



# WEHRWISSENSCHAFTLICHEN INSTITUT FÜR SCHUTZTECHNOLOGIEN – ABC-SCHUTZ



Institut für  
Technische Physik



BUNDESWEHR

# Unsichtbares sichtbar machen

Kombination komplementärer Messmethoden zur Ferndetektion chemischer Agenzien

F. Wilsenack (WIS) / Th. Wolf (WIS) / F. Duschek (DLR) / A. Walter (DLR)

1997 Chemiewaffenübereinkommen

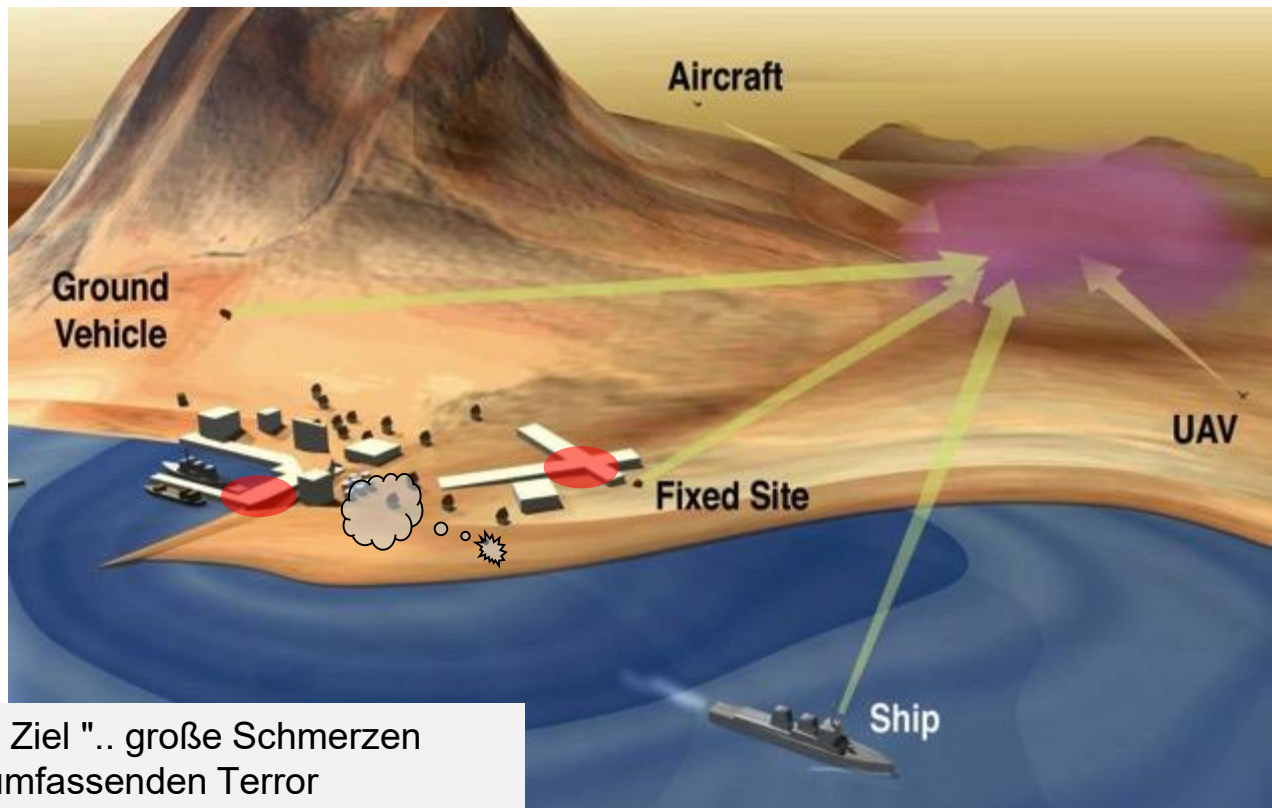
[FrankWilsenack@bundeswehr.org](mailto:FrankWilsenack@bundeswehr.org) / [Thomas9Wolf@bundeswehr.org](mailto:Thomas9Wolf@bundeswehr.org)  
[Frank.Duschek@dlr.de](mailto:Frank.Duschek@dlr.de) / [Arne.Walter@dlr.de](mailto:Arne.Walter@dlr.de)

# WARUM SOLLTEN WIR UNS NOCH UM DIE C-DETEKTION KÜMMERN?

- Klassische Bedrohungen (Symmetrisch)
  - Vergleichsweise große Räume
- Neue Bedrohungen (Asymmetrisch)
  - Vergleichsweise kleine Räume
    - mehr Stoffe (z.B. toxische Industrie Chemikalien)
    - stärker eingegrenzte Regionen
- damit verfolgte Ziele
  - Terror
  - Blockade

Wirklich neu?

