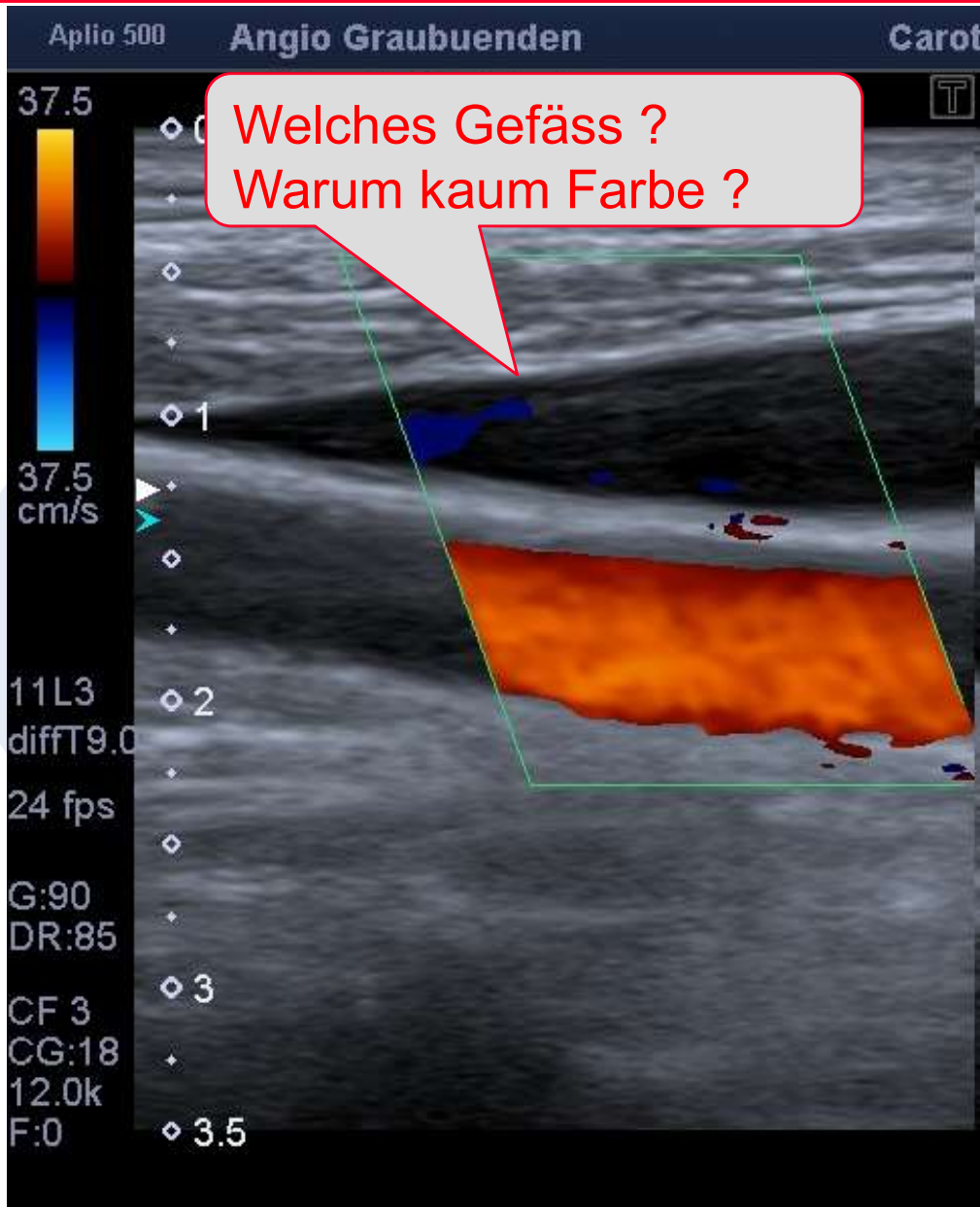
- Lage und Grösse des **sample volume** stimmen
- **Einschallwinkel** stimmt
- **Empfangsverstärkung** intensiviert ist
- **PRF** reduziert wurde und **Bereich** angepasst wurde
- **Filterschwelle** reduziert wurde
- **Sendefrequenz** erhöht wurde



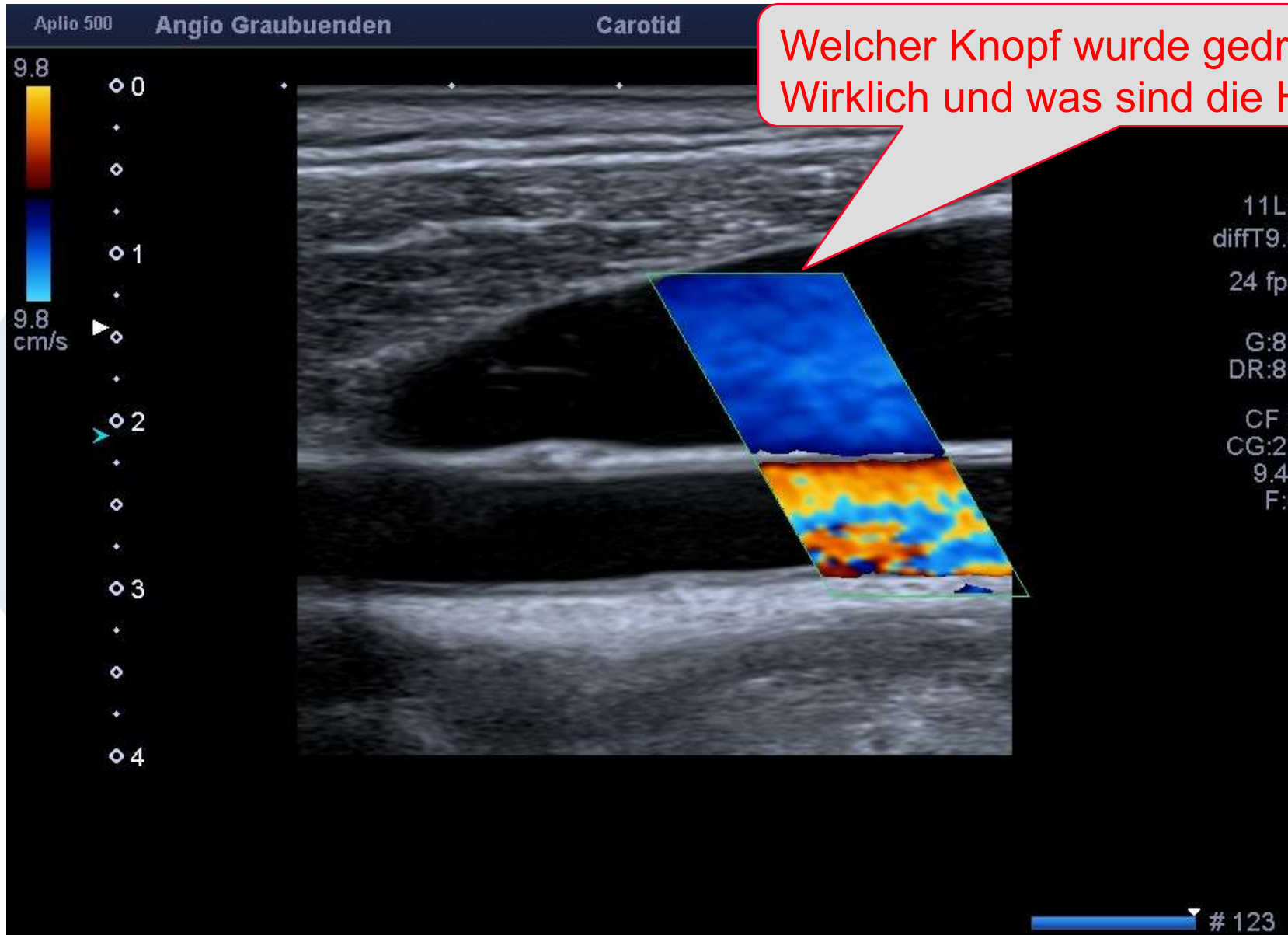
PW-Doppler Gain erhöhen



# Was sehen wir ?

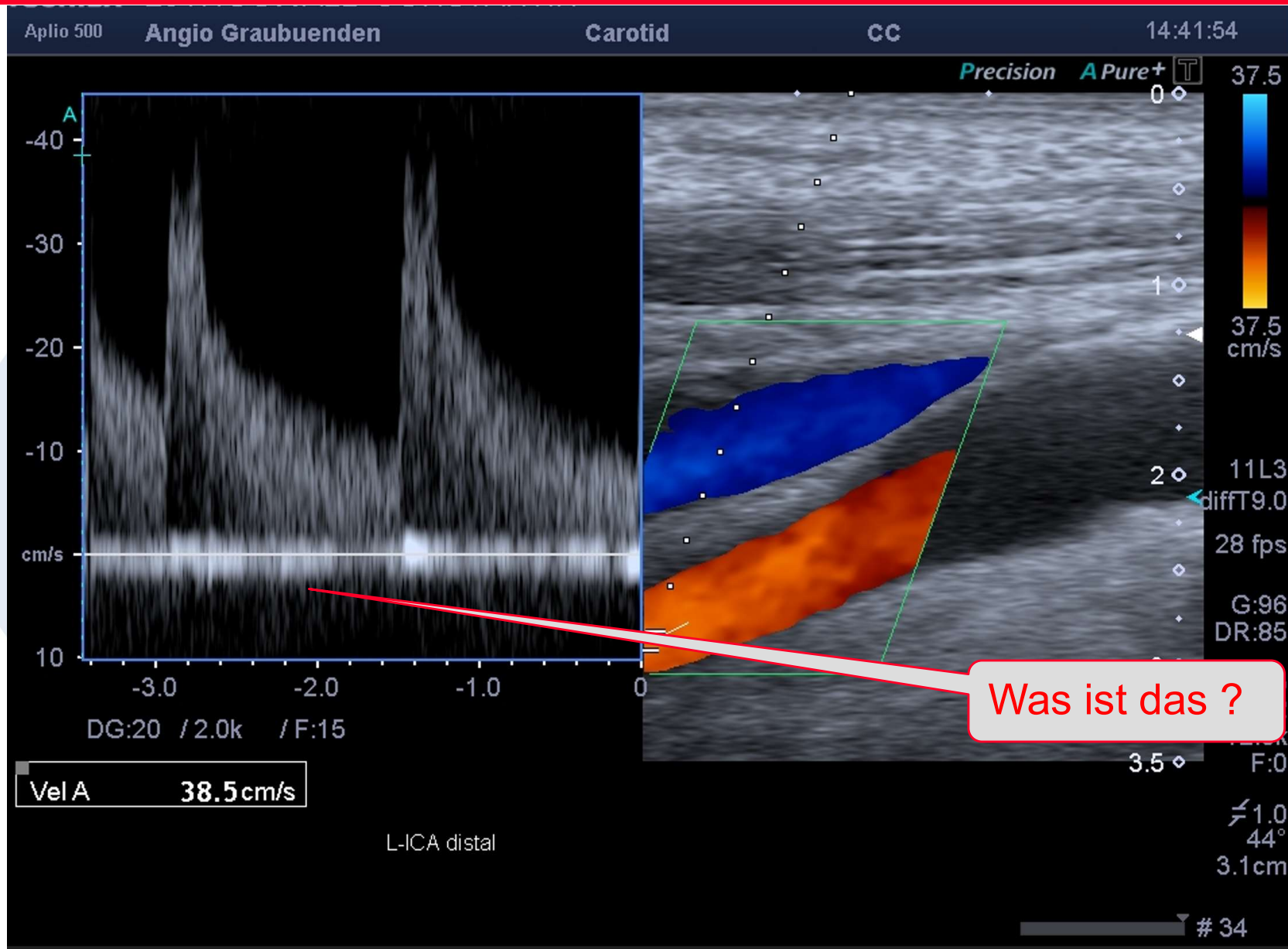


# Was sehen wir ?



Welcher Knopf wurde gedreht ?  
Wirklich und was sind die Hinweise dafür?

