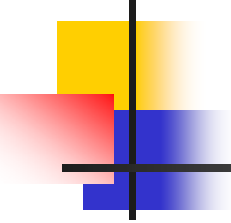


LIDAR

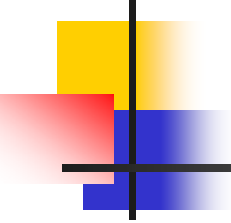
Seminarvortrag Planetarische Grenzschicht

von Christopher Kadow



Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité



Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité

Definition

[Artikel](#)[Diskussion](#)[Seite bearbeiten](#)[Versionen/Autoren](#)

Lidar

Lidar steht für "light detection and ranging" und ist eine dem [Radar](#) ("radiowave detection and ranging") sehr verwandte Methode zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung [atmosphärischer](#) Parameter. Statt [Funkwellen](#) wie beim RADAR werden jedoch [Laserstrahlen](#) verwendet.

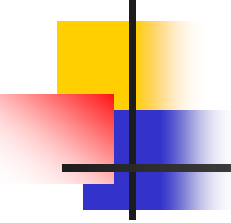
Definition

[Artikel](#)[Diskussion](#)[Seite bearbeiten](#)[Versionen/Autoren](#)

Lidar

Lidar steht für "light detection and ranging" und ist eine dem **Radar** ("radiowave detection and ranging") sehr verwandte Methode zur Entfernungs- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter. Statt **Funkwellen** wie beim RADAR werden jedoch **Laserstrahlen** verwendet.





Definition

- „LIght D etection A nd Ranging“
- Messungen: wenige Meter bis in die Stratosphäre
- Wellenlängenbereich: UV – Infrarot
- Das an Aerosolen und Luftmolekülen gestreute Licht wird detektiert
 - Erzeugung von atmosphärischen Rückstreuprofilen
 - Aufschluss über physikalische Eigenschaften und Aerosolkonzentrationen