1919 im Irak / Churchill: Ziel ".. große Schmerzen hervorrufen und einen umfassenden Terror verbreiten"

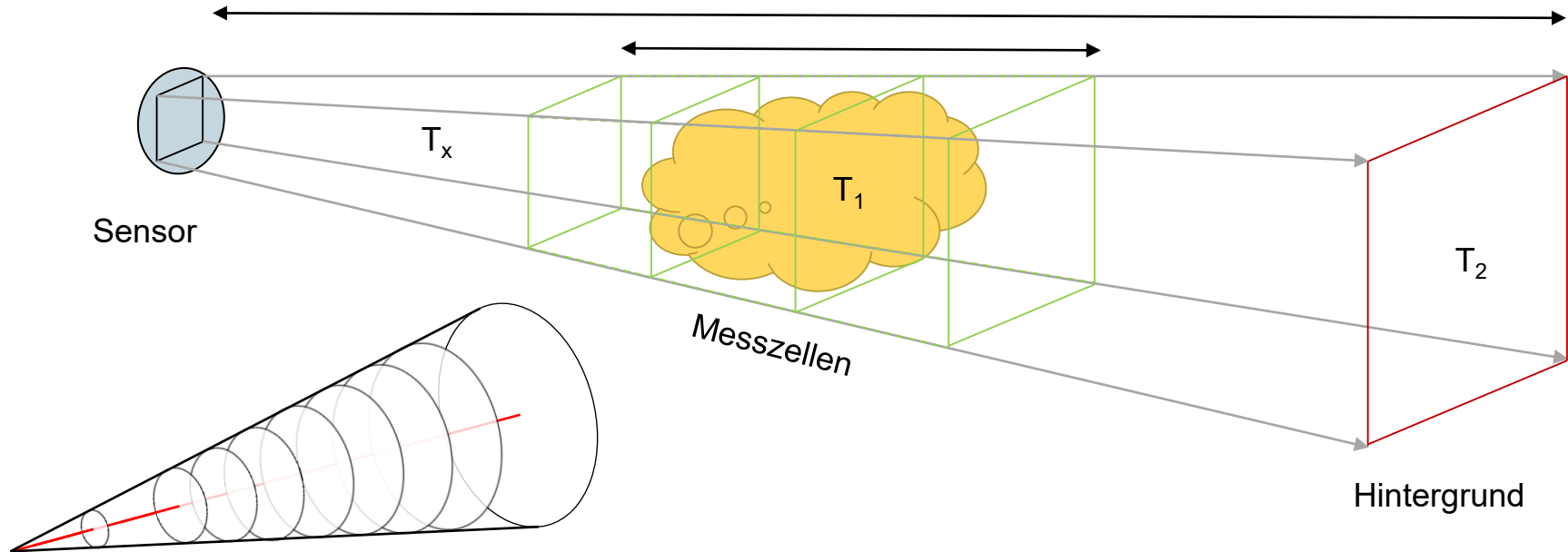


# VOM KEGELAUSSCHNITT ZUM „REALEN“ PIXEL

Die wesentlichen Einflussgrößen auf das Messsignal:

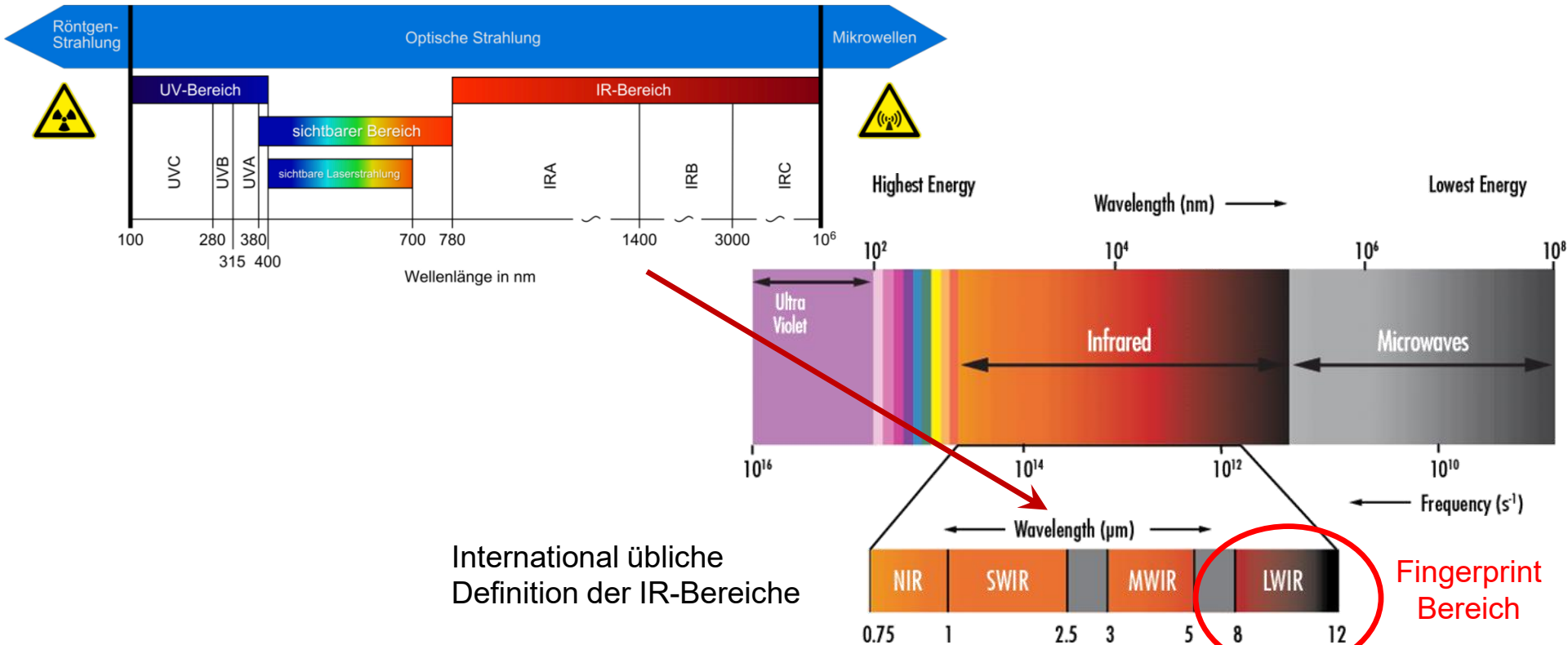
$$\text{Messsignal} = c \cdot l \cdot \Delta T \quad \text{mit: } \Delta T = T_2 - T_1, T_x \approx T_1$$