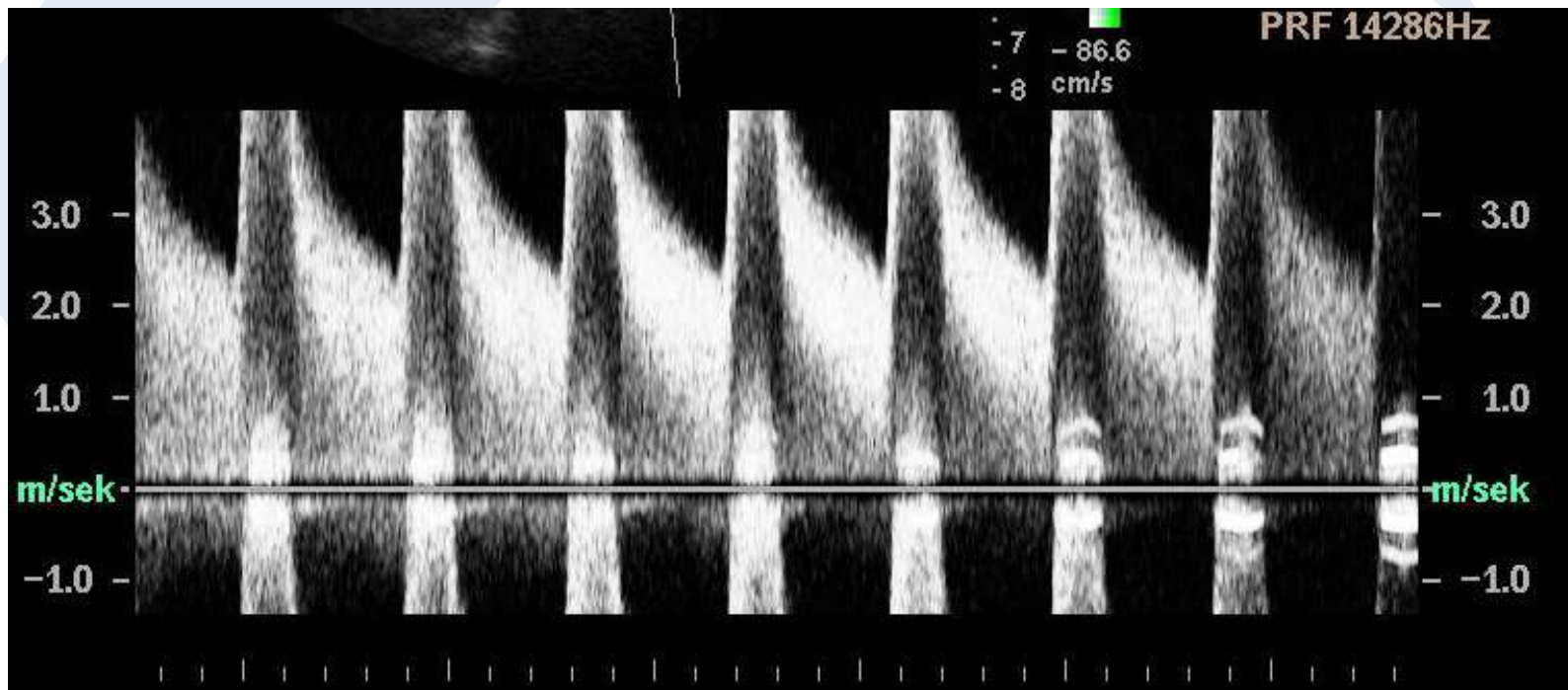
# Was sehen wir ?



# Flussbeurteilung mit pw-Doppler

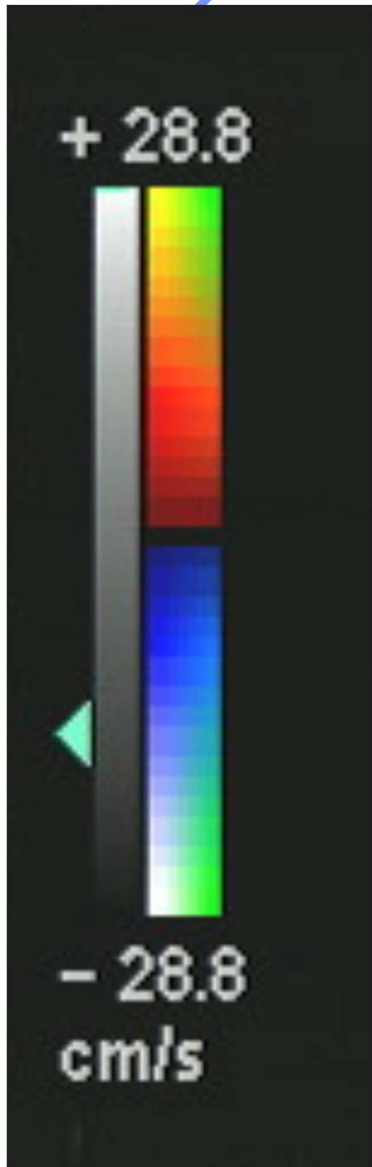
Was tun wir, wenn's zu schnell fließt ?

Wie können wir doch messen ?

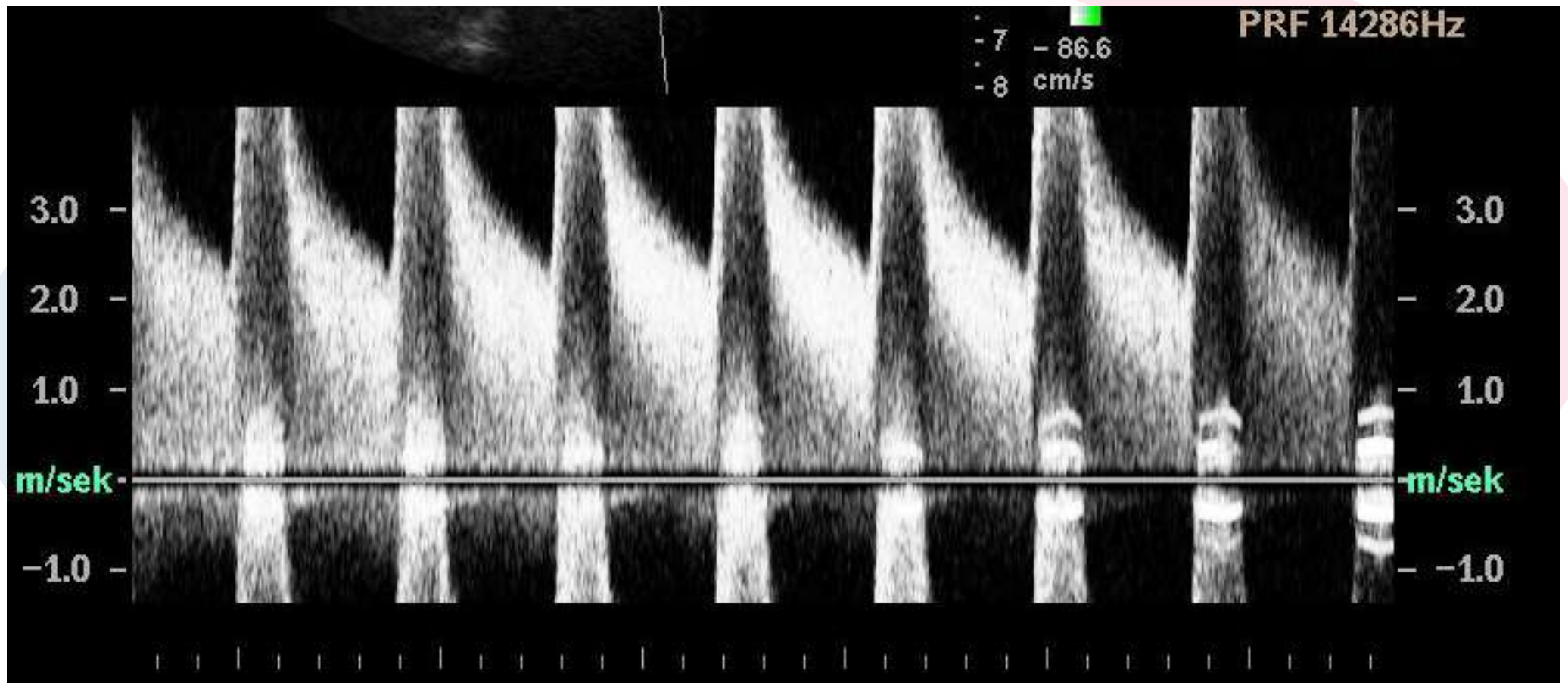


# Aliasing

- Aliasing bedeutet: es fließt schneller, als unsere Skala eingestellt ist
- Aliasing ist Folge einer zu langsamen Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) in Bezug auf die Fließgeschwindigkeit
- PRF muss doppelt so hoch sein wie die Maximalgeschwindigkeit
- falls PRF nicht weiter erhöht werden kann, können wir eine tiefere Sendefrequenz wählen oder einen grösseren Doppler - Winkel