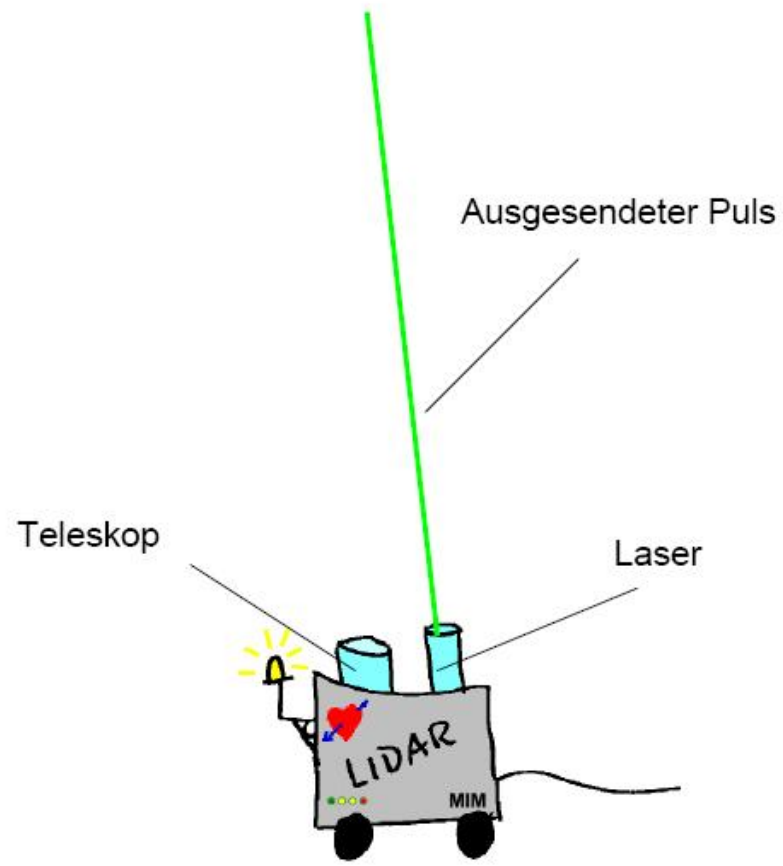
Definition

Teleskop

Laser



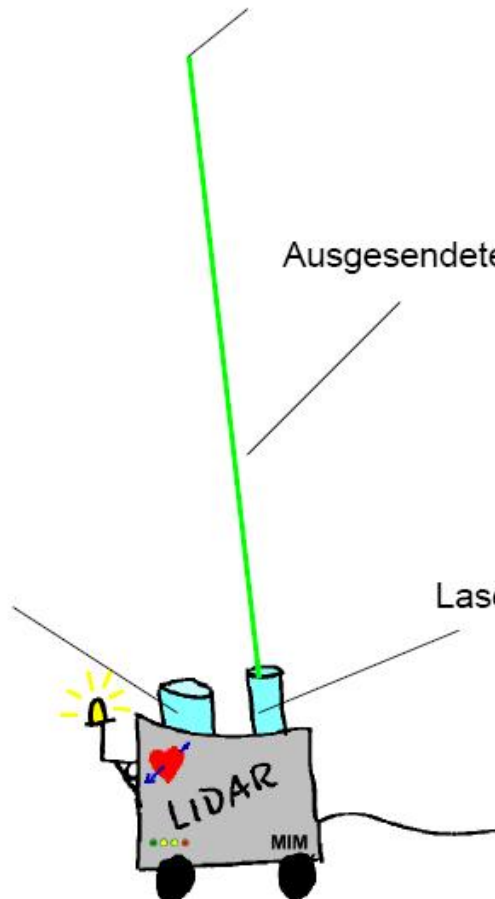
Definition



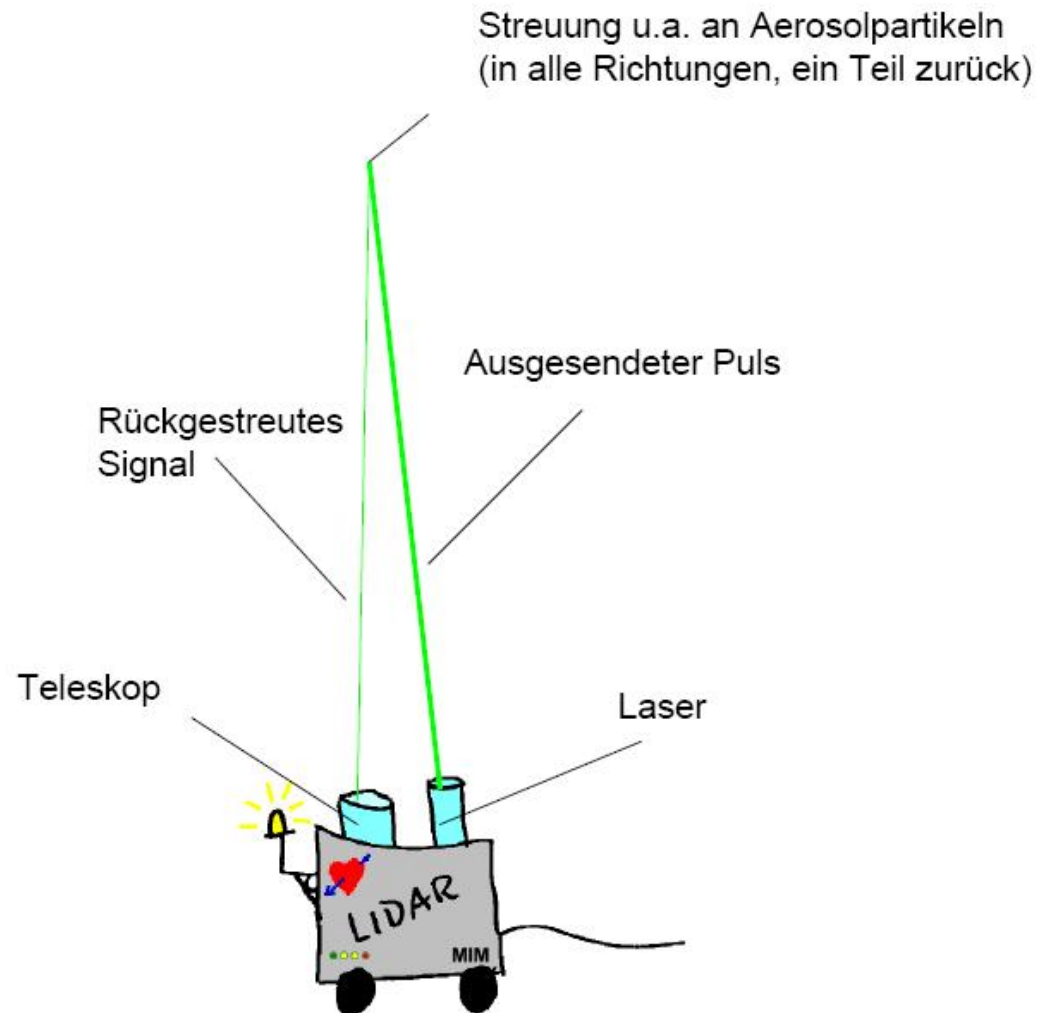
THEIR OWNERSHIP

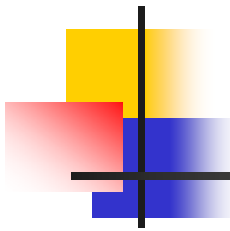
Ausgesendeter Puls

Laser



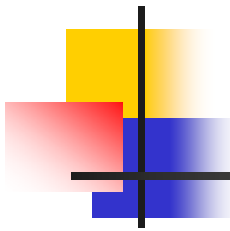
Definition





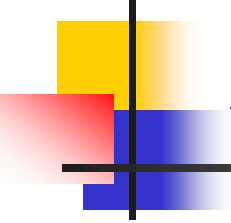
Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité



Aerosole

- Aerosole sind luftgetragene Partikel, festem oder flüssigem Aggregatzustands
- Fördern durch Wasseranlagerung Wolkenbildung
- Es gibt natürliche und anthropogene Aerosolquellen
 - Natürlich: naturverursacht (Vulkane, etc)
 - Anthropogen: industriellverursacht (Ruß, Staub, etc)
- Beeinflussen das Klima über Veränderung des Strahlungshaushalts durch Wolkenbildung
- troposphärische Aerosolkonzentration nimmt mit der Höhe ab
 - Also: höchste Konzentration in der pl. Grenzschicht

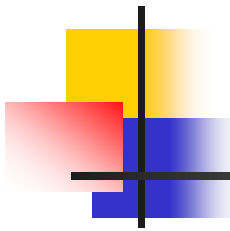


Aerosole

Globale Aerosolquellen (Tg p.a.)

Natürliche Quellen		Anthropogene Quellen	
Primär		Primär	
Meersalz	1000	Abbrennen von Feldern	100
Mineralstaub	500	Industrieprozesse	56
Biogene Emission	50	Diverse Quellen	31
Waldbrände	35	Stationäre Quellen	3
Vulkanismus	25	Verkehr	2
Meteorstaub	10		
Sekundär		Sekundär	
Sulfate	245	Sulfate	220
Nitrate	75	Nitrate	40
Kohlenwasserstoffe	75	Kohlenwasserstoffe	15

Warneck P. (1988): Chemistry of the natural atmosphere. Int. Geophys. Series Vol. 41. Academic Press New York, London, Tokyo.



Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité

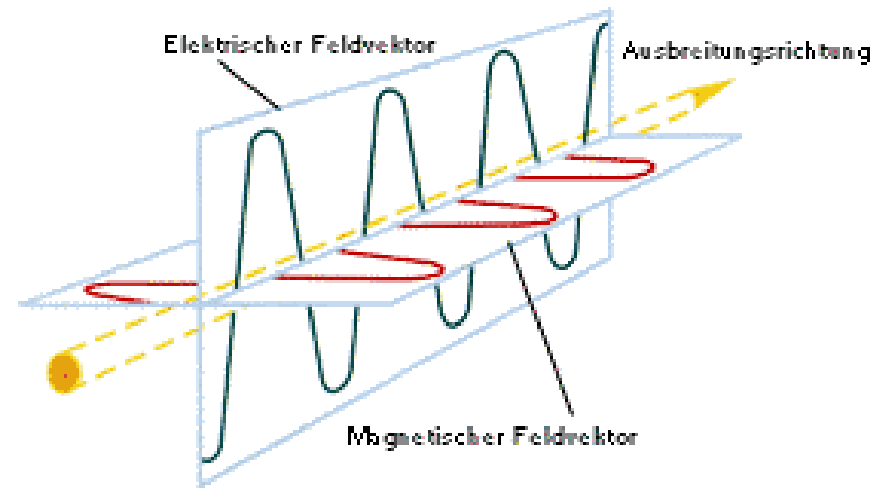
Eigenschaften des Lichts

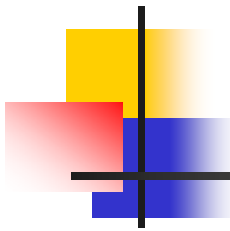
- Werden Partikel mit einer el.mag. Welle bestrahlt, so fangen die el. Ladungen in den Partikeln an zu oszillieren.

- Jene Osz. strahlt wieder el.mag. Wellen ab.

-> Dieser Prozess nennt sich Streuung

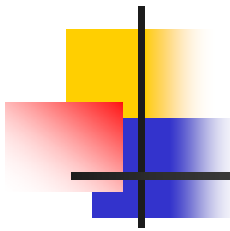
- Die Stärke der Streuung einfallenden Lichts hängt von der Art der Streuung, der Frequenz und der Streurichtung ab





Eigenschaften des Lichts

- Es gibt 2 Arten von Streuung
 - Elastische Streuung: Frequenzen des einfallenden und gestreuten Lichts stimmen überein
 - > Mie- und Rayleigh-Streuung
 - Inelastische Streuung: Frequenzen des einfallenden und gestreuten Lichts stimmen nicht überein
 - > Raman-Streuung
- Die physikalische Grundlage für das LIDAR ist die elastische Streuung (Mie und Rayleigh)
 - Lidartypen: Lidar, RamanLidar, DopplerLidar, Differential Absorption Lidar

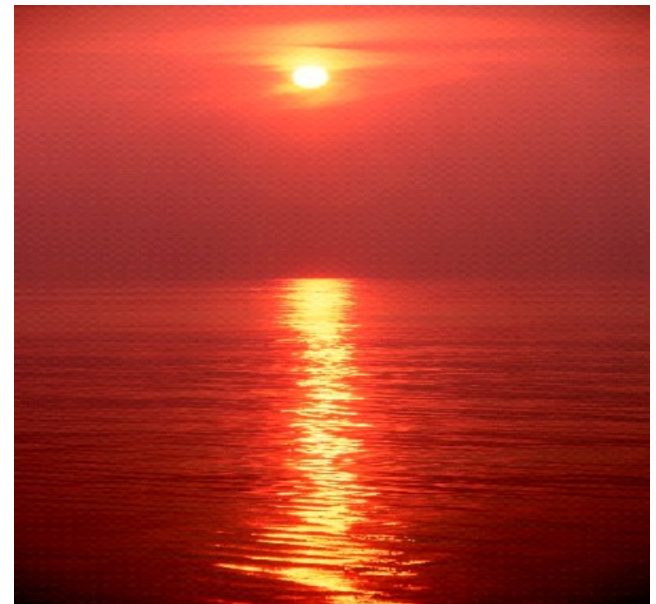


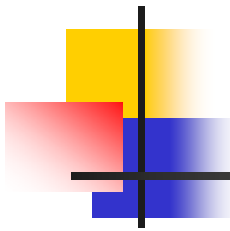
Eigenschaften des Lichts

- Mie Streuung beschreibt die Streuung für alle Partikelgrößen (Rayleigh: Spezialfall von Mie)
 - Teilchen sind groß gegenüber der Wellenlänge
- Rayleigh Streuung beschreibt die Streuung an Molekülen
 - Teilchen sind klein gegenüber der Wellenlänge
- Bei kleinen Partikeln entspricht die Mie Streuung der Rayleigh Streuung