T Temperatur  
c Konzentration  
l Länge der durchschienenen Wolke



# OPTISCHE STRAHLUNG UND INTERNATIONALE BEZEICHNUNG FÜR IR

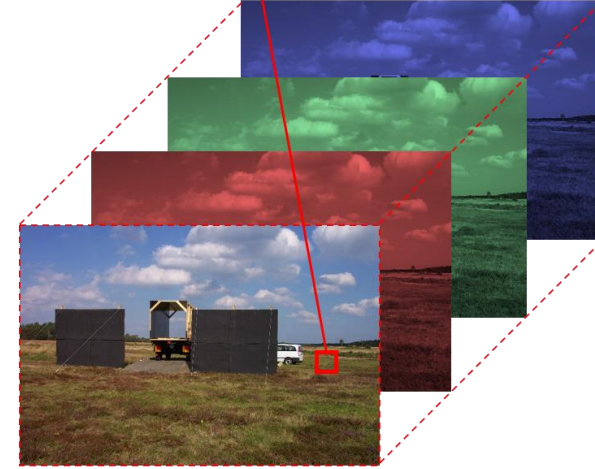
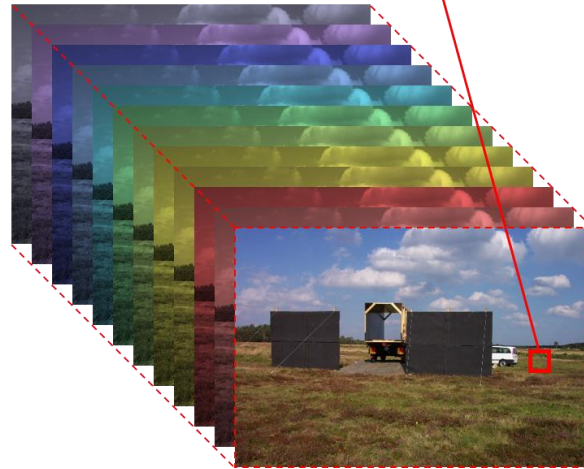
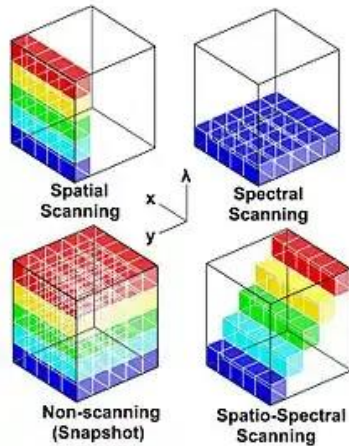
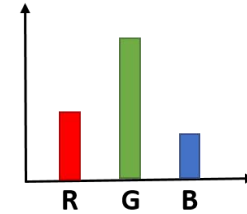
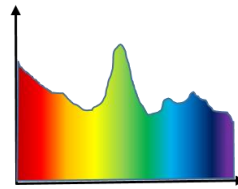
Optische Strahlung nach §2 Absatz 1 OStrf



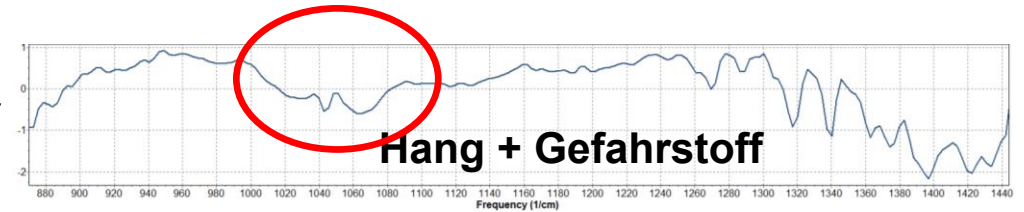
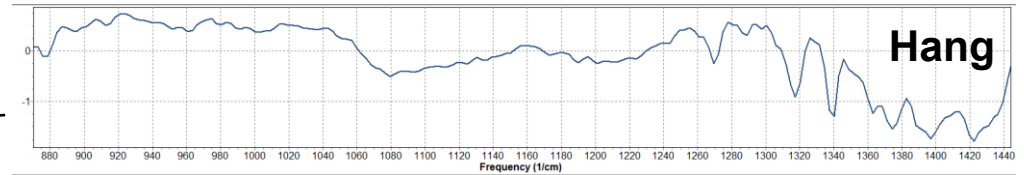
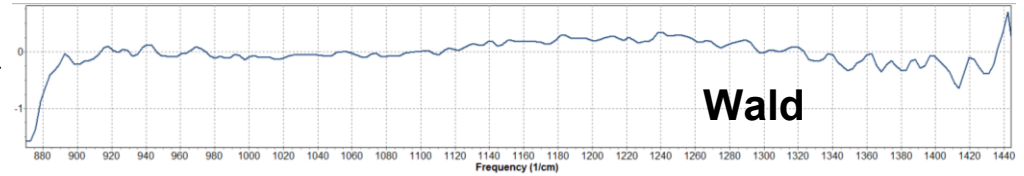
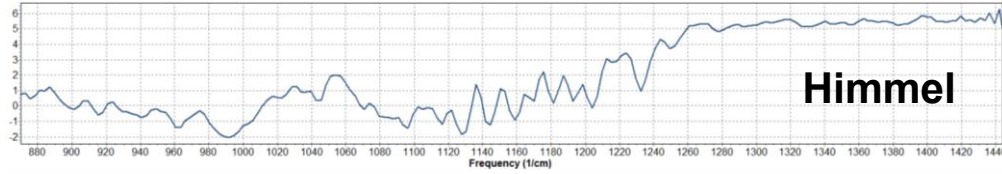
International übliche  
Definition der IR-Bereiche