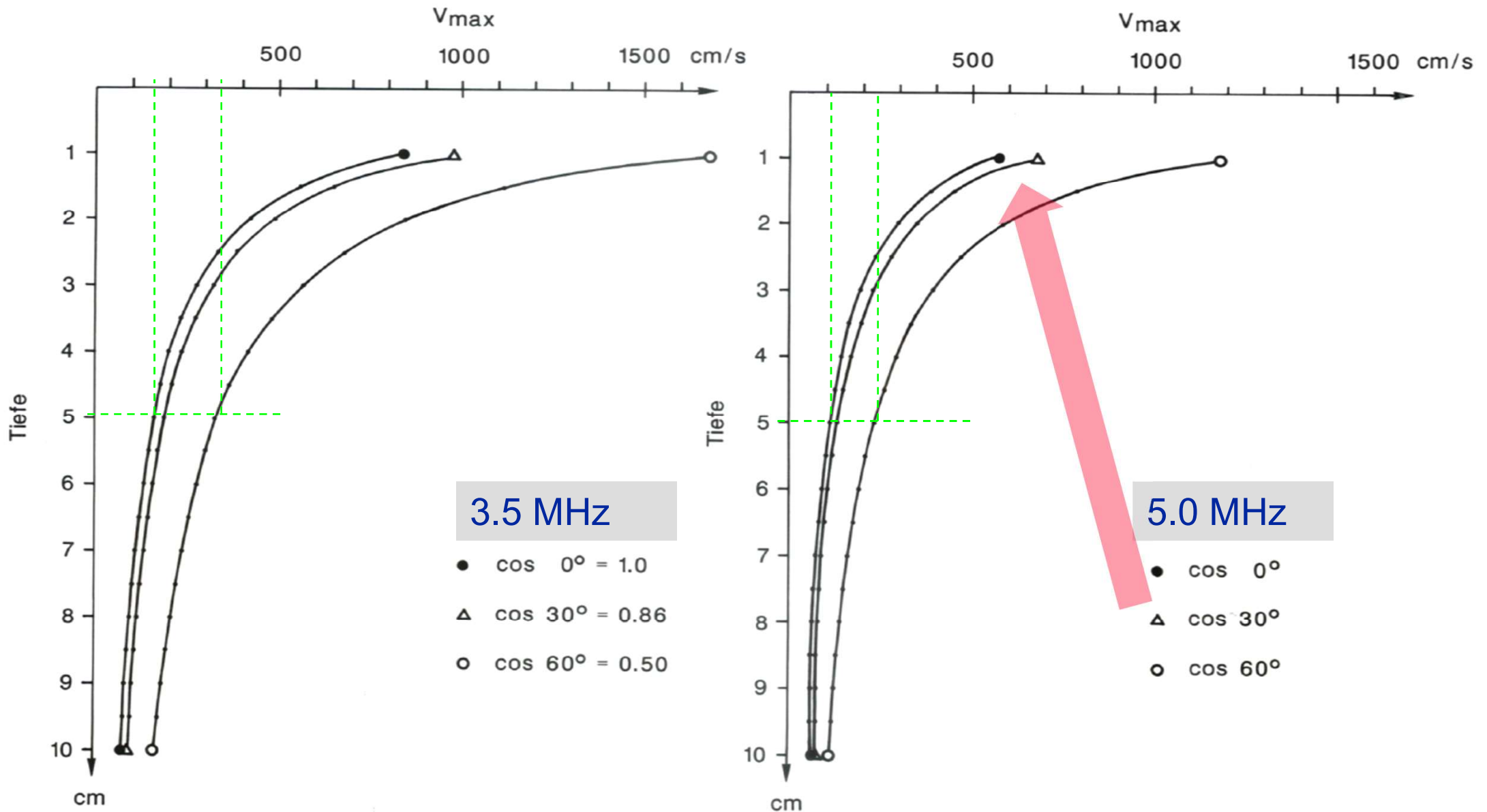
# aliasing by insufficient PRF



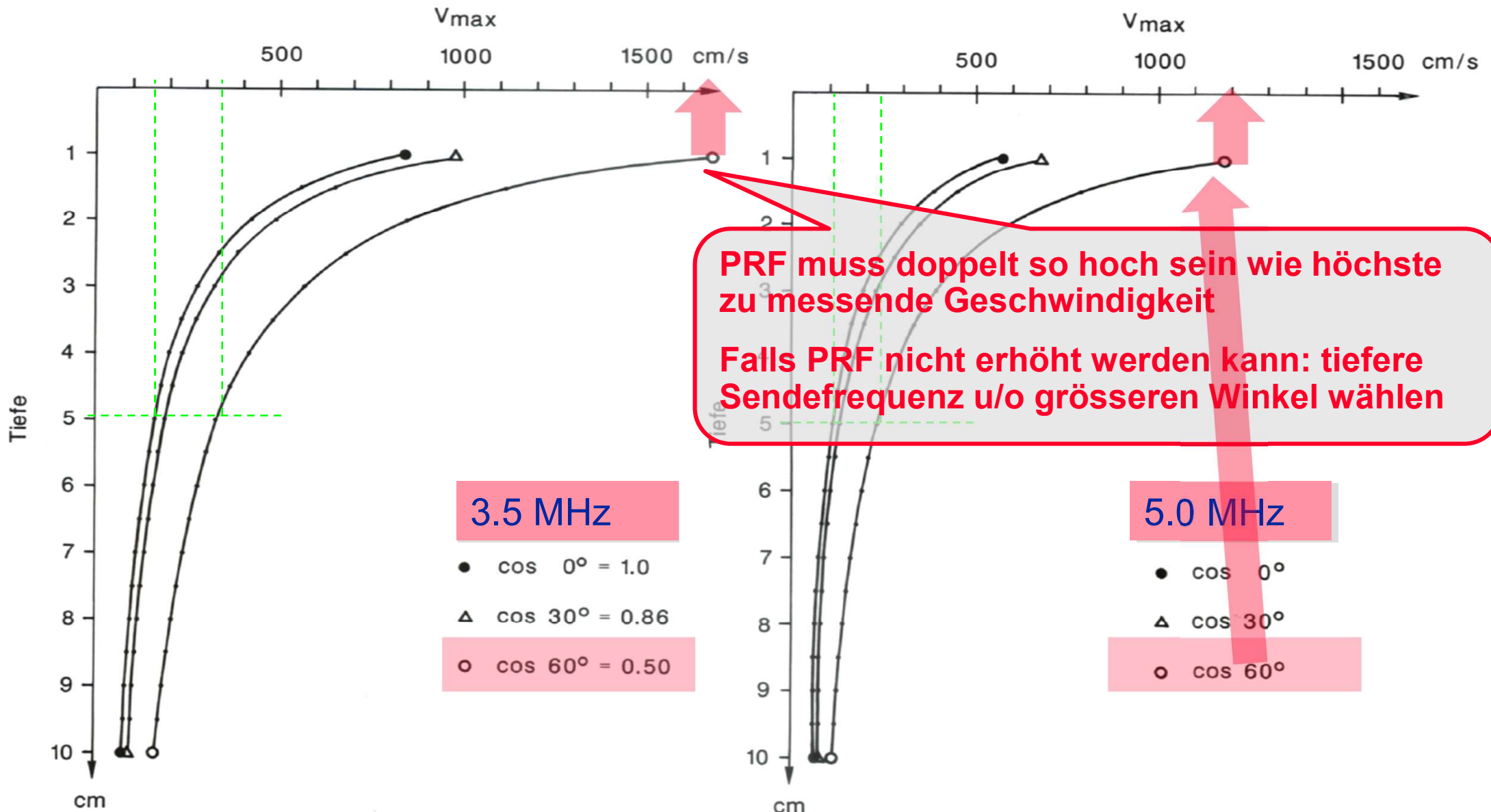
Wrap around

Möwenschrei

# Beziehung zwischen Tiefe des Gefäßes und höchster messbarer Geschwindigkeit ( $V_{max}$ ) in Abhängigkeit von Sendefrequenz und Doppler-Winkel



# Beziehung zwischen Tiefe des Gefässes und höchster messbarer Geschwindigkeit ( $V_{max}$ ) in Abhängigkeit von Sendefrequenz und Doppler-Winkel



# Was machen wir aus dieser Information ?

---

○ **Faktor Mensch:** als **Untersucher**

○ **Faktor Mensch:** als **Patient**

Interpretation der abgeleiteten Befunde / Flussmuster

- Erkennen, wann «etwas nicht normal» ist
- Ableiten / Extrapolieren der Theorie in die Praxis

Befunde müssen mit der klinischer Situation des Patienten in Einklang gebracht werden

Jeder «nicht normale Befund» sollte erklärt werden können

- erklären, warum «etwas nicht normal» ist

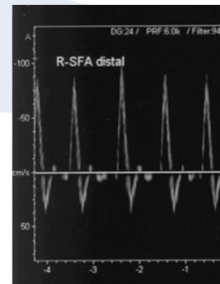
○ **Gefäßterritorium:** Organperfusion

# Dopplersonographie und Spektralanalyse

## Flussspektrum bei peripheren Arterien:

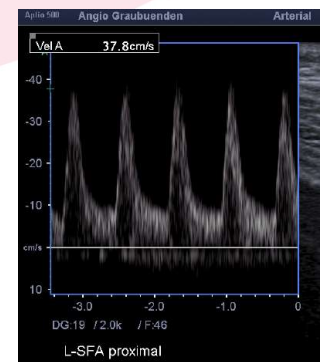
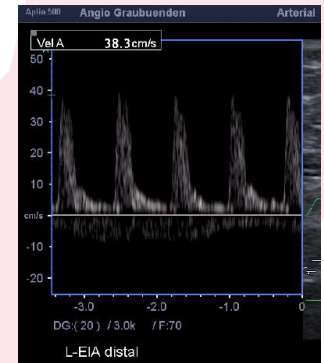
### normal

- mindestens triphasisch (Windkesselfunktion)



### pathologisch

- Prästenotisch: bi- bis monophasisch
- Poststenotisch: bi- bis monophasisch
- Intrastenotisch: beschleunigt oder Null

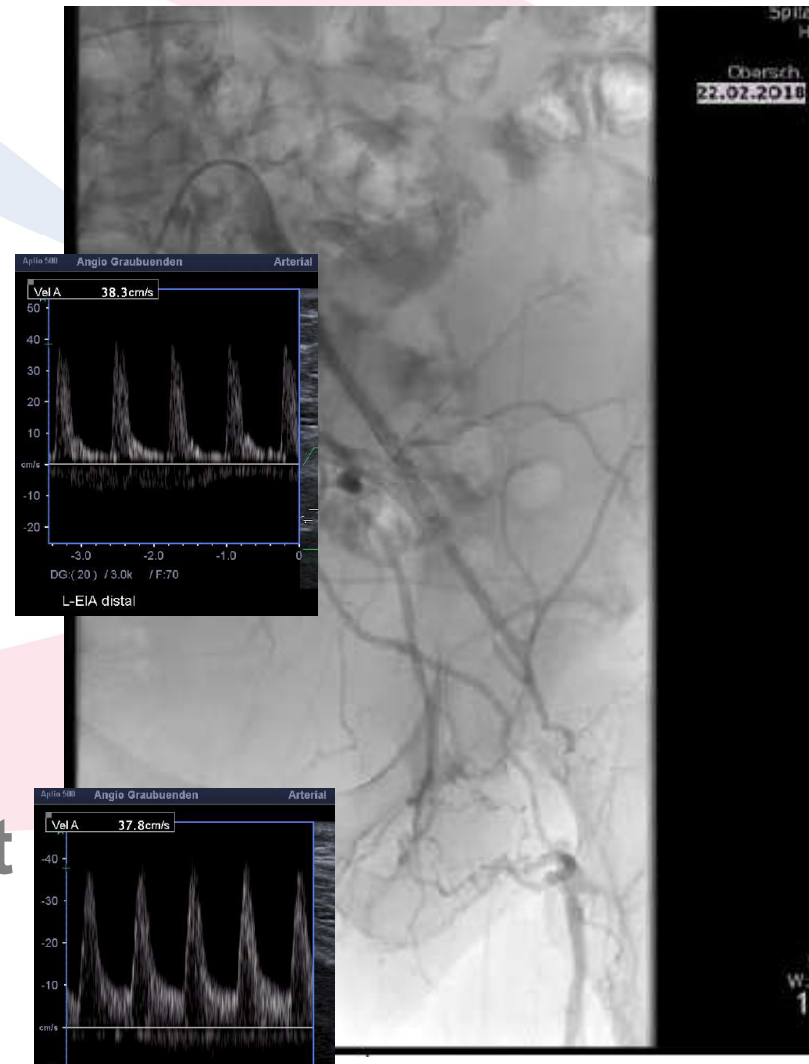


# Dopplersonographie und Spektralanalyse

## Flussspektrum bei peripheren Arterien:

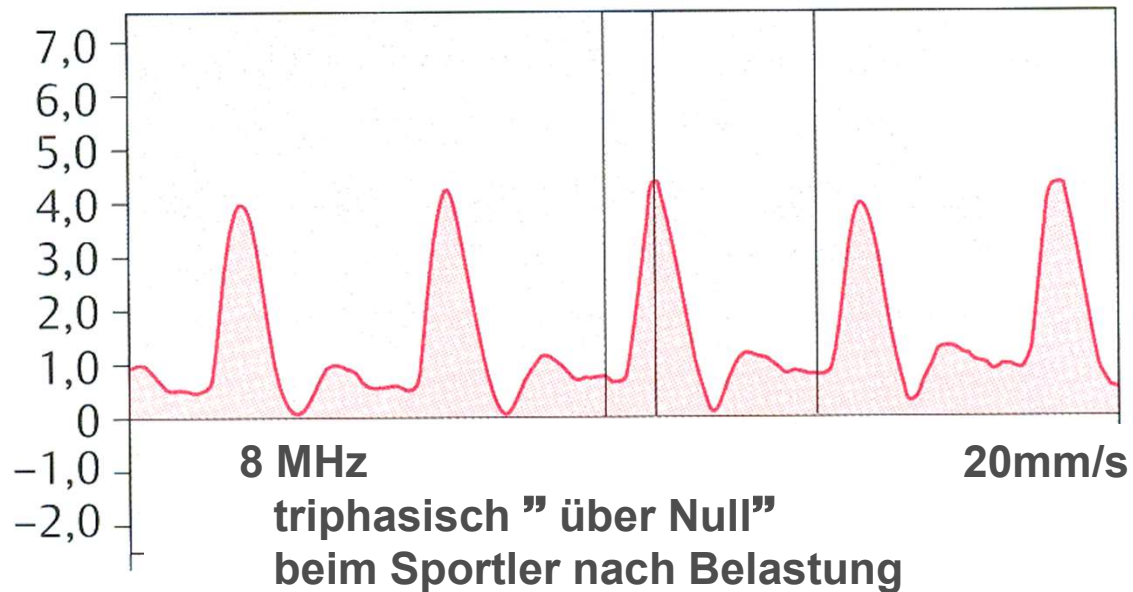
### pathologisch

- Prästenotisch:
- Poststenotisch:
- Intrastenotisch: beschleunigt

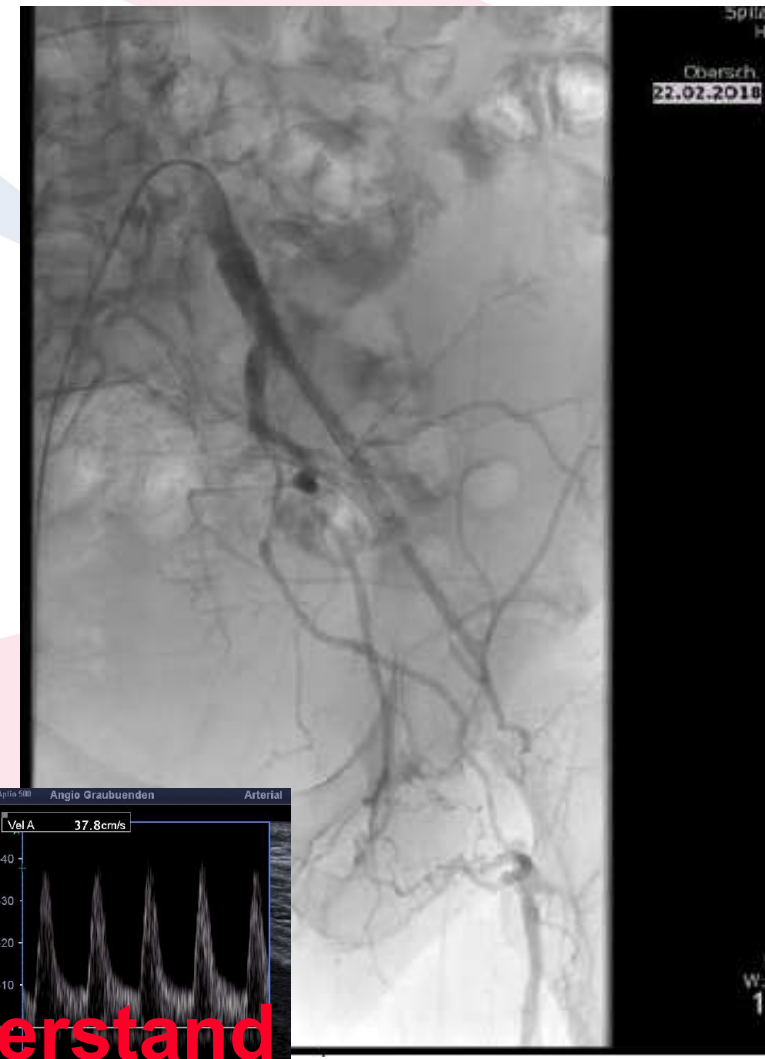


# Dopplersonographie und Spektralanalyse

## Flussspektrum bei peripheren Arterien:

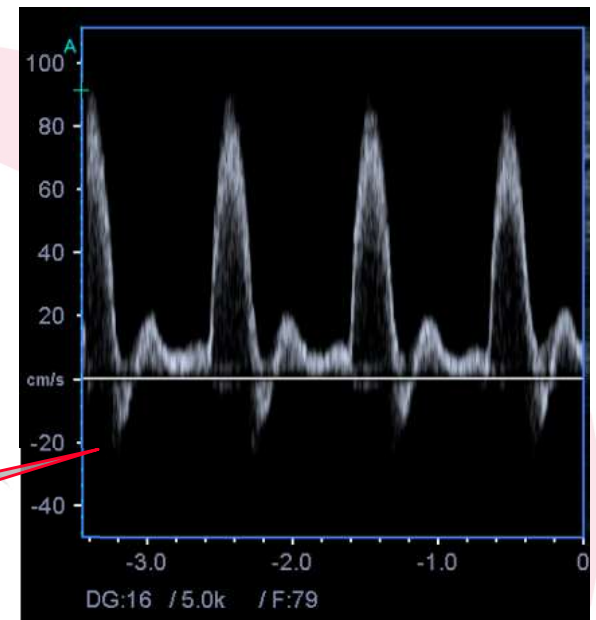
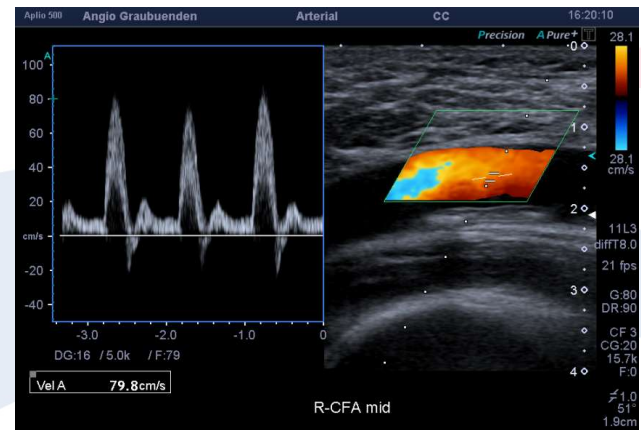
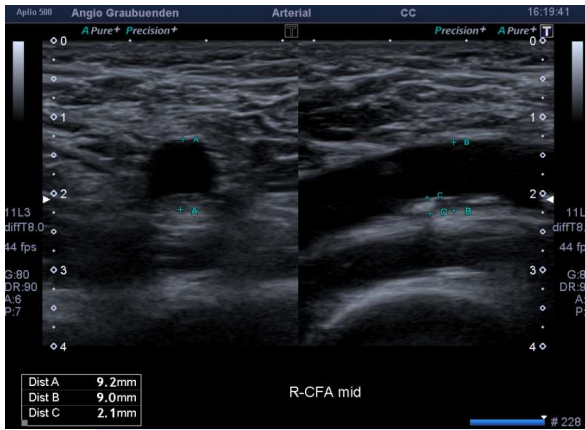