Eigenschaften des Lichts

- Bei wolkenfreiem Himmel dominiert die Rayleigh Streuung
 - blaues Licht stärker gestreut als rotes Licht
- Bei vielen Aerosolteilchen in der Luft dominiert die Mie Streuung (Bsp: Vulkanausbruch, Sonnenunterg.)
 - Es kommt zur Interferenz des Lichts, was eine große Abhängigkeit der Intensität vom Streuwinkel zur Folge hat
- Bei Wolken dominiert die Streuung an den Wolkentropfen
 - Kaum Frequenzabhängigkeit
 - Alle Wellenlängen werden gleichstark gestreut -> weißes Streulicht



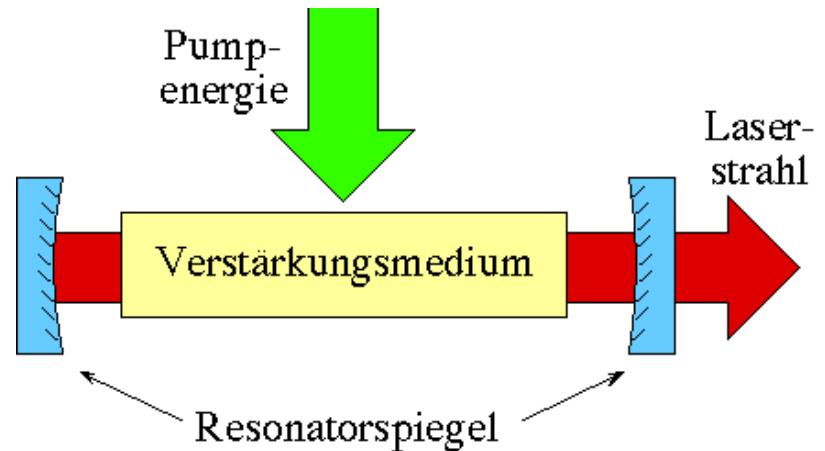


Gliederung

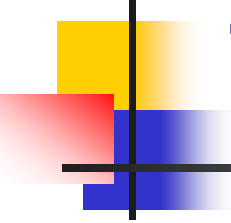
- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité

Technik des LIDARS

- Ein Laser besteht im wesentlichen aus einem Lasermedium und einer Energiepumpe, sowie Resonatorspiegel.



- wenn Licht ein Medium durchläuft, wird es durch Moleküle oder Atome absorbiert, d.h. die Photonenenergie wird in dem absorbiertem Teilchen in chemische Energie umgewandelt
- durch Absorption des Lichts bestimmter Wellenlänge, also bestimmter Energie, kann man auf die Moleküle oder Atome schließen, die sich auf der Lichtbahn befinden