Fingerprint  
Bereich

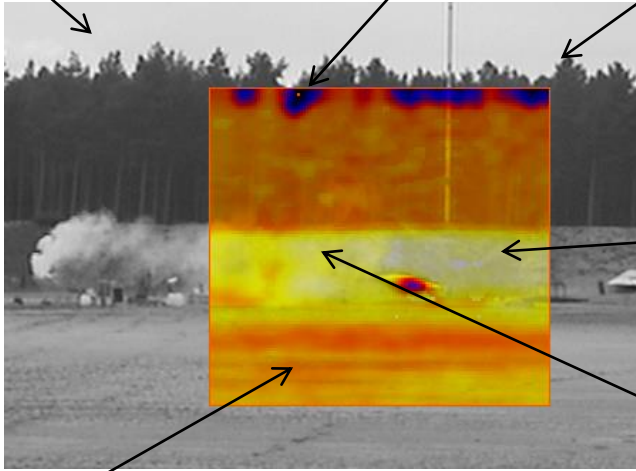
Unter **hyperspektral** versteht man in der Fernerkundung ein Sensorsystem, das Bilder von sehr vielen, eng beieinanderliegenden Wellenlängen aufzeichnen kann. Das Auge sieht die Umwelt multispektral in den Wellenlängen der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Hyperspektrale Systeme zeichnen Daten von 20 bis 250 unterschiedlichen Kanälen auf.  
*(hier die Definition aus der Wikipedia)*



# BEISPIELSPEKTREN



S/W Kamera



Temperaturbild

# VERSUCHE IN UMEA (SCHWEDEN) AUF 1 KM ENTFERNUNG



# DAS WAHRE LEBEN IN „ECHTZEIT“



Alle 2 Sekunden eine Analyse

⇒

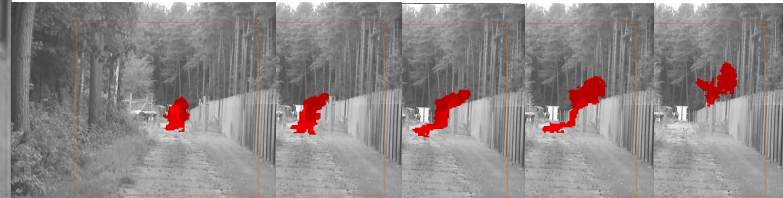


# DETEKTION VON AMMONIAK IN EINER KÜVETTE AM WIS



400 m / Nebel nach einem Sommerregen

# FREISETZUNG EINER ACETON-WOLKE IN 300 M ENTFERNUNG



⇒

- Weniger als 300 ml
- Freisetzung in weniger als 2 Sekunden
- Gesamtmessung ca. 10 Sekunden

Und  
Aerosole?

Siehe Postersession...



Und war da nicht  
noch etwas mit  
Chlor?

Halogene sind die Pest  
für die IR-Spektroskopie!

⇒ Auftrag an das DLR

# HALOGENE, RAMAN, FERNDETEKTION

## Halogene

- Absorption UV/Vis
- Symmetrie:
  - IR-inaktiv
  - Raman-aktiv

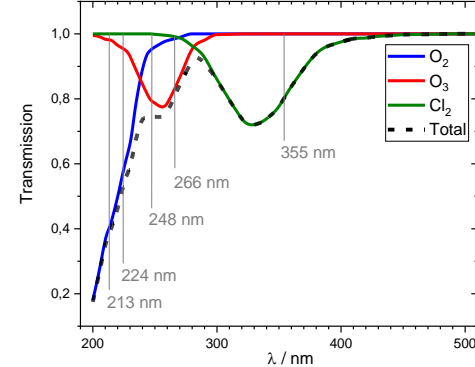
## Raman

- Inelastischer Streuprozess
- Spezifische Bande(n)
- Niedrige Signalintensität
- Bei jeder Wellenlänge möglich

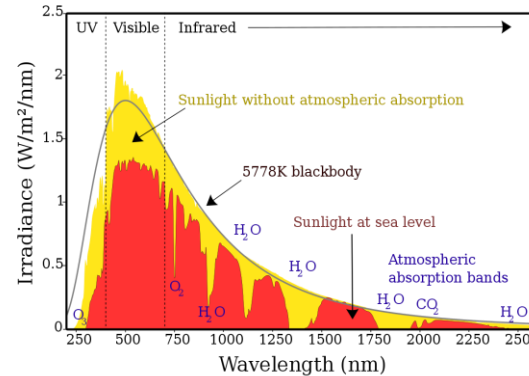
## Ferndetektion (aktiv)

- Verluste in der Atmosphäre auf Hin- und Rückweg
  - Absorption von  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $Cl_2$  und  $H_2O$
  - Streuung an Aerosolen
- Störung durch Streulicht (Aerosole, Gase)
  - Externe Quellen (Sonne, künstlich)
  - Laser