- Prästenotisch:
- Poststenotisch: **monophasisch**
- Intrastenotisch:

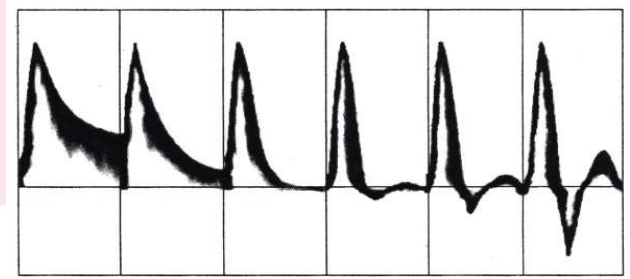


durch erniedrigten peripheren Widerstand

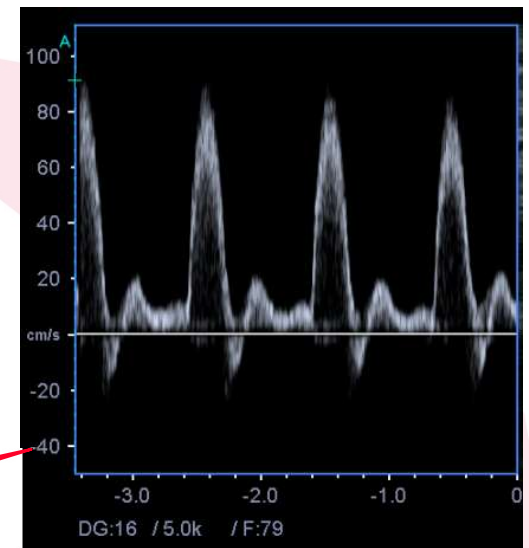
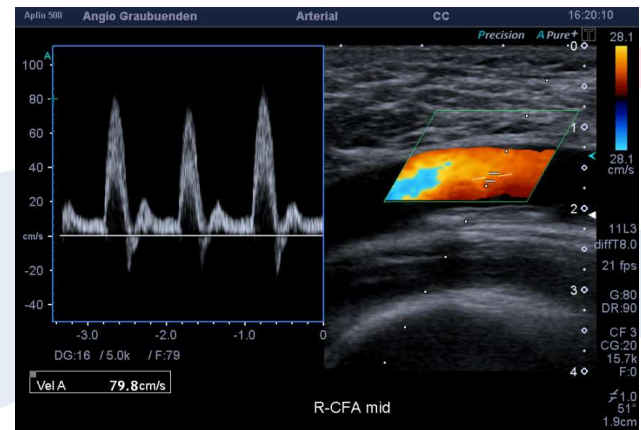
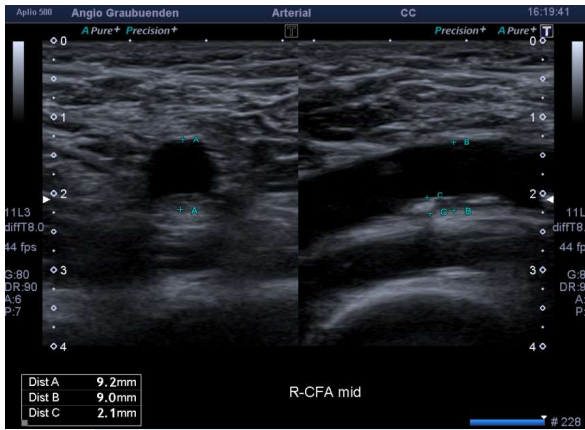
# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



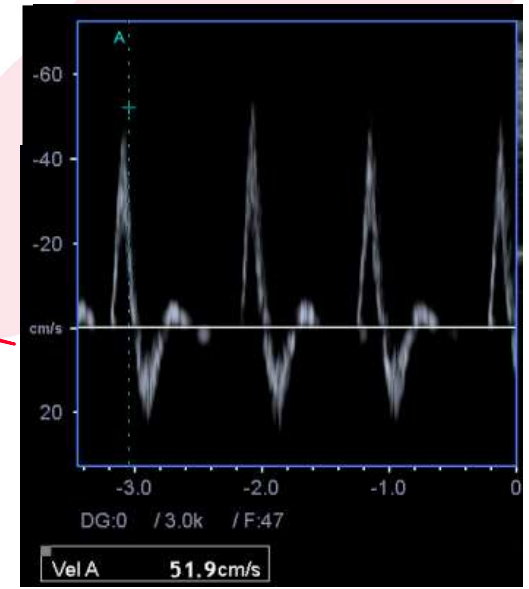
Was könnte dieses Flusssignal bedeuten ?



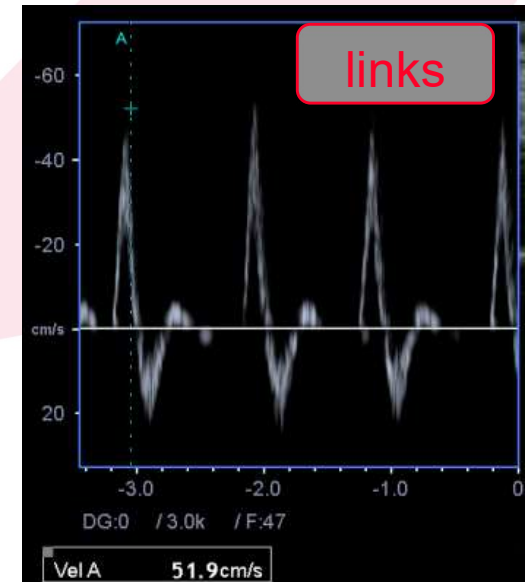
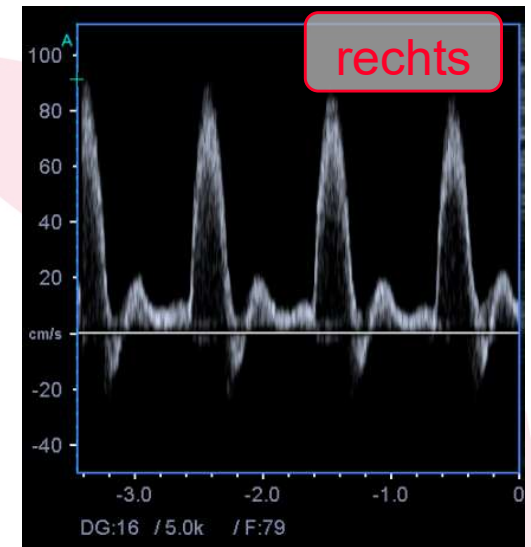
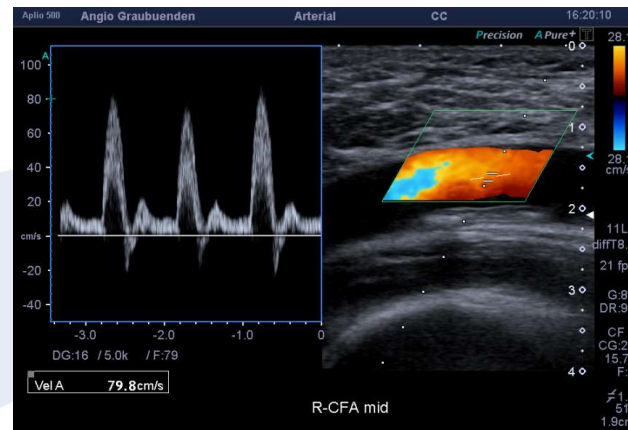
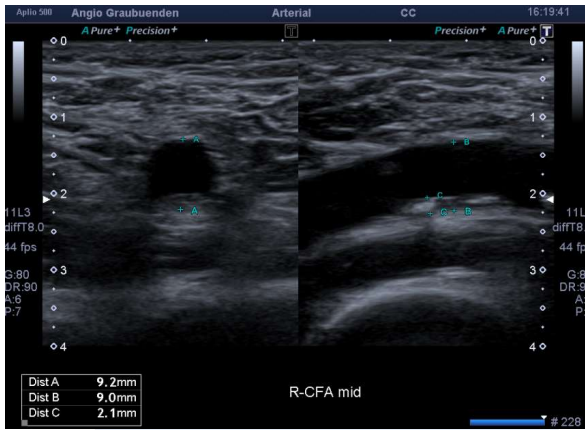
# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



Warum nicht kurz nach Belastung ? das ist links



# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



## Anamnese:

2021 mehrfach lumbale BV – gesteuerte Infiltrationen

Grund: Schmerzen gluteal und Oberschenkel vorne beim raschen und aufwärts Gehen

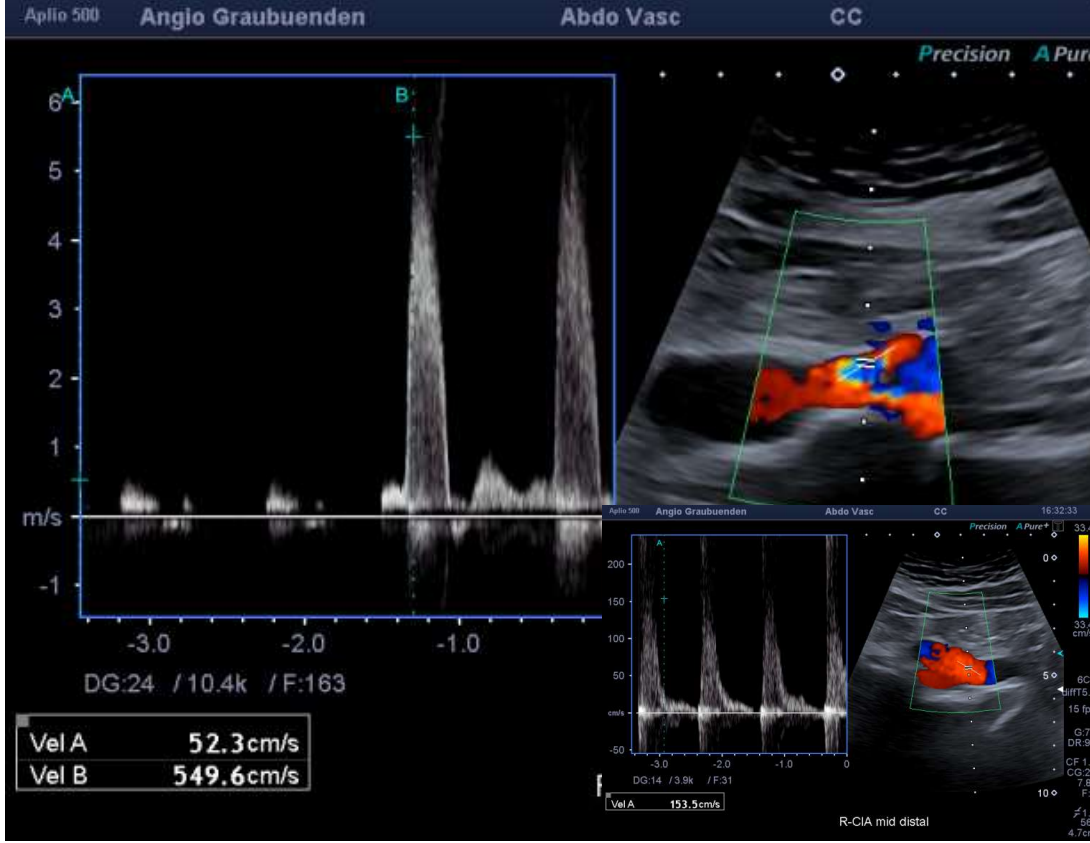
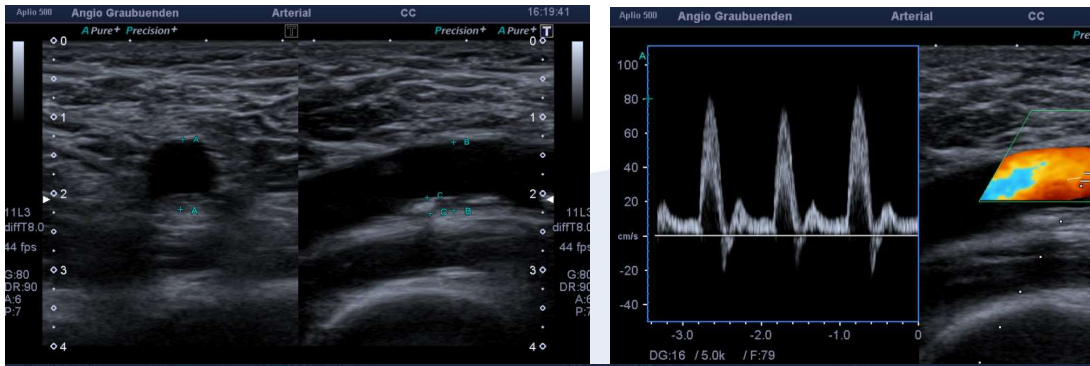
## Klinische Befunde:

Alle Pulse symmetrisch palpabel

ABER: hochfrequentes Stömungsgeräusch

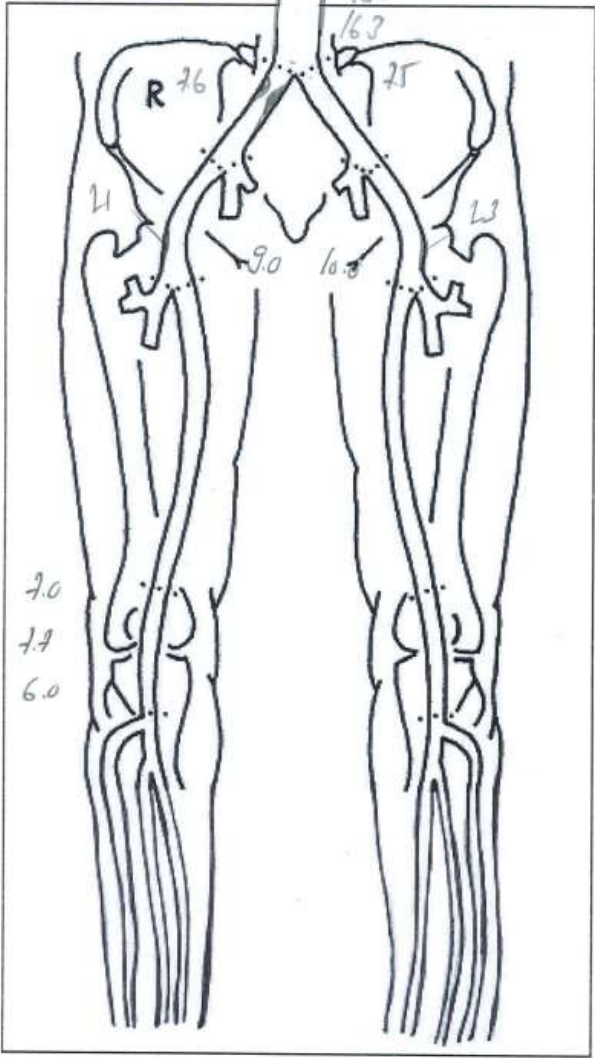
Beckenarterien rechts proximal

# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



## Becken- und Beinarterien

vom: 17.03.2022

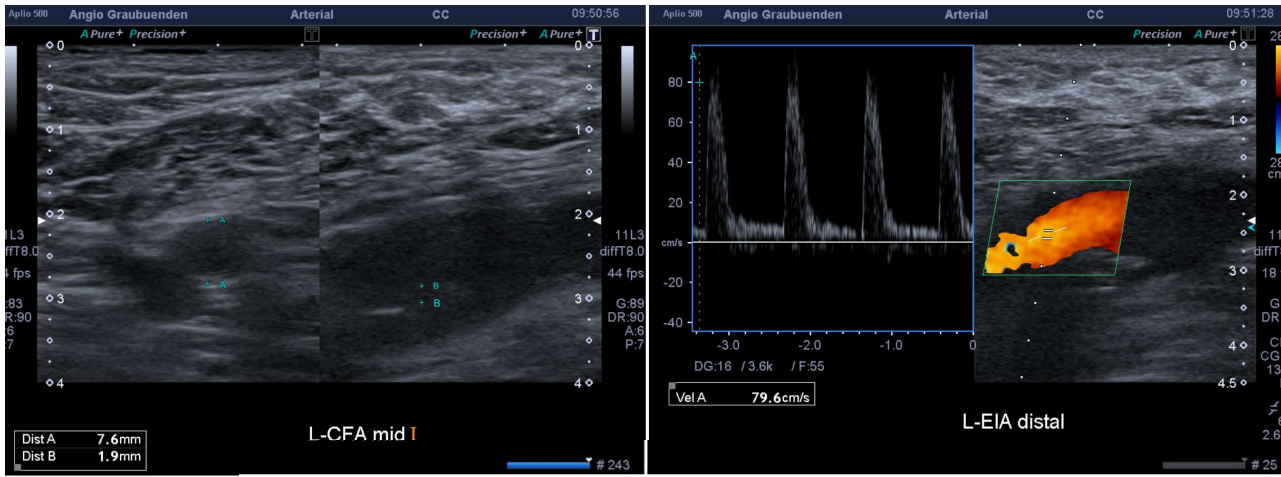


Unterschrift: 

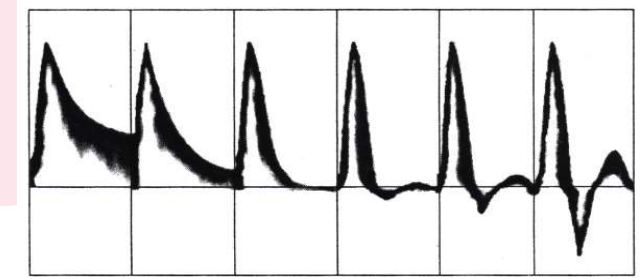
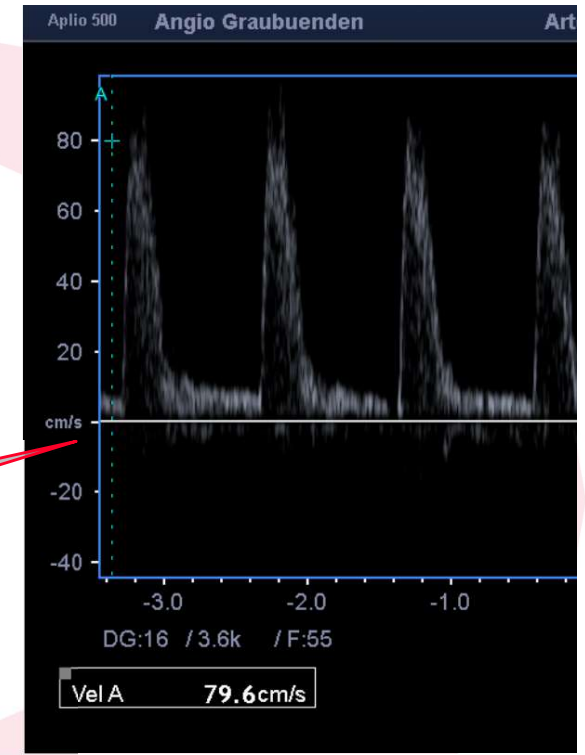
Stenosegrad = % Querschnittsreduktion

|                            | rechts | links  |
|----------------------------|--------|--------|
| Aorta abdominalis          | 0%     |        |
| A. iliaca communis         | 50-75% |        |
| A. iliaca externa          |        |        |
| A. iliaca interna          |        |        |
| A. femoralis com.          | 20-35% | 20-35% |
| A. profunda femoris        | 20-35% | 20-35% |
| A. femoralis superficialis |        |        |
| proximal                   | 0%     | 0%     |
| mitte                      | 0%     | 0%     |
| distal                     |        |        |
| A. poplitea                | 0%     | 0%     |
| Truncus tibio-fibularis    |        |        |
| A. tibialis anterior       |        |        |
| A. tibialis posterior      |        |        |
| A. fibularis               |        |        |

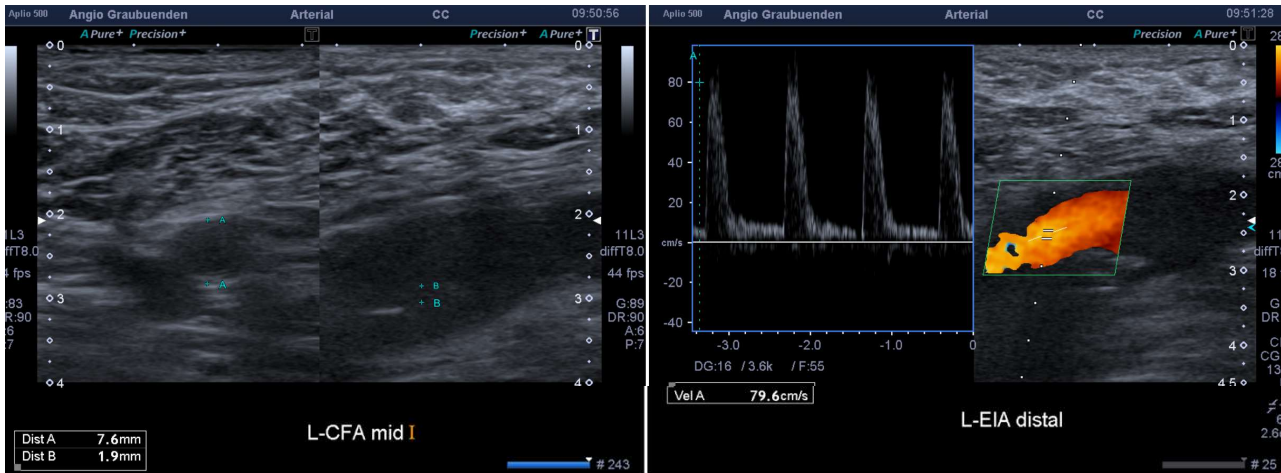
# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



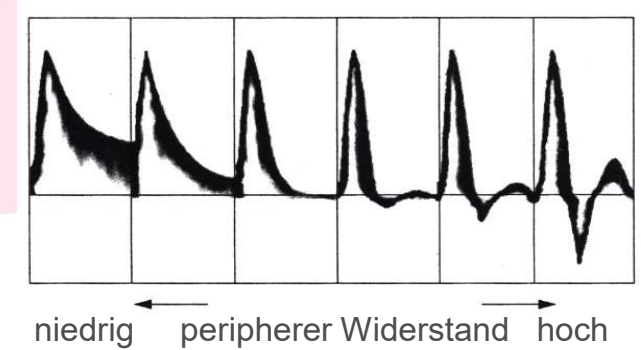
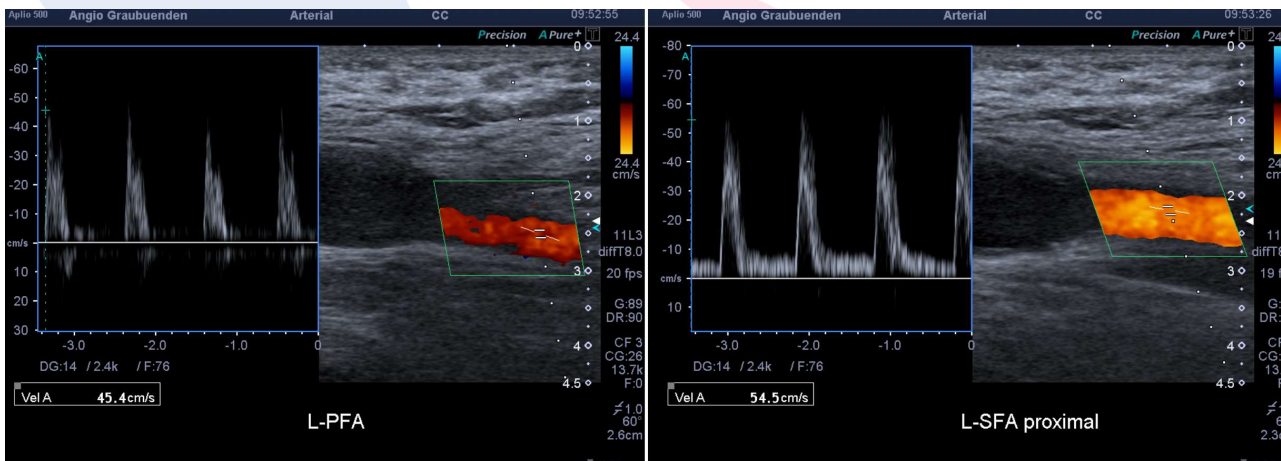
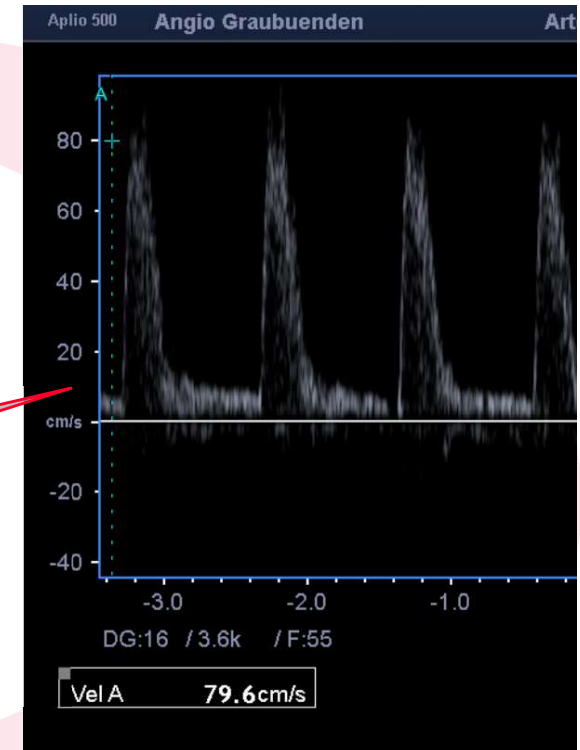
Was könnte dieses Flusssignal bedeuten ?