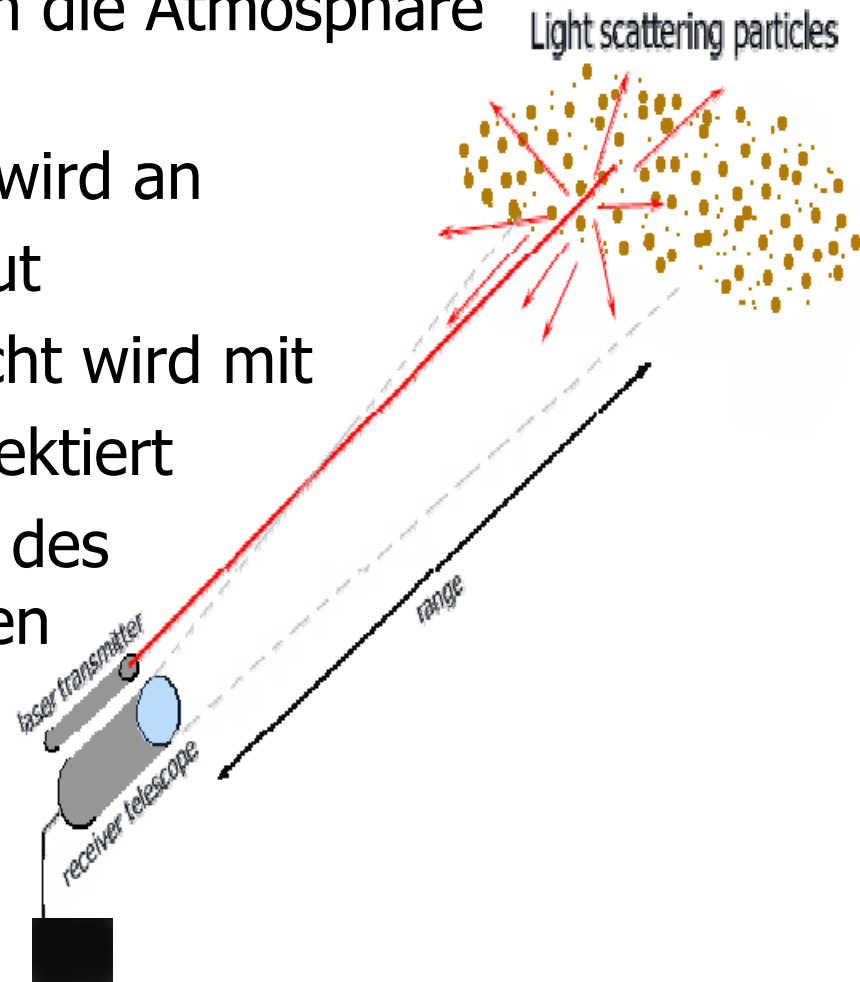


Technik des LIDARS

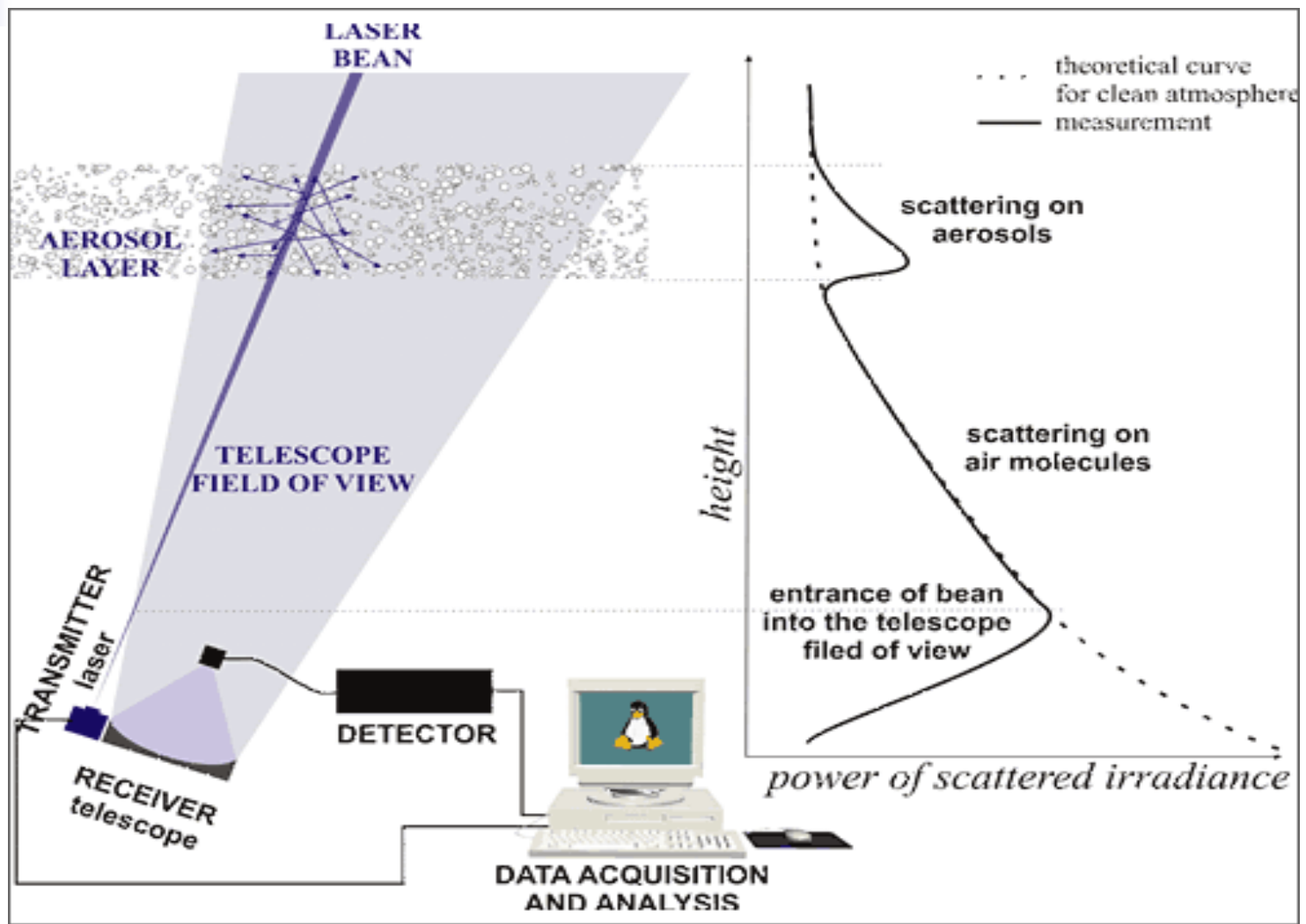
- Das Laserlicht entsteht im Lasermedium
- Um eine Verstärkung zu erzeugen muss es zur Besetzungsinversion kommen
 - Es müssen mehr Atome in einem höheren Niveau vorliegen, als im niedrigeren
- Damit dies erreicht wird, werden die Atome durch „Pumpen“ in einem angeregten Zustand gebracht
 - zB durch Blitzlampen
- Das Laserlicht durchläuft das Lasermedium mehrfach und wird zwischen den Reflektorspiegeln reflektiert bis es schließlich austritt

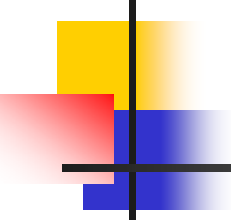
Technik des LIDARS

- Gepulste Laserstrahlen werden in die Atmosphäre gesendet
- Das vertikal ausgesendete Licht wird an Molekülen und Aerosolen gestreut
- Jenes direkt zurück gestreute Licht wird mit einem parabolischen Spiegel detektiert
- Über ein Faser wird die Leistung des zurückgestreuten Lichts gemessen



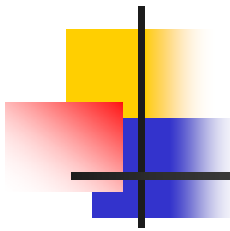
Technik des LIDARS





Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité

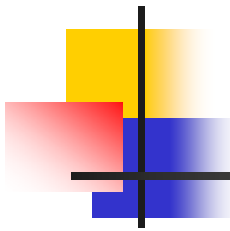


LIDAR Gleichung

- Die Leistung $P(R)$ des rückgestreuten Lichts bei fester Wellenlänge ist gegeben durch die so genannte Lidar-Gleichung:

$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

- Die empfangene Leistung $P(R)$ ist abhängig von 4 Größen, die folgendermaßen charakterisiert sind.

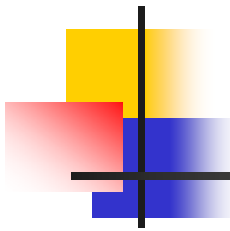


LIDAR Gleichung

$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

- K – Systemkonstante
 - Unter der Annahme P_0 sei die durchschnittliche Leistung eines einzigen Laserpulses und τ die zeitliche Pulslänge, ergibt sich die Pulsenergie zu $E_0 = P_0 \tau$.
 - $\Delta R = (c\tau)/2$ ist die effektive Pulslänge.
 - A sei die Fläche der primären Empfangsoptik und
 - η die gesamte Systemeffizienz (optische Transmission von Sender und Empfänger sowie Detektionseffizienz)
- K ist damit eine experimentell regulierbare Größe in der Form:

$$K = P_0 \frac{c\tau}{2} A \eta .$$

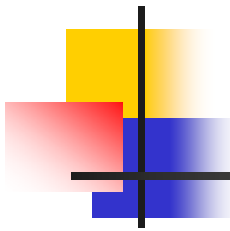


LIDAR Gleichung

$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

- G(R)- Entfernungabhängige Messgeometrie
 - O(R) Überlappungsfunktion von Laserstrahl und Empfänger-Gesichtsfeld und
 - den Term R^2 Empfangsfläche einer Kugelfläche mit dem Radius R in dieser Entfernung vom Streuort.
- G ist damit eine experimentell regulierbare Größe der Form:

$$G(R) = \frac{O(R)}{R^2}$$



LIDAR Gleichung

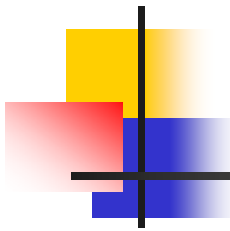
$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

- $\beta(R)$ - Rückstreukoeffizient
 - Ist N_j die Konzentration der streuenden Partikel der Sorte j und $d\sigma(\pi, \lambda)/d\Omega$ der differentielle Rückstreuquerschnitt der Partikel, ergibt sich der Rückstreukoeffizient als Summe über alle Streuer j :

$$\beta(R, \lambda) = \sum_j N_j(R) \frac{d\sigma_{j, sca}}{d\Omega}(\pi, \lambda)$$

- In der Atmosphäre wird das Laserlicht von Luftmolekülen sowie von Partikeln gestreut.

$$\beta(R, \lambda) = \beta_{\text{mol}}(R, \lambda) + \beta_{\text{aer}}(R, \lambda)$$



LIDAR Gleichung

$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

■ T(R) - Transmissionsterm

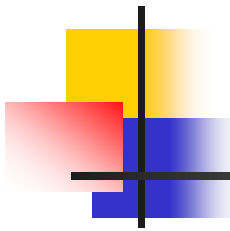
- Der Teil des Lichts, der auf dem Weg vom Lidar zum Streuvolumen und zurück verloren geht.

$$T(R, \lambda) = \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right]$$

- Das Integral beschreibt dabei den Weg vom Lidar zum Ort der Rückstreuung R .
- Der Faktor 2 steht für den Hin- und Rückweg.