Transmission in einer Atmosphäre



Spektrum des Sonnenlichts



Nick84/CC-BY-SA-3.0

IR Fingerprint  
// 8000 - 12000

# MODELLIERUNG – WELLENLÄNGE UND DETEKTIONSREICHWEITE

DWT 2020

## Chlorwolke

- 10 m Tiefe
- 1000 ppm Cl<sub>2</sub>

## Laser

- Einzelpuls, 0.1 J Pulsenergie
- Linienbreite 0

## Detektor

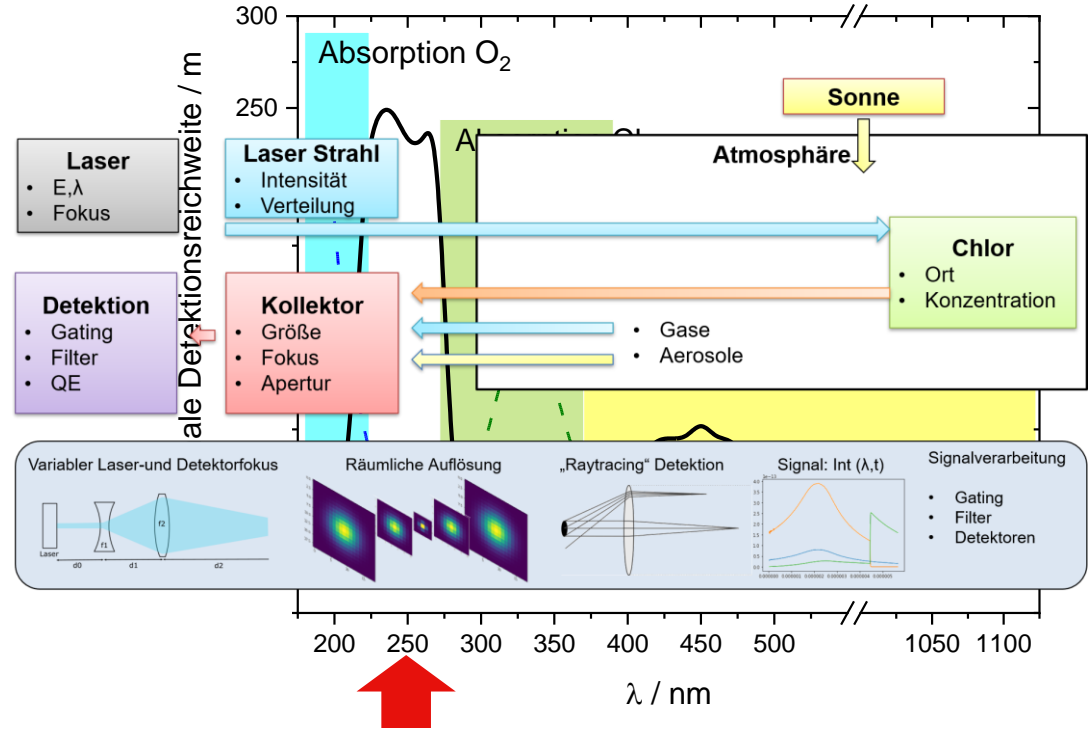
- Zeitlicher Ausschnitt (Distanz)
- Zeitliche Ausschnittsgröße (Wolkentiefe)
- UV:  $0.1 < QE < 0.3$ , IR:  $QE = 0.3$

## Bandpass Filter auf Cl<sub>2</sub>-Raman Bande

- Filterkante 1 nm
- $T_{\text{pass}} = 0.95$
- $T_{\text{block}} = 1 \cdot 10^{-6}$

## Nachweisgrenze

- > 10 Signal-Photonen detektiert
- Ratio Signal- / Hintergrund-Photonen > 2



# VOM MODELL IN DIE PRAXIS

## Chlorwolke

- 10 m Tiefe
- 1000 ppm Cl<sub>2</sub>

## Laser

- Einzelpuls, 0.1 J Pulsenergie
- Linienbreite 0

## Detektor

- Zeitlicher Ausschnitt (Distanz)
- Zeitliche Ausschnittsgröße (Wolkentiefe)
- UV:  $0.1 < QE < 0.3$ , IR:  $QE = 0.3$

## Bandpass Filter auf Cl<sub>2</sub>-Raman Bande

- Filterkante 1 nm
- $T_{\text{pass}} = 0.95$
- $T_{\text{block}} = 1 \cdot 10^{-6}$

## Nachweisgrenze

- > 10 Signal-Photonen detektiert
- Ratio Signal- / Hintergrund-Photonen > 2

## Messzelle

- 1 m Länge
- Variable Füllung (10 %)

## Laser

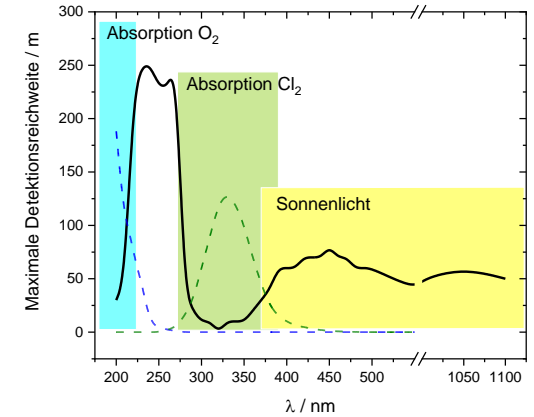
266 nm, 0.7 ns, 0.01 J, 100 Hz  
Linienbreite < 1 nm