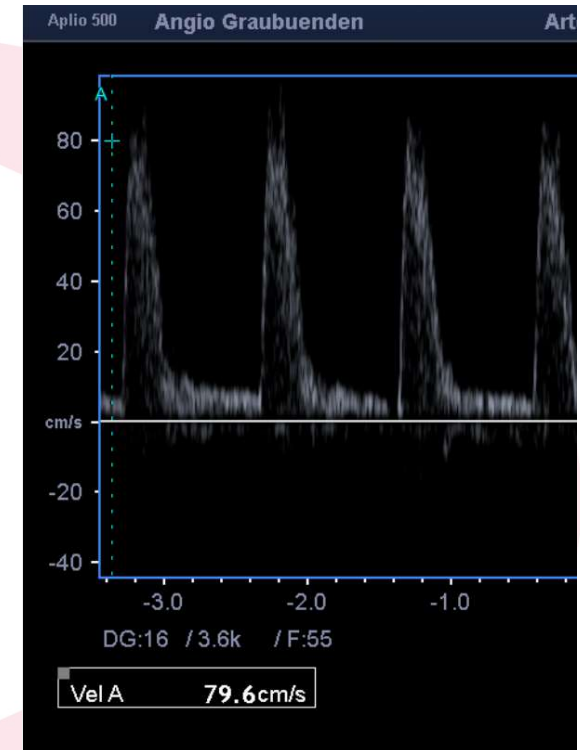
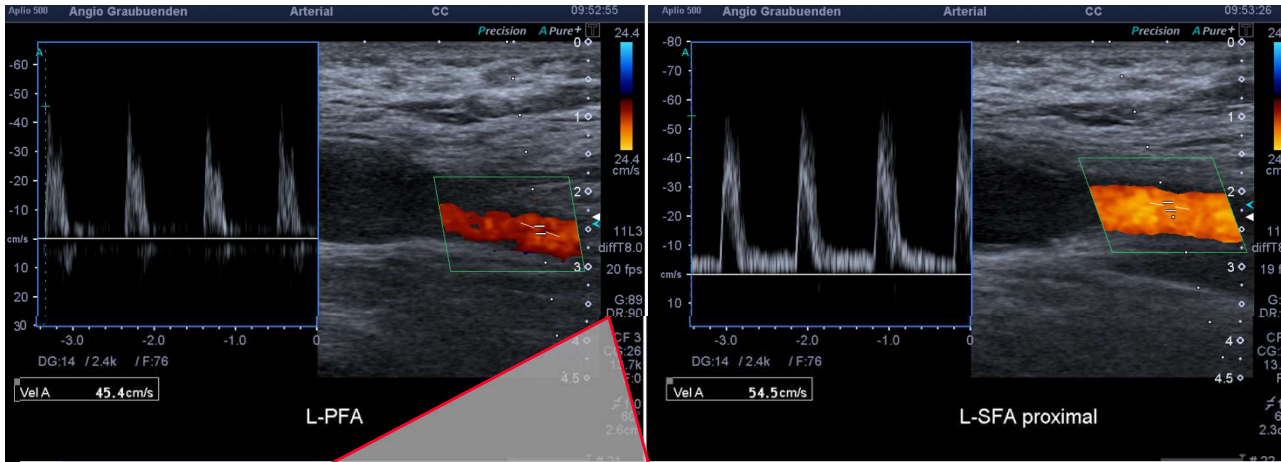
# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



Wie können Sie das einfach klären ?



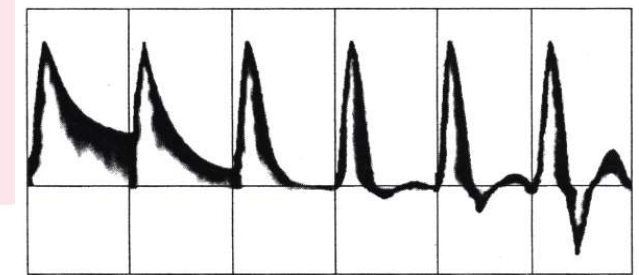
# Also .... was sagt dieses Spektralmuster?



- A. profunda femoris ohne diastolischen Fluss
- A. femoralis superficialis mit diastolischem Fluss

**Niedriger peripherer Widerstand im Fuss:**  
Aber nicht in der  
Oberschenkelmuskulatur

**Erklärung ?**



niedrig ← peripherer Widerstand → hoch

# Dopplersonographie und Spektralanalyse

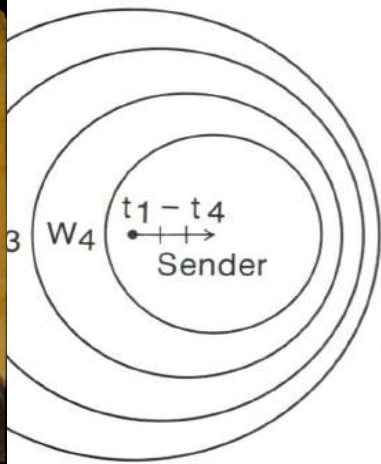
---

## Grundlagen

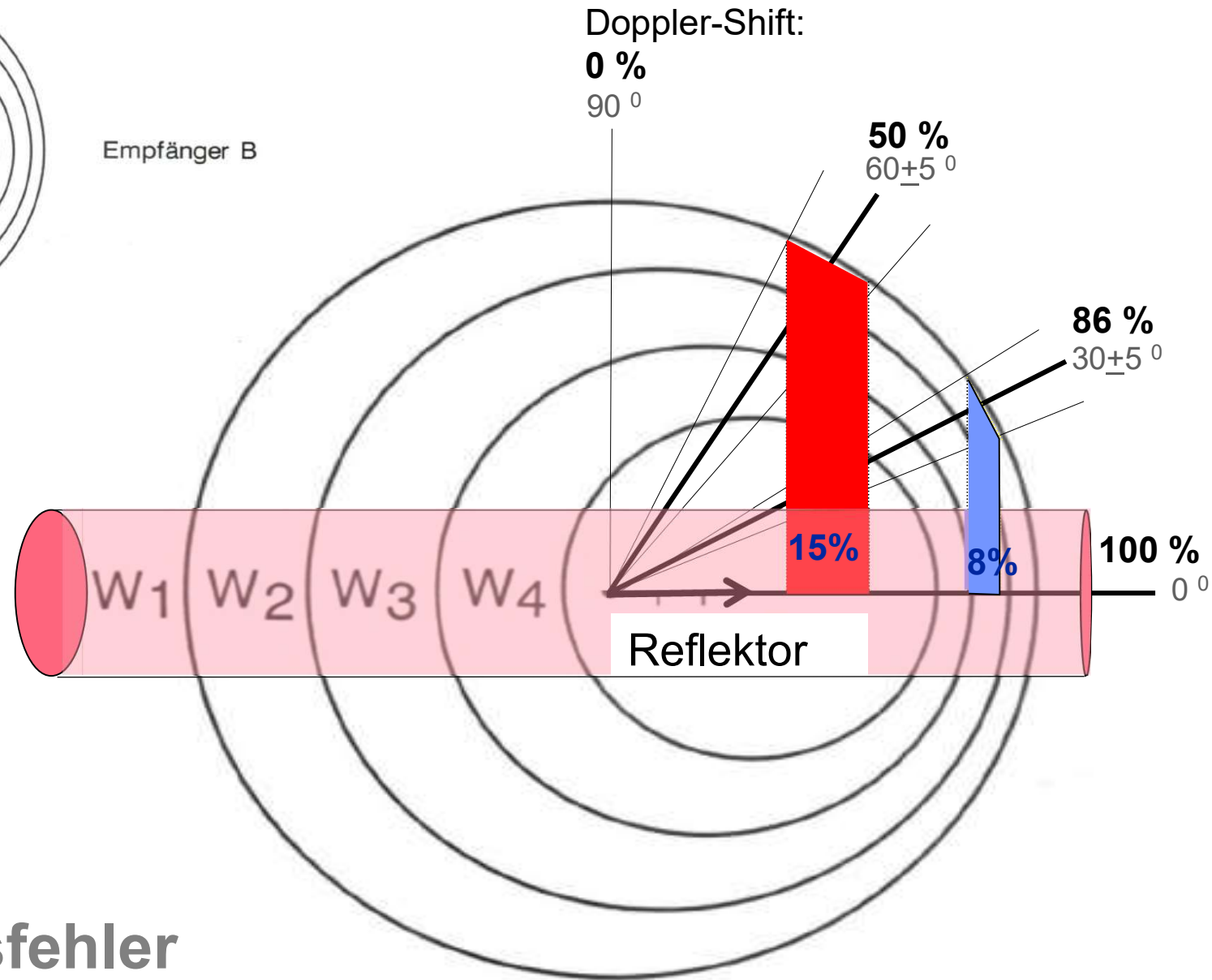
- Was ist das Doppler-Prinzip ?
- Warum nützt es uns in der Duplexsonographie ?
- Unterschiede zwischen PW-Doppler und CW-Doppler

## Anwendung

- Dopplertechnik
- Spektralkurve: Filter, Bereich
- Bedeutung des Dopplerwinkels / Winkelkorrektur
- Stenosegraduierung
- Aliasing



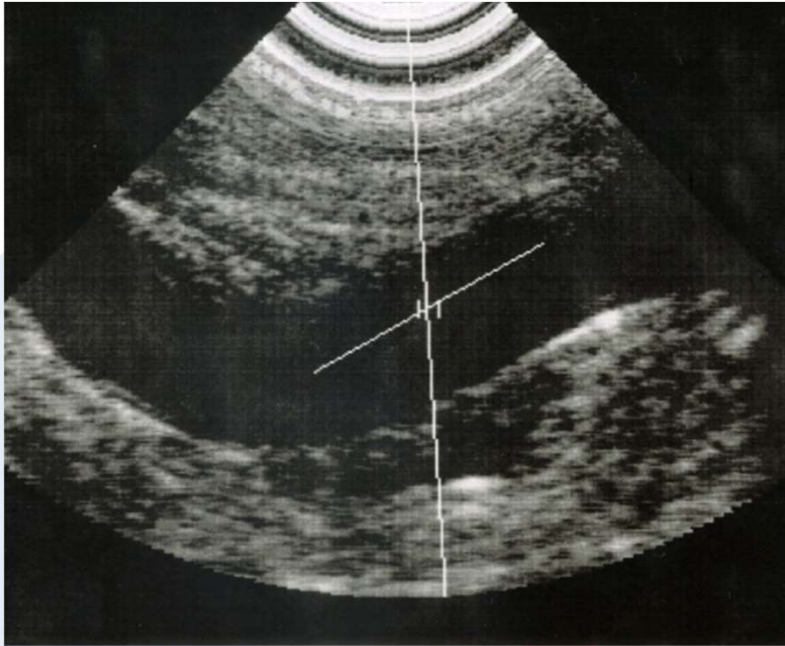
Empfänger B



Je grösser der Winkel, desto:

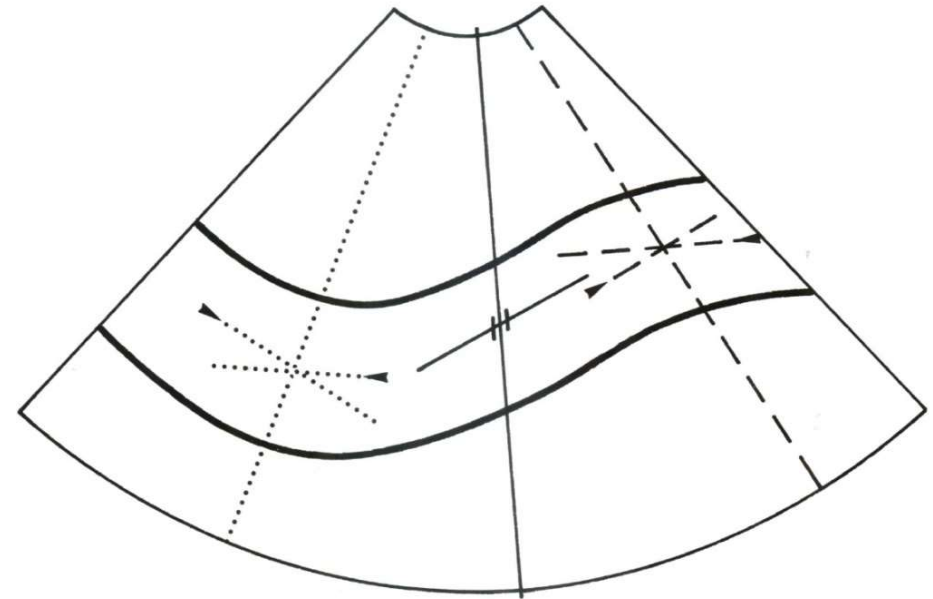
- grösser der Messfehler
- geringer der Doppler-Shift