- Der Extinktionskoeffizient $\alpha(R, \lambda)$ wird als ein Produkt aus Konzentration und Extinktionsquerschnitt σ für jeden Typ von Streuer in dieser Form gebildet:

$$\alpha(R, \lambda) = \sum_j N_j(R) \sigma_{j,\text{ext}}(\lambda)$$



LIDAR Gleichung

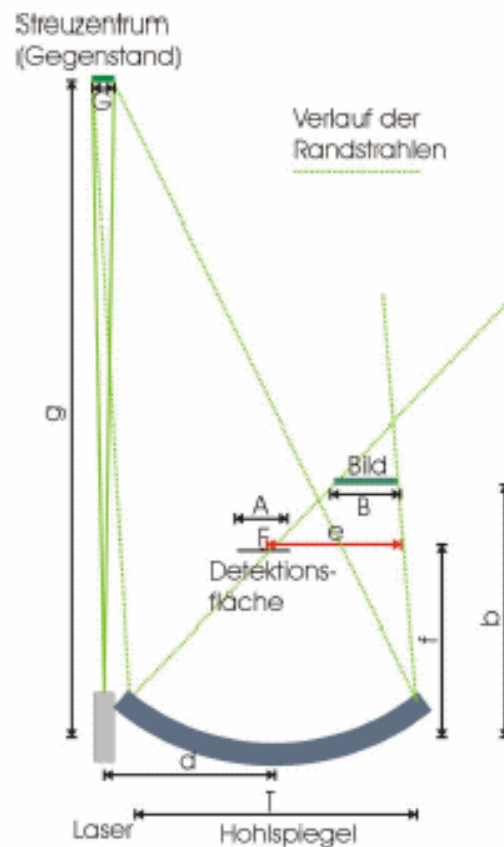
$$P(R) = K G(R) \beta(R) T(R)$$

- Somit ergibt sich nach einsetzen der einzelnen Parameter die LIDAR Gleichung:

$$P(R, \lambda) = P_0 \frac{c\tau}{2} A\eta \frac{O(R)}{R^2} \beta(R, \lambda) \exp \left[-2 \int_0^R \alpha(r, \lambda) dr \right]$$

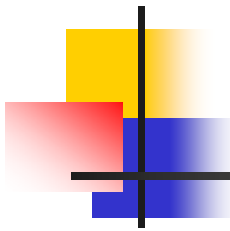
LIDAR Gleichung

- $O(R)$ berücksichtigt, dass das bestrahlte Volumenelement der Luft bei kleinen Entfernungen nicht vollständig vom Teleskop auf dem Faser abgebildet wird
- → gesamtes gestreutes Licht gelangt nicht in Detektionsoptik
- → $O(R)$ ist das Verhältnis von P auf Teleskop und P die tatsächlich detektiert wird



- g := Gegenstandsweite (Abstand zum Streuzentrum)
- d := Abstand zwischen den Mittelpunkten des Lasers und des Hohlspiegels
- A := Durchmesser der Detektionsfläche
- B := Bildgröße
- G := Gegenstandsgröße
- E := Durchmesser des Bildes in der Fokalebene
- f := Brennweite
- b := Bildweite
- T := Durchmesser des Teleskops

Abb. 3.2.3: Darstellung der Abbildung des Streuzentrums am Hohlspiegel zur Veranschaulichung der geometrischen Kompression bei Lidar-Systemen.



LIDAR Gleichung

- Empfang des Streulichtes ist optimal, wenn das auf das Teleskop treffende Streulicht auf die Stirnfläche des Fasers in der Fokalebene abgebildet wird
- →erst ab bestimmter Entfernung wird gesamtes auf Teleskop treffendes Licht auf die Stirnfläche des Fasers reflektiert
- EINSCHUB DES LIDARKURSES DER UNI MÜNCHEN

LIDAR Gleichung

Geometrie einer
Lidar-Messung



Nicht
massstabsgetreu!

LIDAR Gleichung

Laser: beleuchtetes Volumen

Geometrie einer
Lidar-Messung



Nicht
massstabsgetreu!