## Detektor: PMT

- Anstiegszeit 0.57 ns
- QE(266 nm) 0.25

## Langpass Kantenfilter

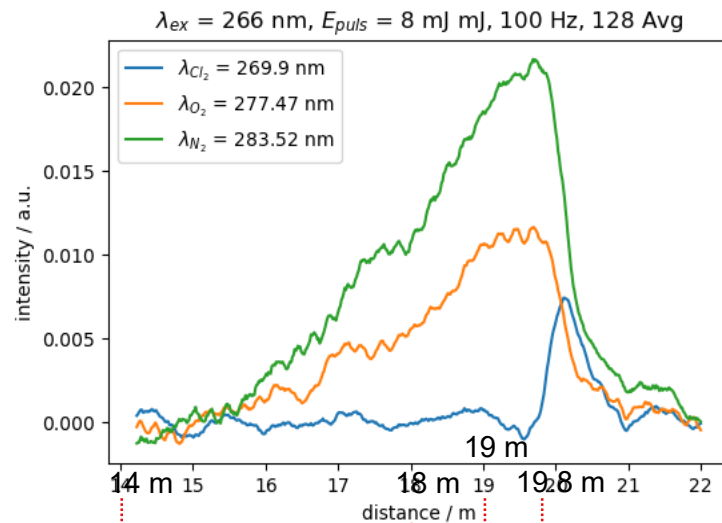
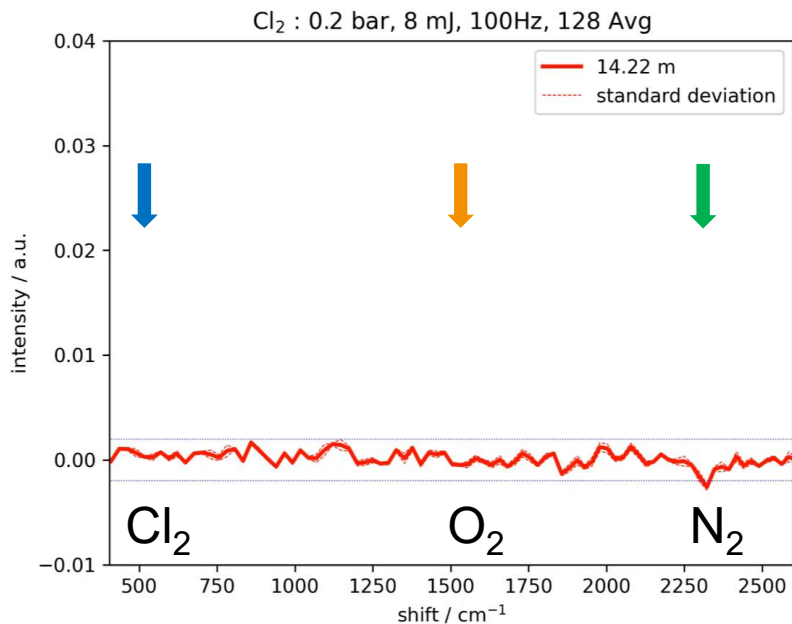
- Filterkante 2 nm
- $T_{\text{pass}} = 0.72$
- $T_{\text{block}} = 1 \cdot 10^{-4.3}$
- Spektrometer



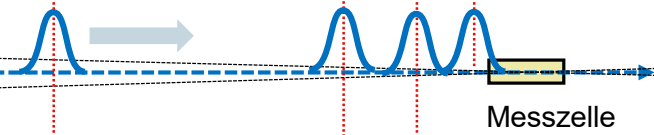
# VOM MODELL IN DIE PRAXIS - LASER FREISTRALHSTRECKE (DLR)