# Winkelkorrektur

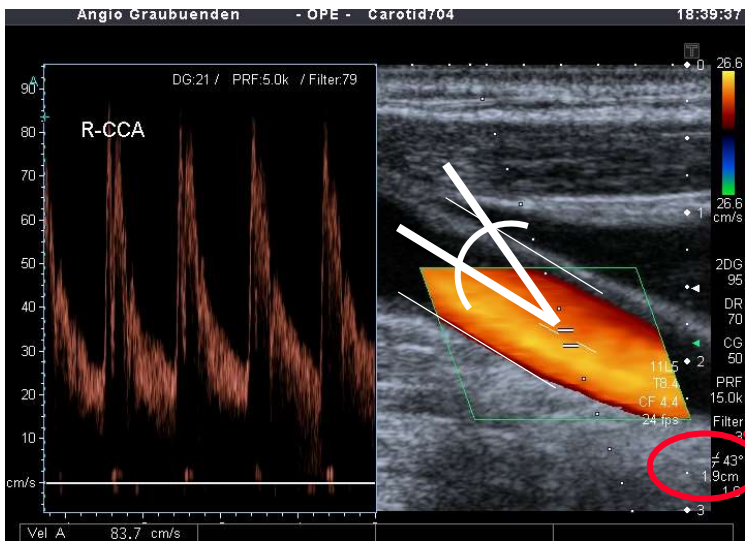


Fluss zum Messvolumen  
bestimmt Ausrichtung des  
Dopplerwinkels

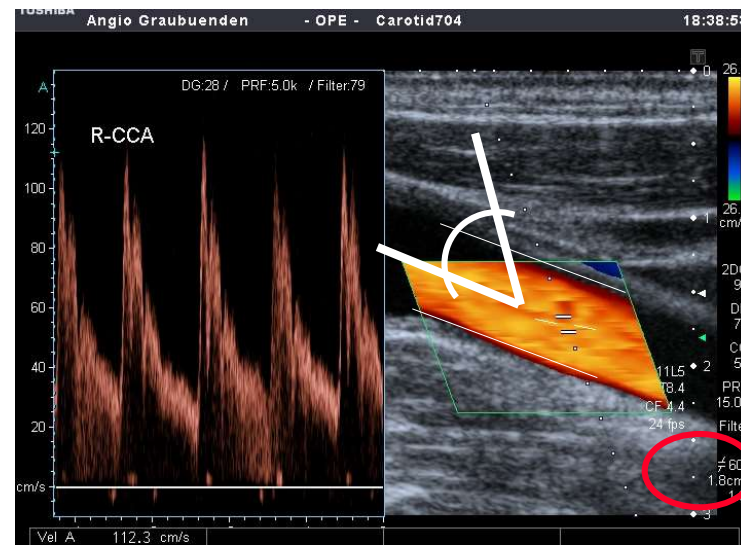
Welches ist der korrekte Doppler-Winkel ?



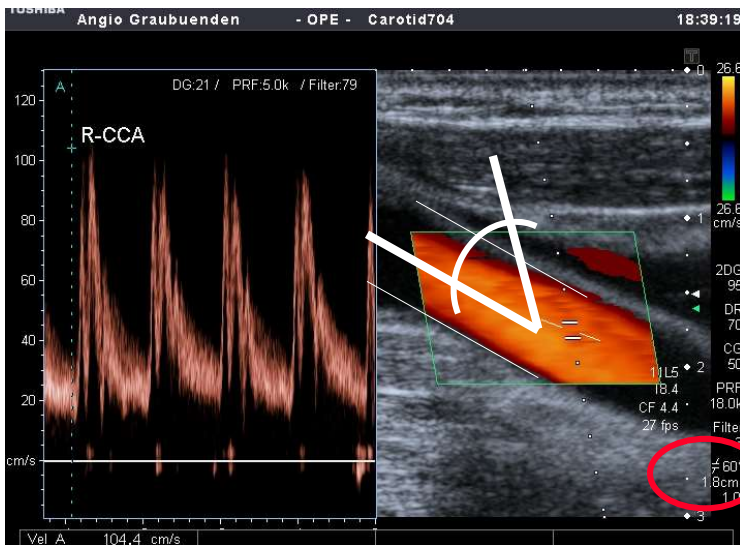




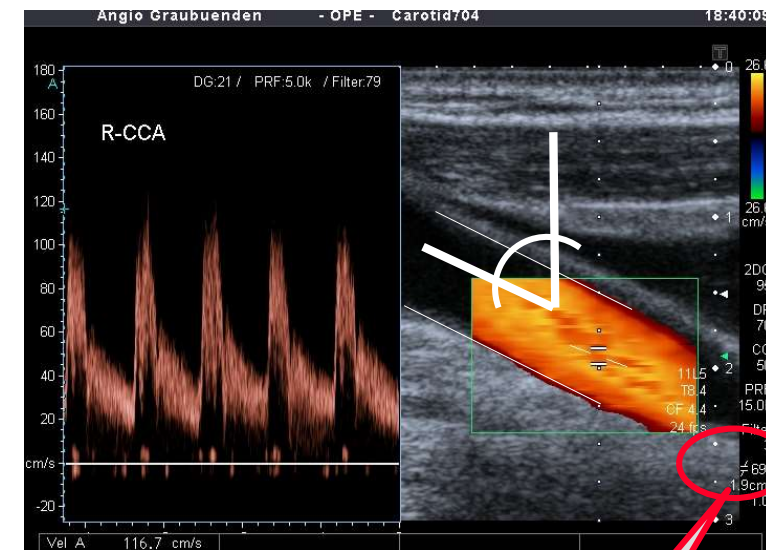
43°



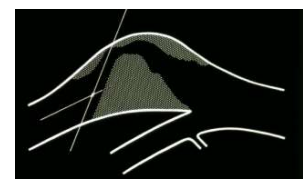
60°



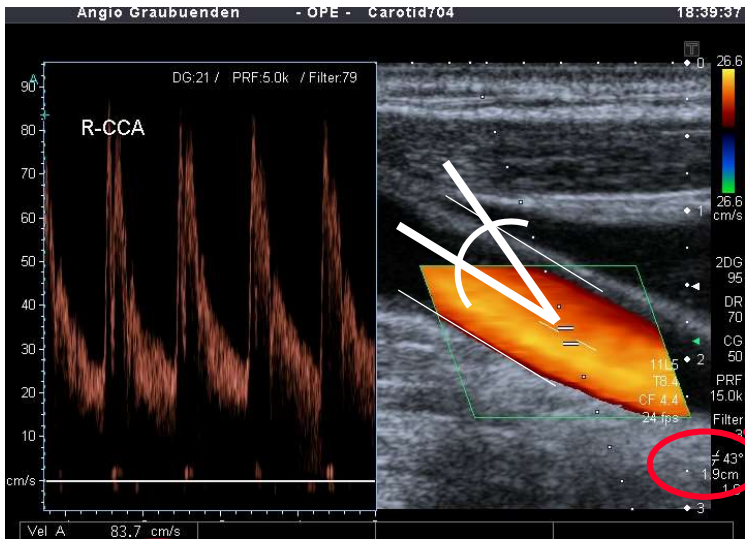
60°



69°

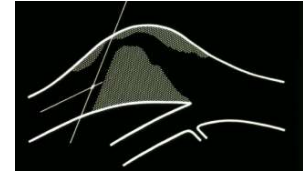


Welche Einstellung ist die Beste ? – Reihenfolge ?

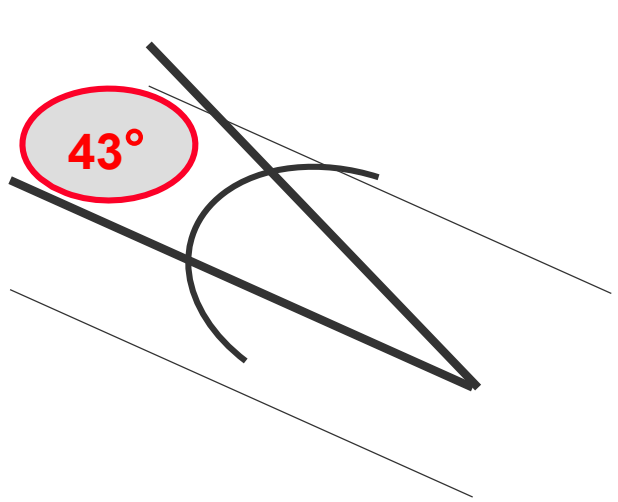


80cm/s

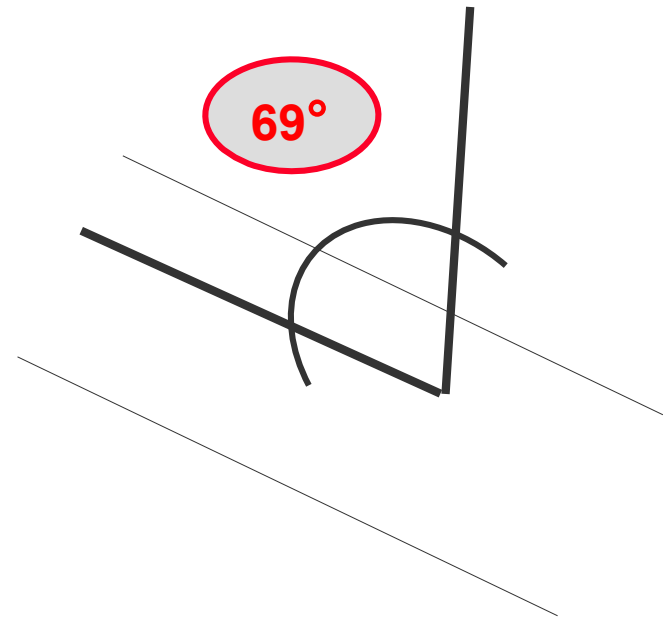
43°



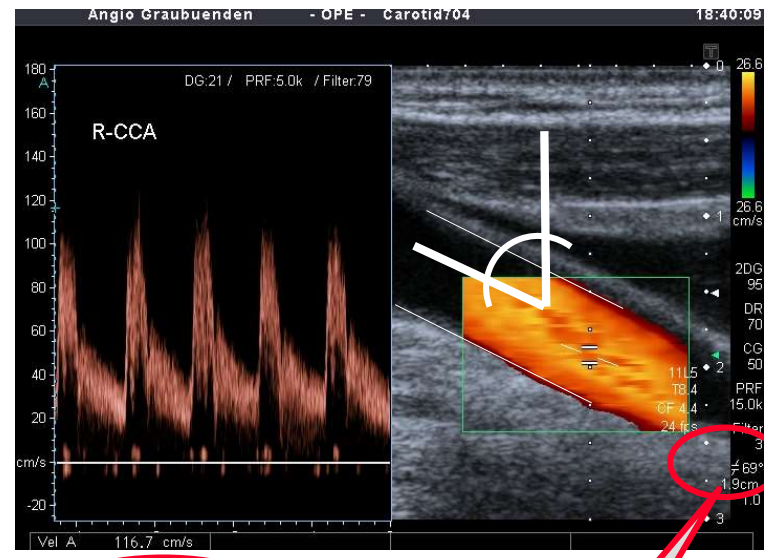
Warum ?  
Die «Beste» ?  
Warum die «Schlechteste» ?



43°



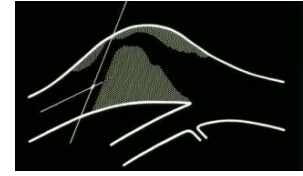
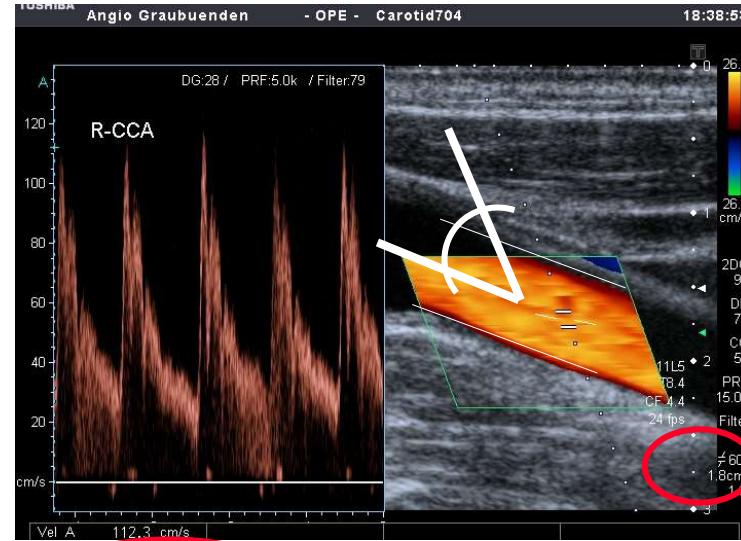
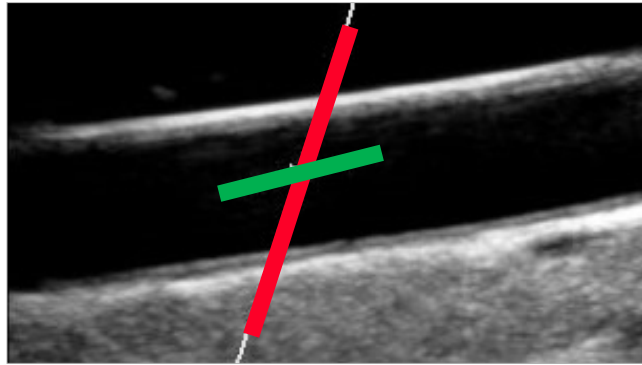
69°