LIDAR Gleichung

Teleskop: sichtbares Volumen

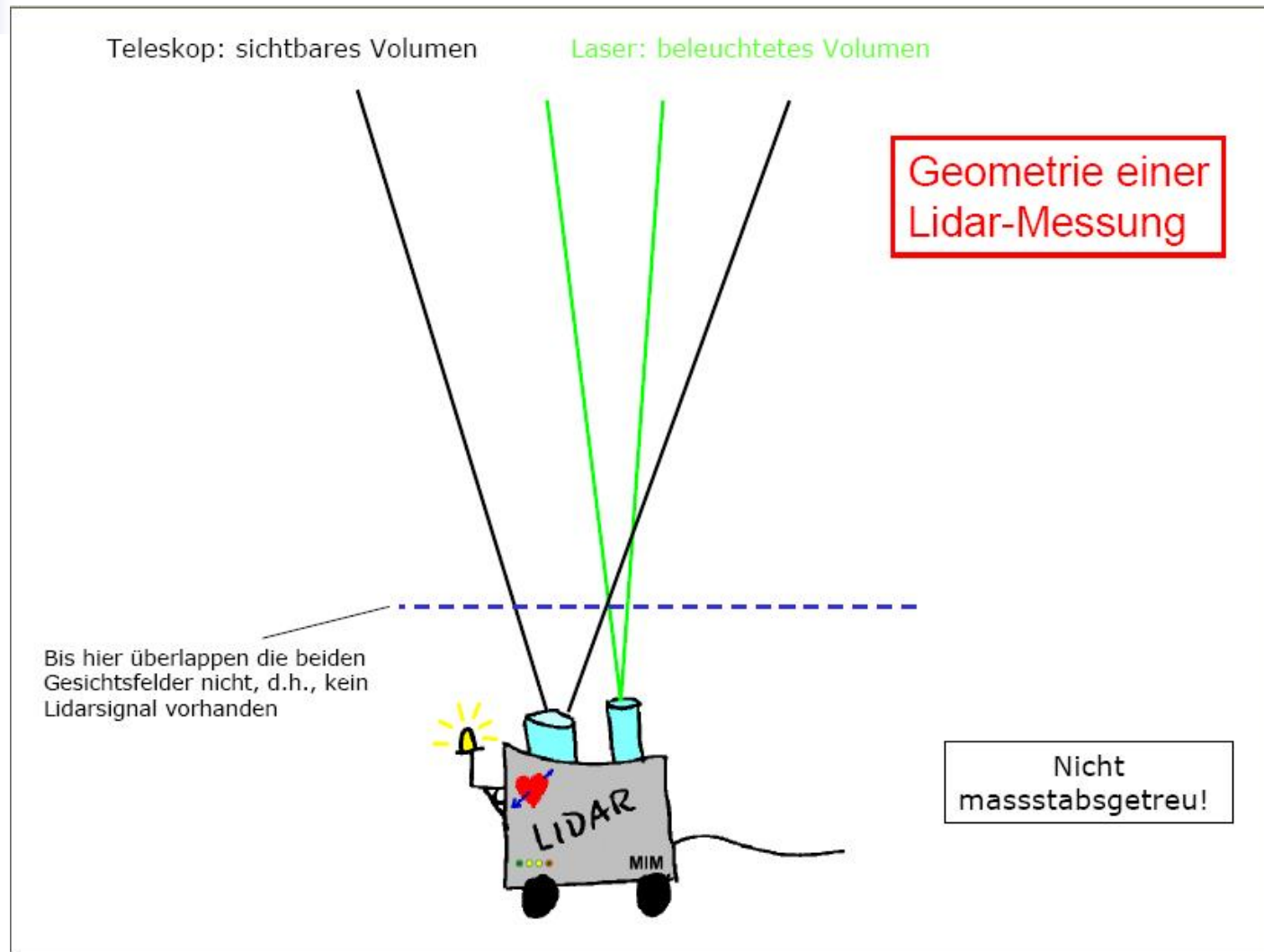
Laser: beleuchtetes Volumen

Geometrie einer
Lidar-Messung

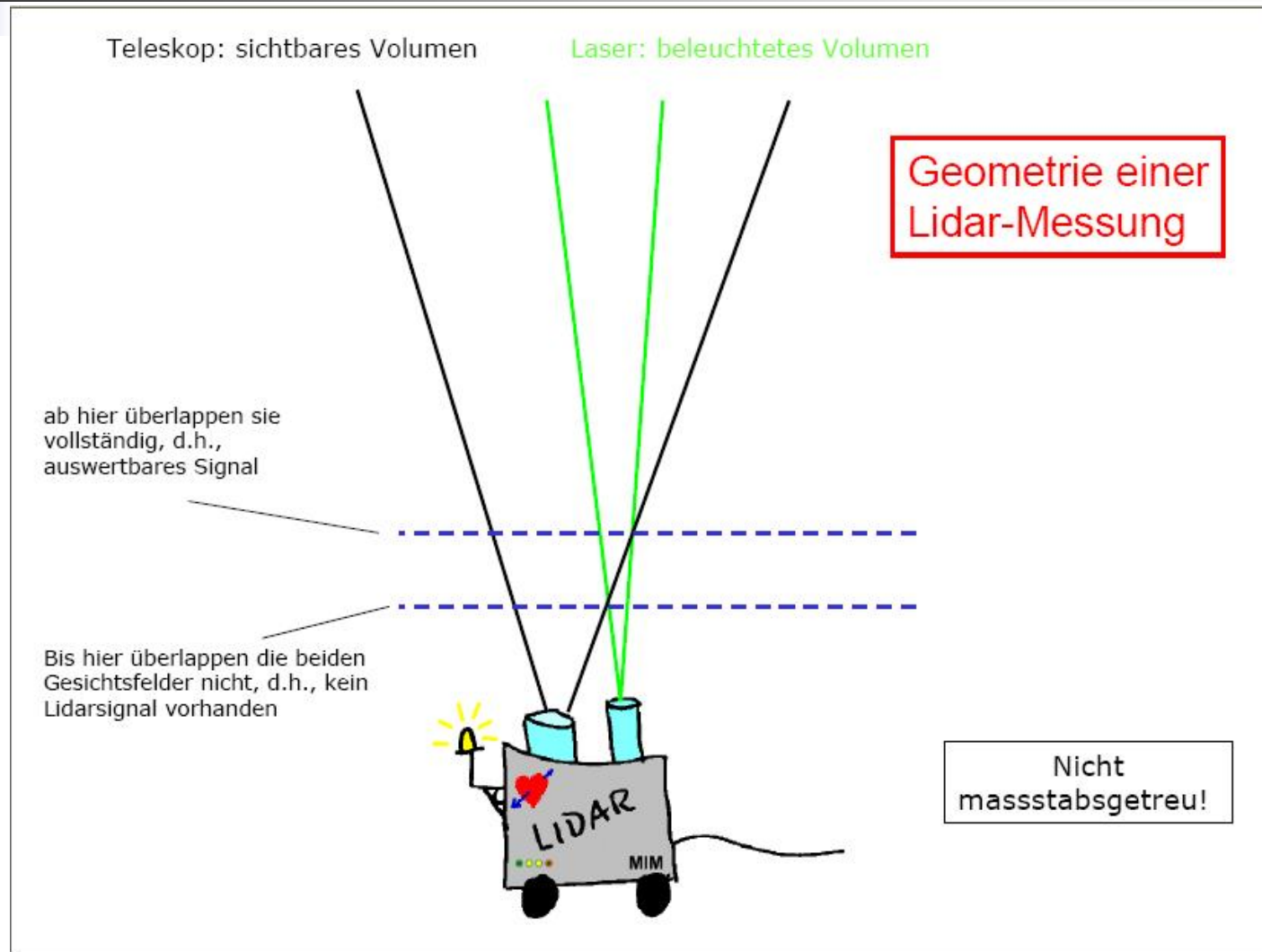


Nicht
massstabsgetreu!

LIDAR Gleichung



LIDAR Gleichung



LIDAR Gleichung

- $O(R)$ berücksichtigt die Überlappung zwischen Anfang der Detektion bis vollständiger Detektion

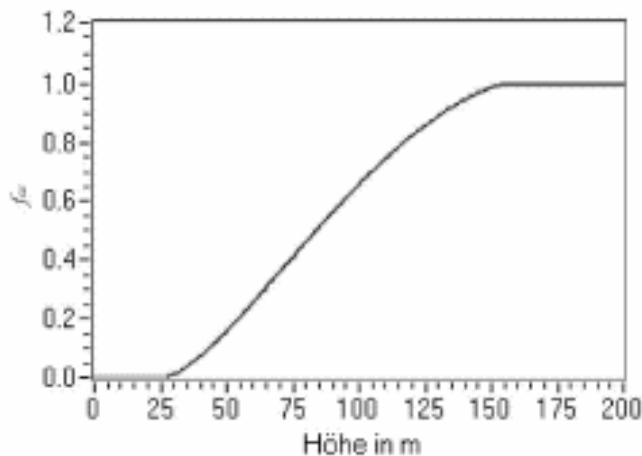


Abb. 3.3.1: Geometrischer Kompressionsfaktor f_{GK}

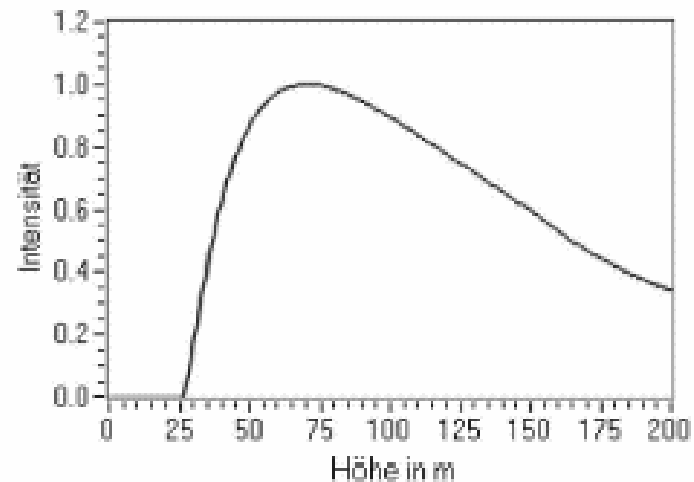
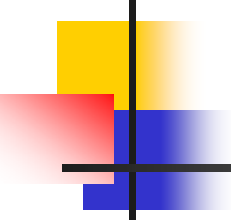
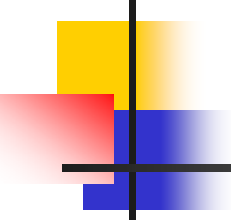


Abb. 3.3.2: Berechnetes Lidarsignal für reine Rayleigh-Streuung.



Gliederung

- 1. Definition
- 2. Aerosole in der Atmosphäre
- 3. Eigenschaften des Lichts
- 4. Die Technik des LIDARS
- 5. Die LIDAR-Gleichung
- 6. LIDAR auf dem Dach der Charité



LIDAR–Dach der Charité



- Im Lidarmessgerät befindet sich ein Neodym YAG Laser
 - dabei wird ein YAG – Kristall (Yttrium – Aluminium – Granat) mit Nd^{3+} - Ionen dotiert, von denen die Laserstrahlung erzeugt wird
 - hier wird die Anregung der Ionen durch pumpen mit einer Blitzlampe erreicht
 - frei werdende Energie wird als thermische Energie an den YAG–Kristall abgegeben
 - man erreicht sofort eine Besetzungsinversion

LIDAR–Dach der Charité



- Messsystem strahlt polarisiertes Licht der Wellenlängen 532nm und 355nm aus und zirkular polarisiertes Licht der Wellenlänge 1064nm
- Detektion geschieht für verschiedene Wellenlängen und nach der Polarisationsrichtung parallel und senkrecht zum ausgestrahlten Licht
 - →übriges auf Empfänger treffendes Licht wird durch Interferenzfilter herausgefiltert
- An der Avalanche Photo Diode und am Photomultiplier kann man den Strom messen, der proportional zur einfallenden Strahlungsleistung ist
 - →diese sind an den Transienten–Rekorder angeschlossen um Messreihen aufzuzeichnen