# VOM MODELL IN DIE PRAXIS - DETEKTION



Detektor



Messzelle

# REICHWEITE UND NACHWEISGRENZE CHLORDETEKTION

## Messdauer

- Dynamische Situation

## Laserleistung

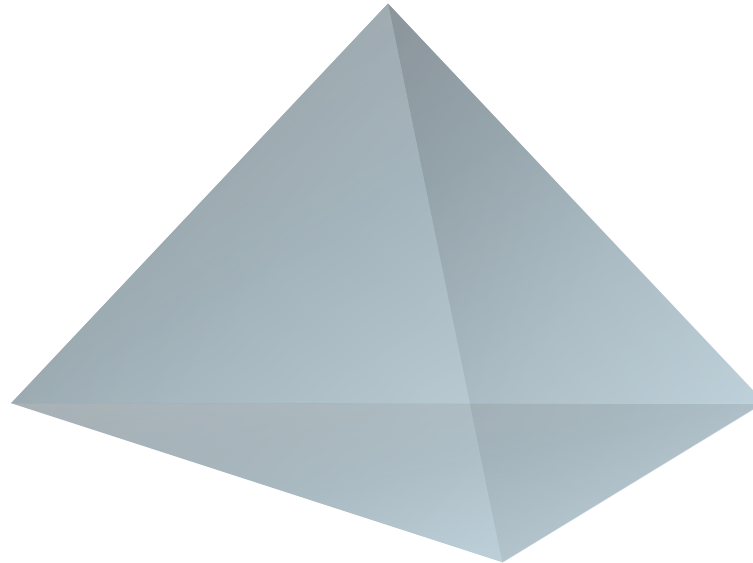
- Augensicherheit
- Verfügbarkeit

## Reichweite

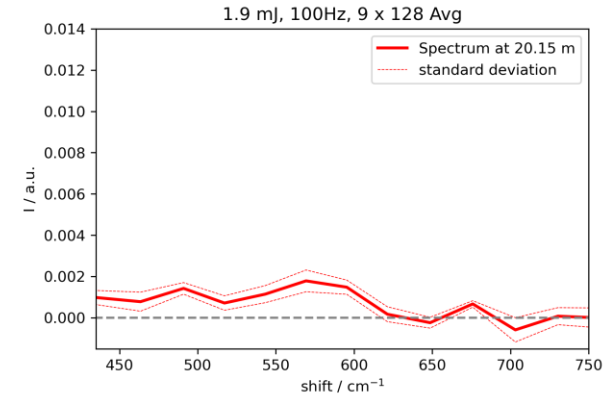
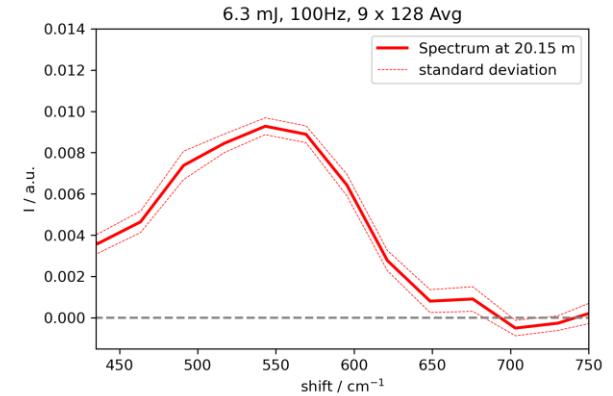
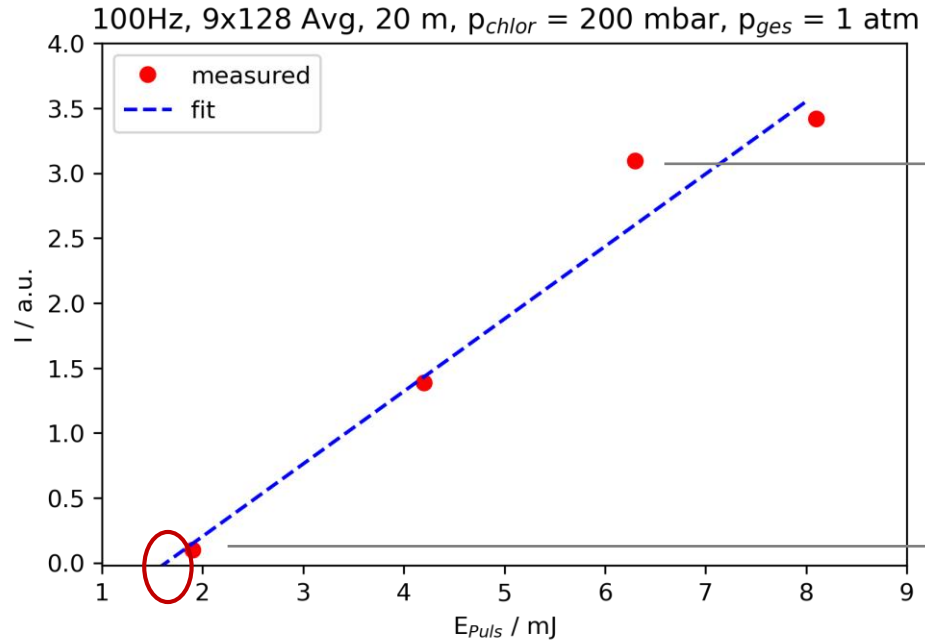
- Ferndetektion