120cm/s

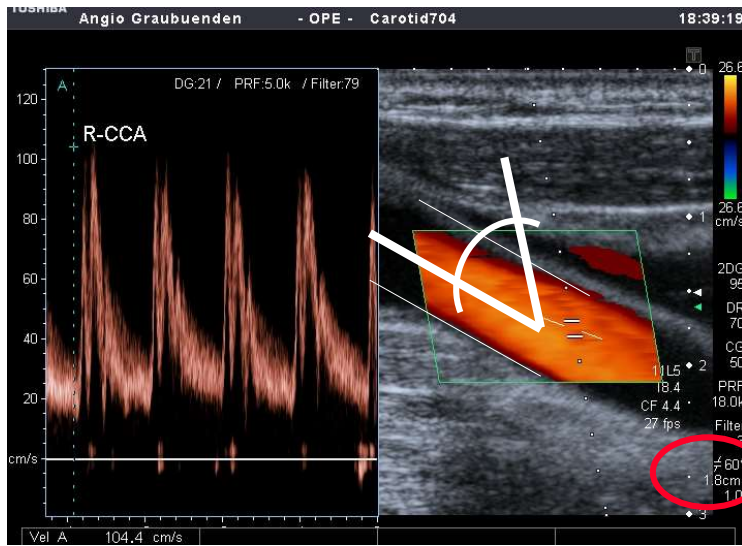
69°

**Warum ?  
Beide 60° und doch nicht  
gleich ?**



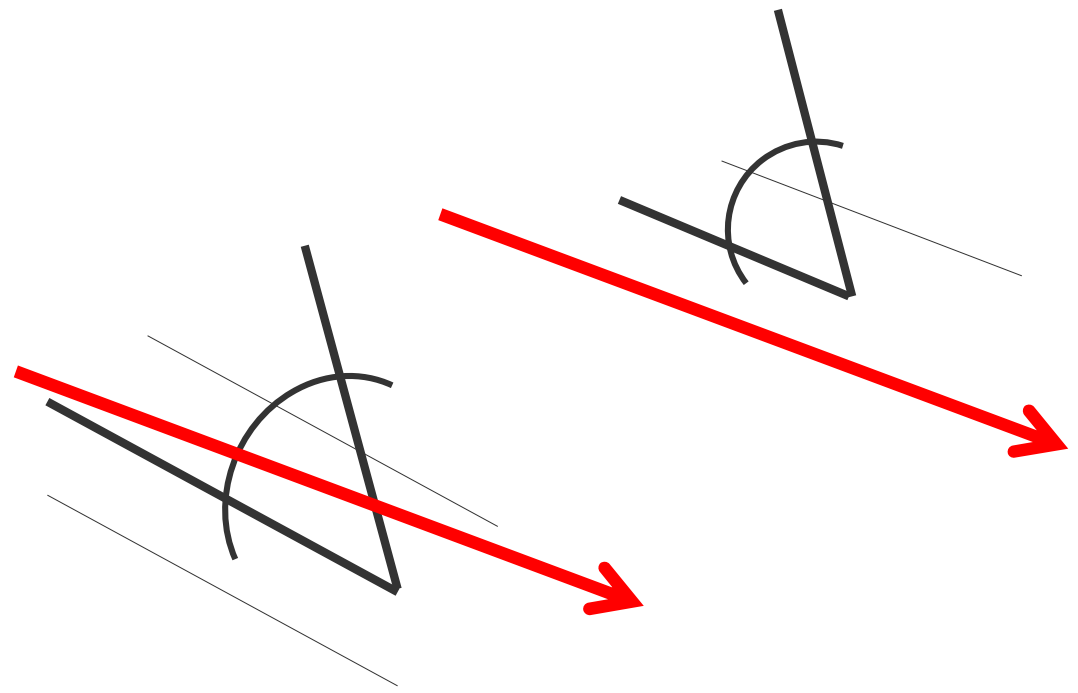
60°

110cm/s

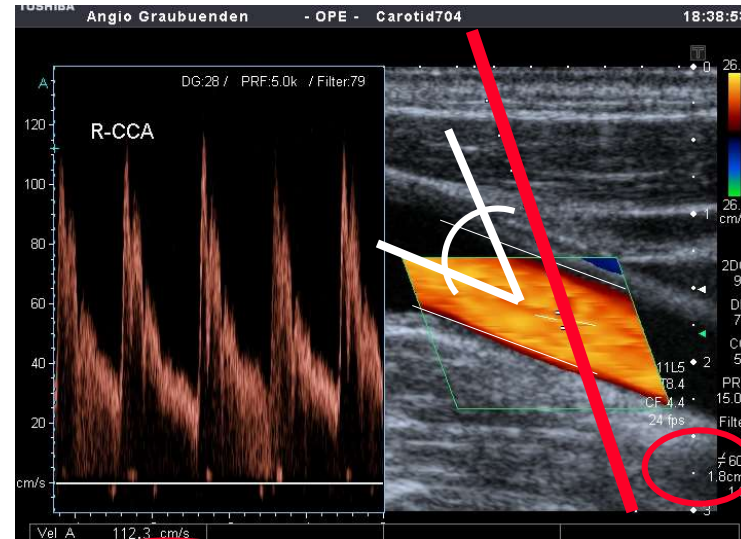
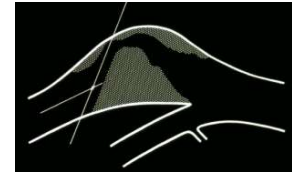


60°

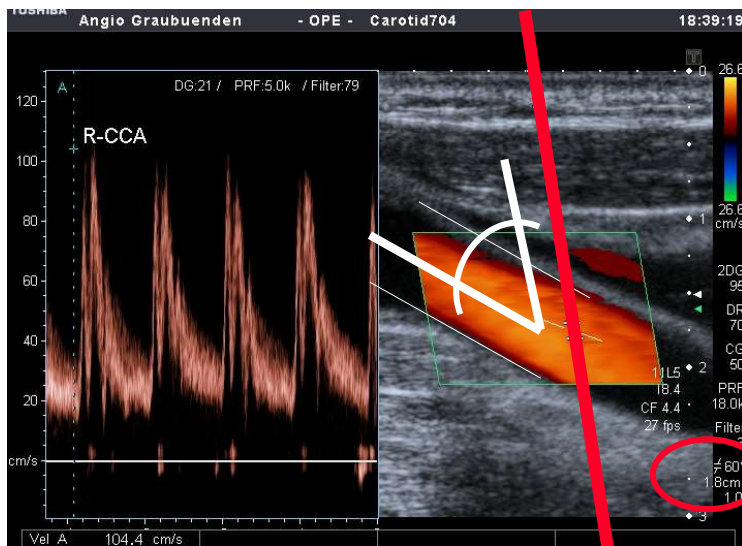
100cm/s



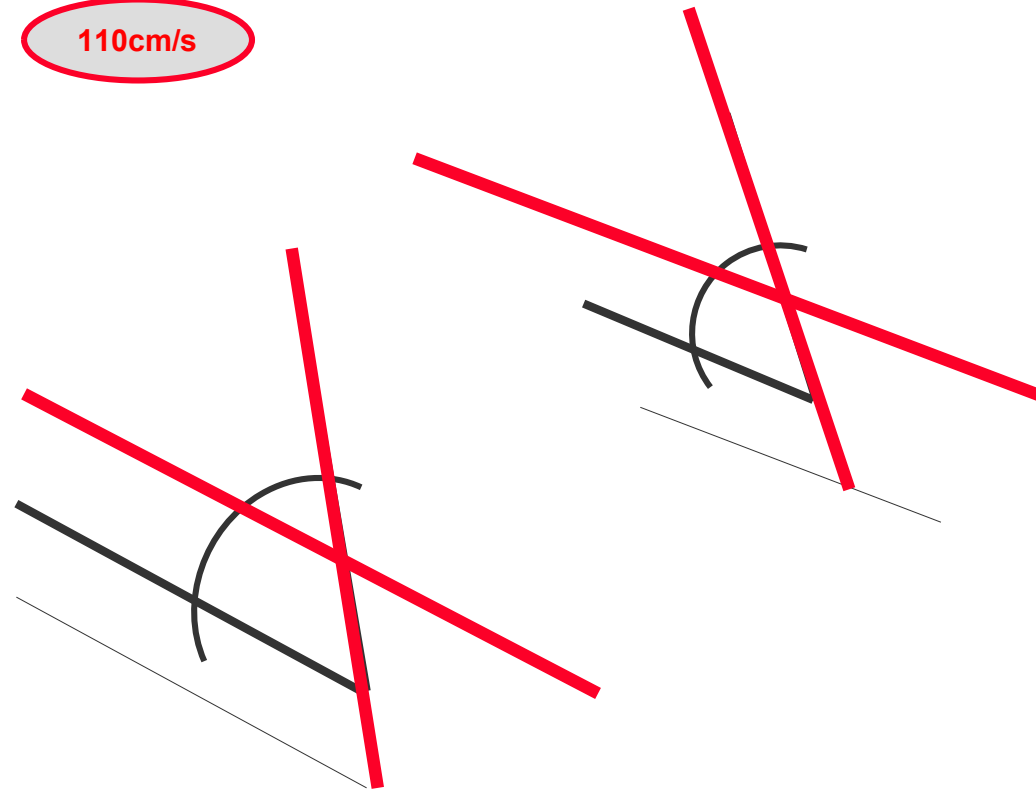
**Warum ?  
Beide 60° und doch nicht  
gleich ?**



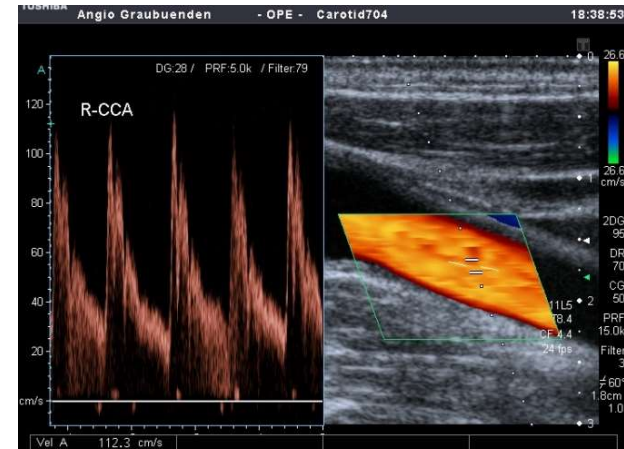
**110cm/s**



**100cm/s**



# Und was bedeutet das jetzt in unserem Alltag ?



Was bedeutet, was wir sehen ?

Wie interpretieren wir, was wir sehen ?

Wie können wir wissen, ob das auch so ist ?

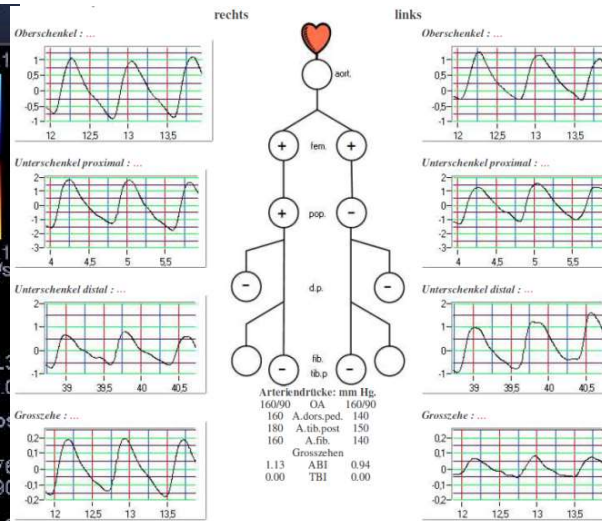
Wie beraten wir den Patienten ?

Wie wissen wir, wie rasch wir handeln müssen ?

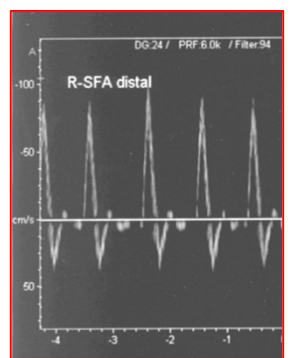
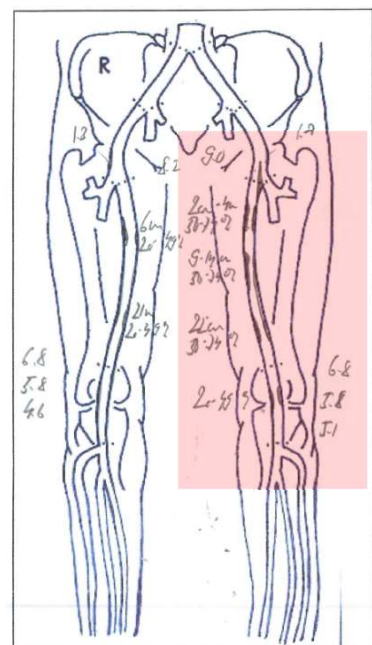
# Beispiel: periphere Arterien

wie weit ?:

300m



vom: 06.11.2018





# Beispiel: Beckenarterien

wie weit?: 200m re > li