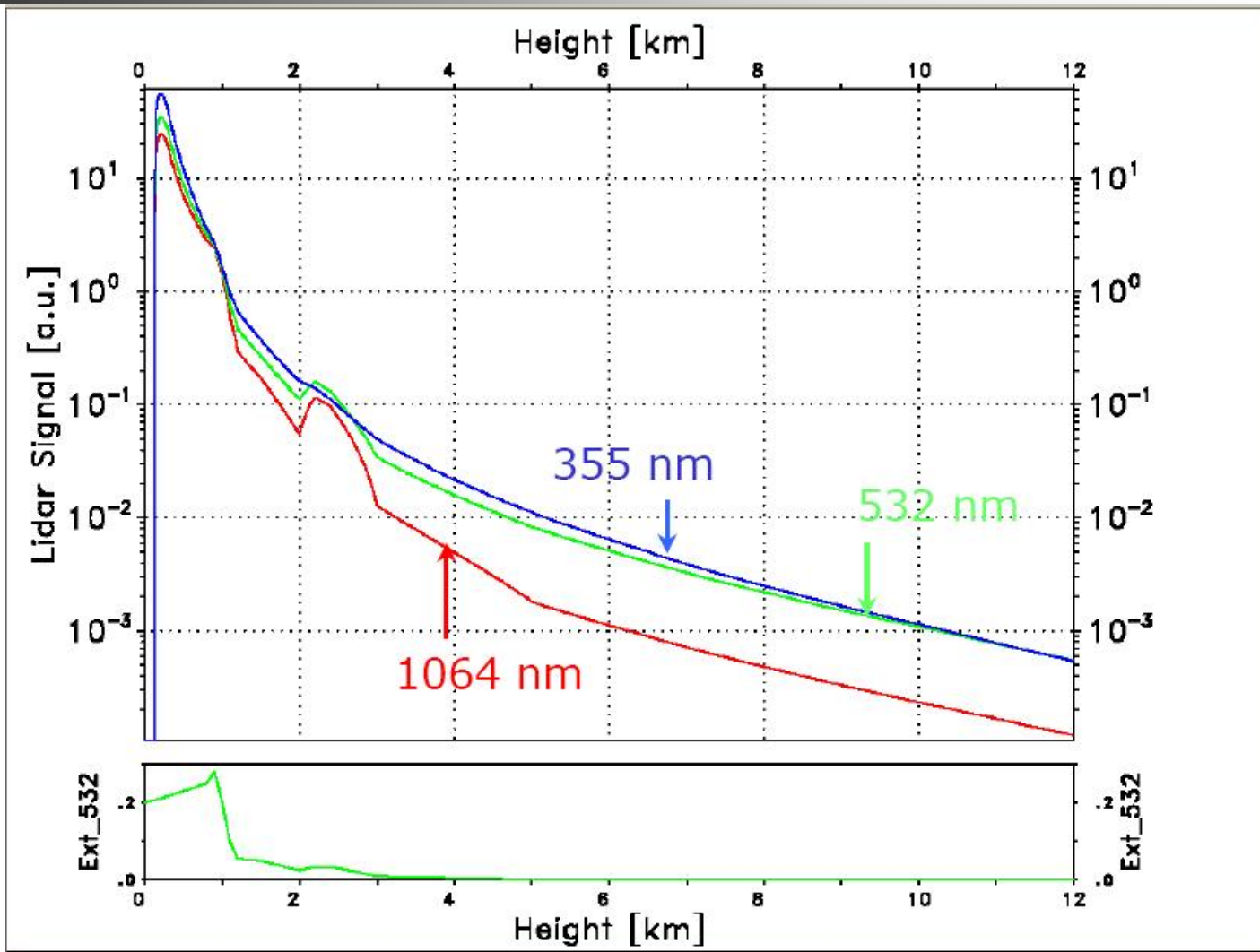
LIDAR–Dach der Charité



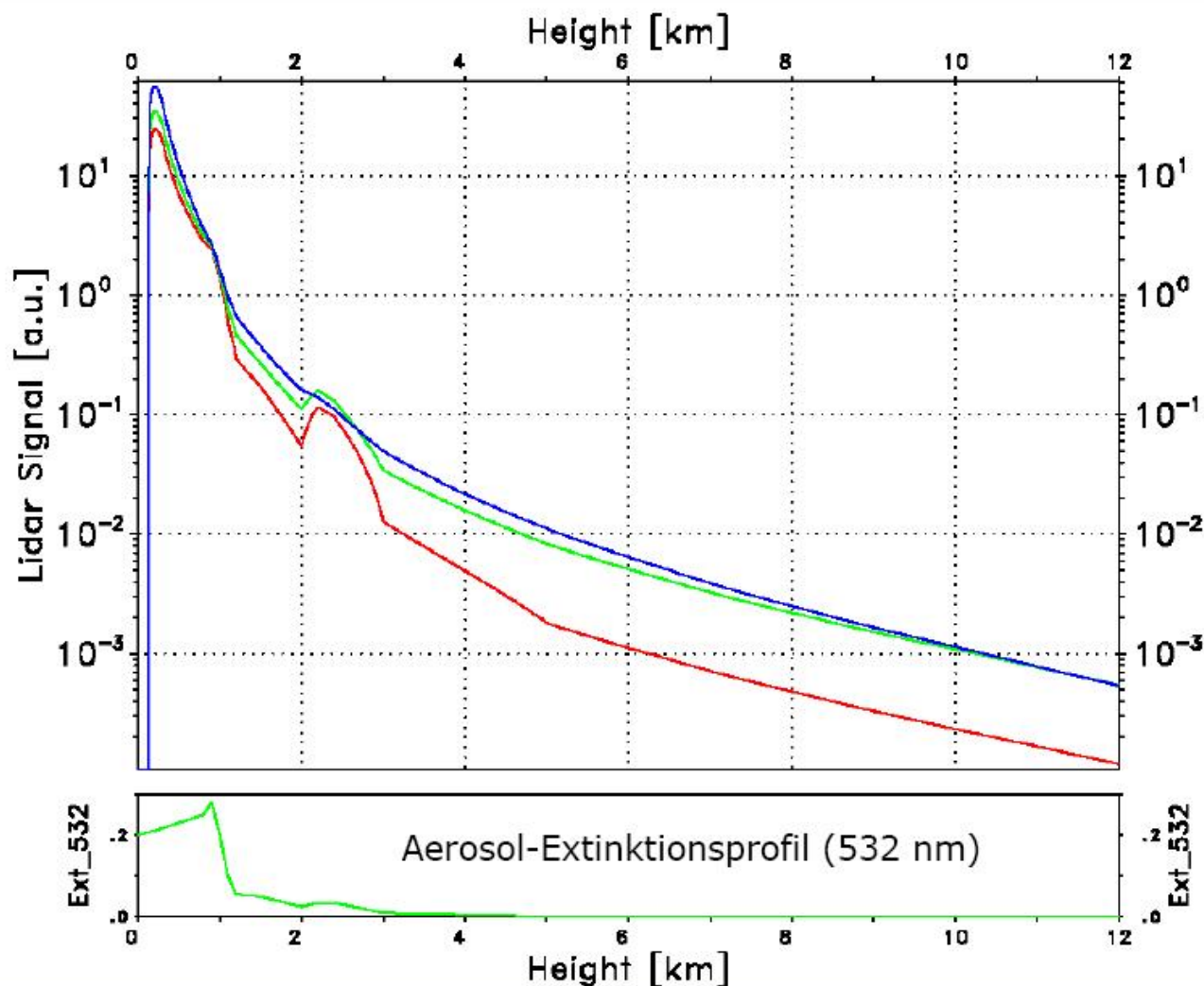
Tab. 3.5.1: Technische Daten des Lidar-Systems

Laser	Blitzlampengepumpter Nd:YAG, 30 Hz		
Wellenlänge	1064 <i>nm</i>	532 <i>nm</i>	355 <i>nm</i>
Polarisation	Zirkular	Linear	Linear
Pulsenergie	500 <i>mJ</i>	300 <i>mJ</i>	100 <i>mJ</i>
Teleskop	Ø 150 <i>mm</i> , Brennweite 900 <i>mm</i> , eingebauter Polarisator		
Faser	Ø 1 <i>mm</i> , Quartz		
Detektor	APD (EG&G)	PM (EMI) analog	PM (Hamamatsu) analog
Transienten-Rekorder	LICEL 20 <i>Mhz</i> , 12 bit		