## Nachweisgrenze

- 0.5 – 1 % akut toxisch

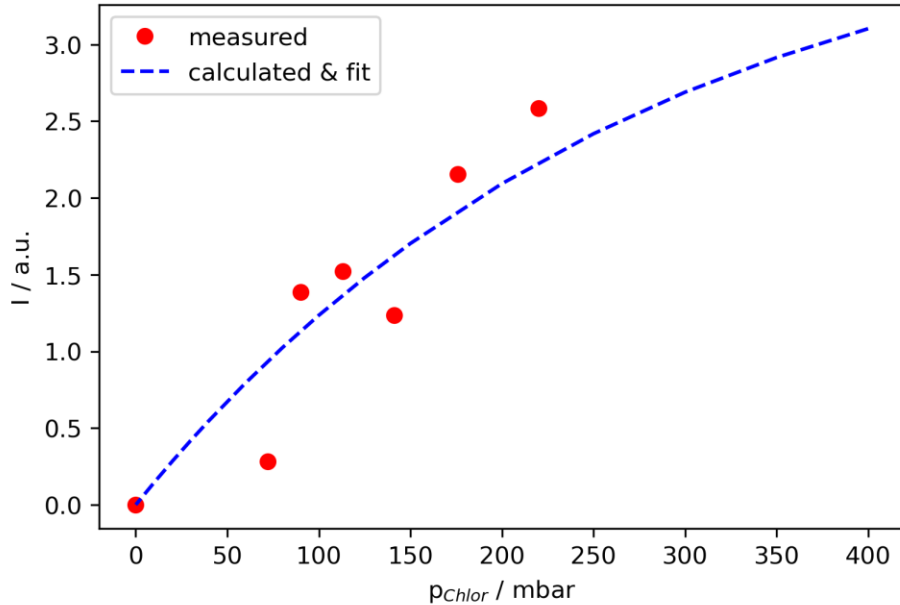


# LASERINTENSITÄT

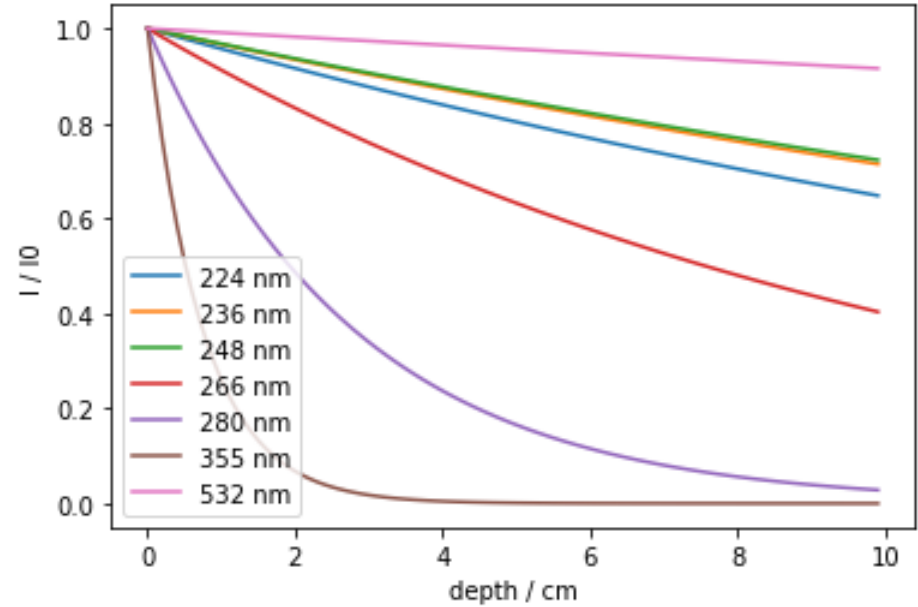


# KONZENTRATION

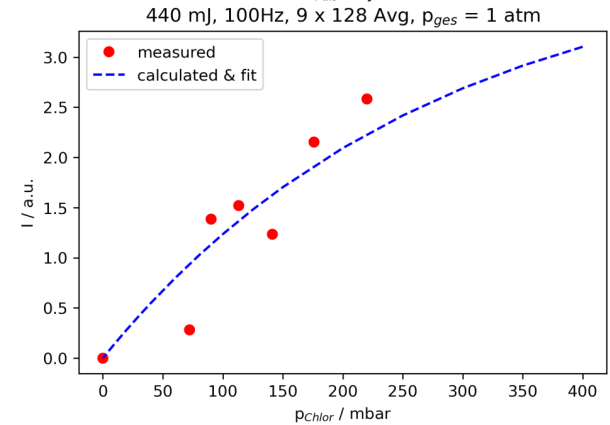
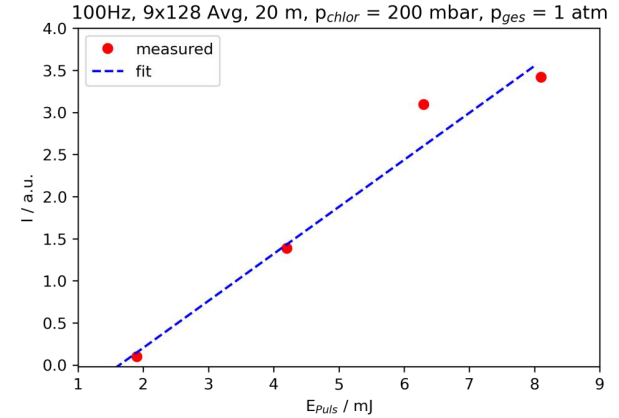
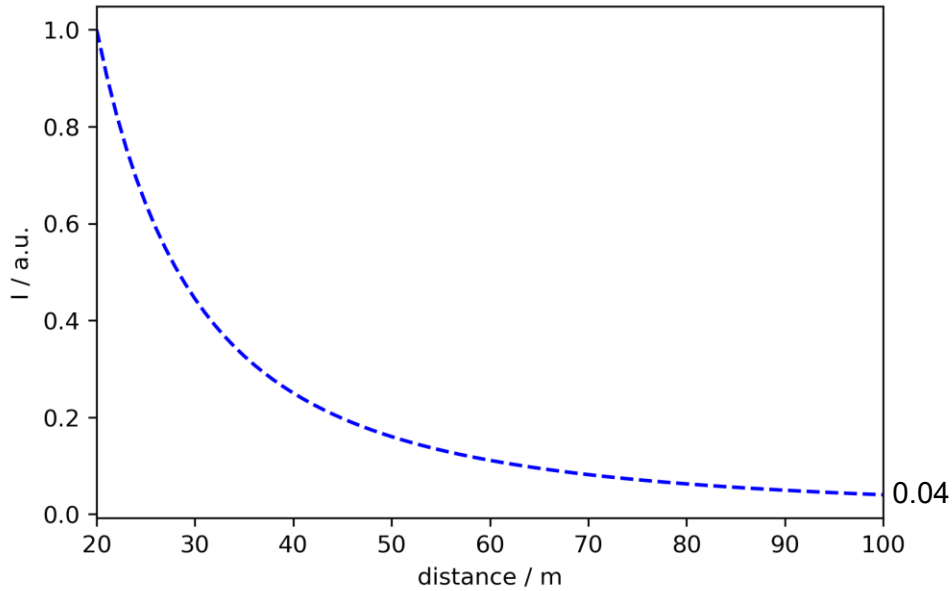
440 mJ, 100Hz, 9 x 128 Avg,  $p_{ges} = 1 \text{ atm}$



Signal strength in standoff-setup, chlorine mole fraction 0.2



# REICHWEITE



# AUSBLICK CHLORDETEKTION

**Messdauer**

1.1 s / 10 s

**Laserleistung**

8 mJ

bis 10 mJ

**Reichweite**

20 m

bis 120 m

**Nachweisgrenze**

7 - 22 %

1 - 100 %

Längere Zelle