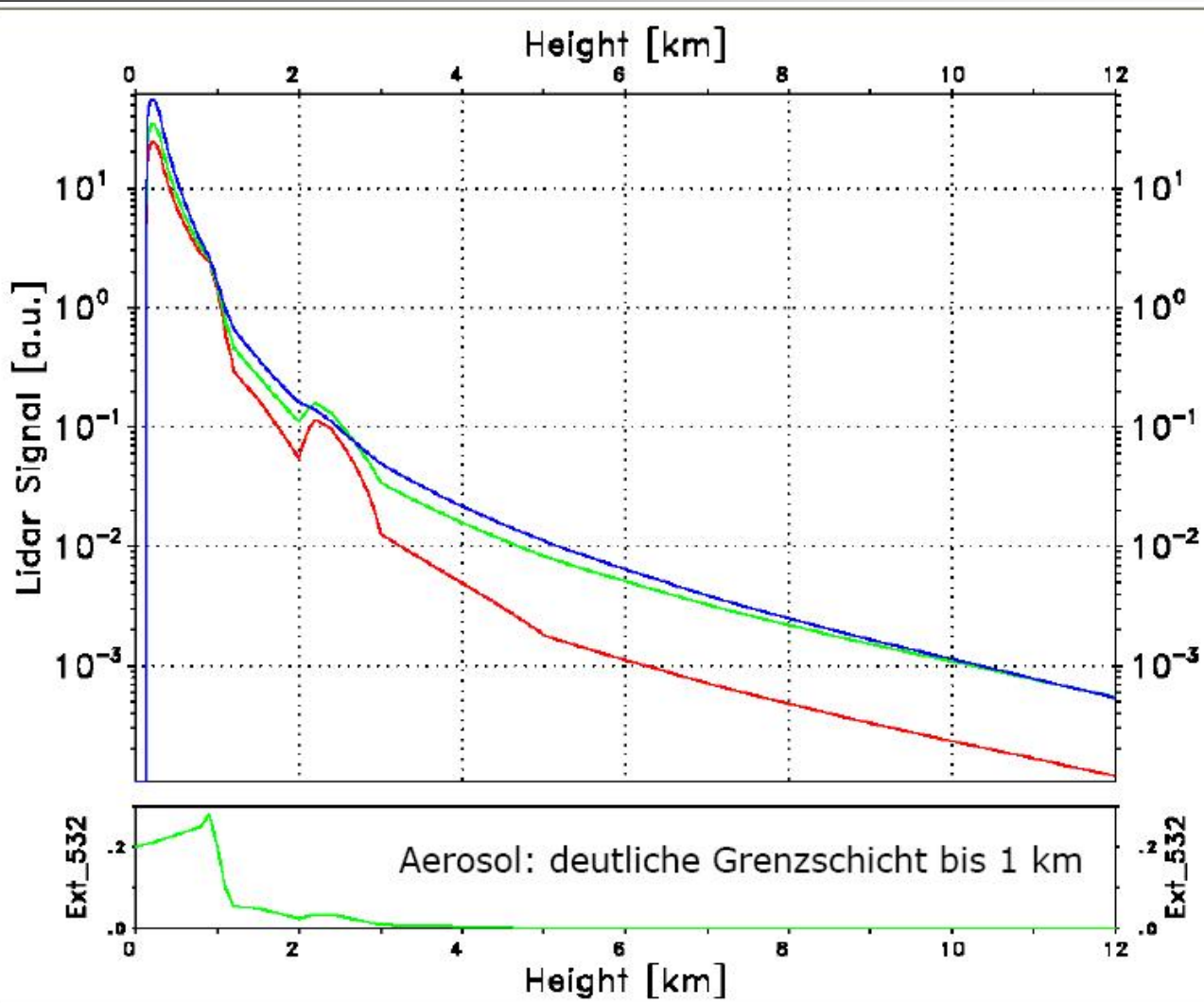
LIDAR–(Dach der Charité)



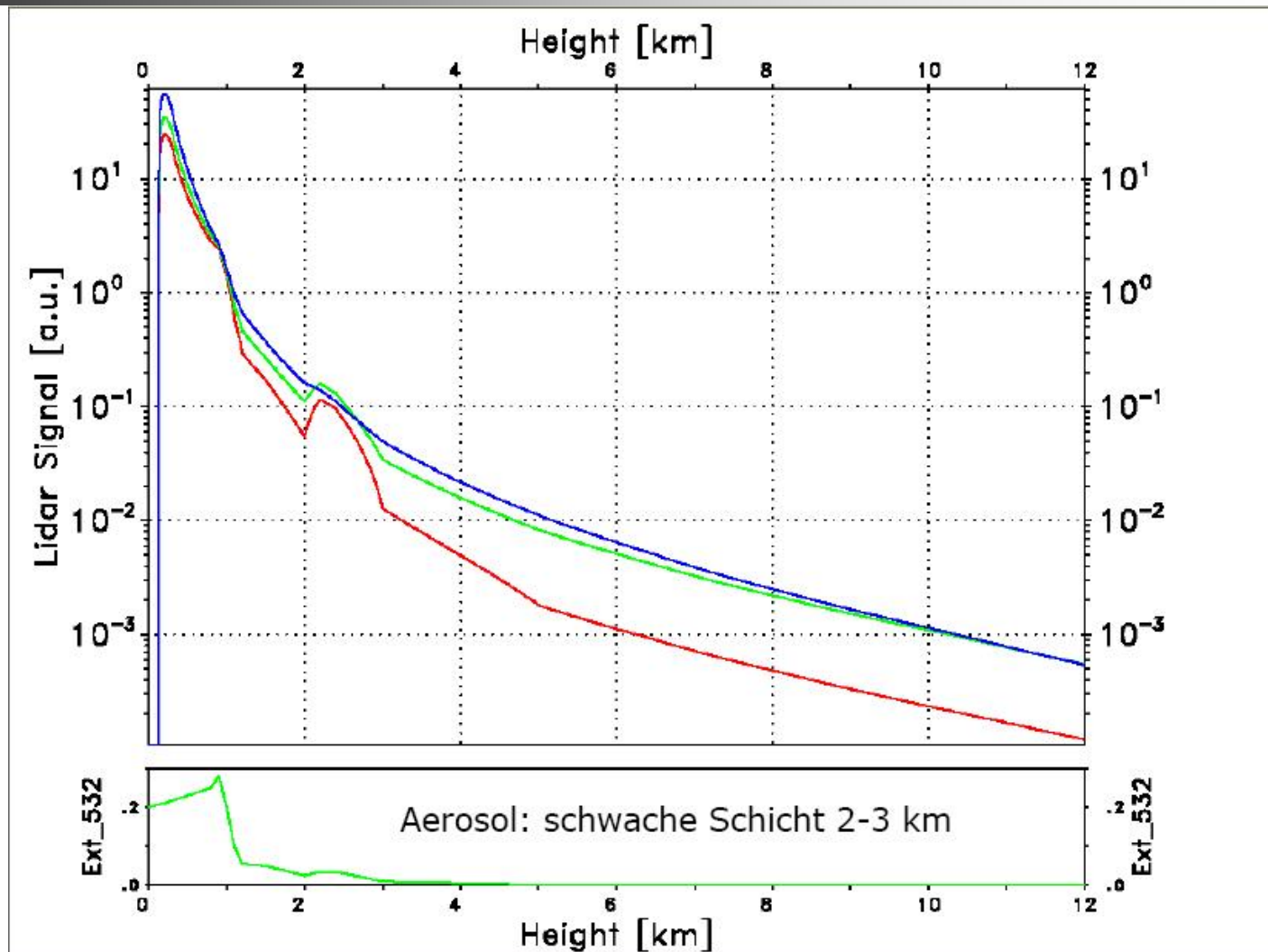
LIDAR-(Dach der Charité)



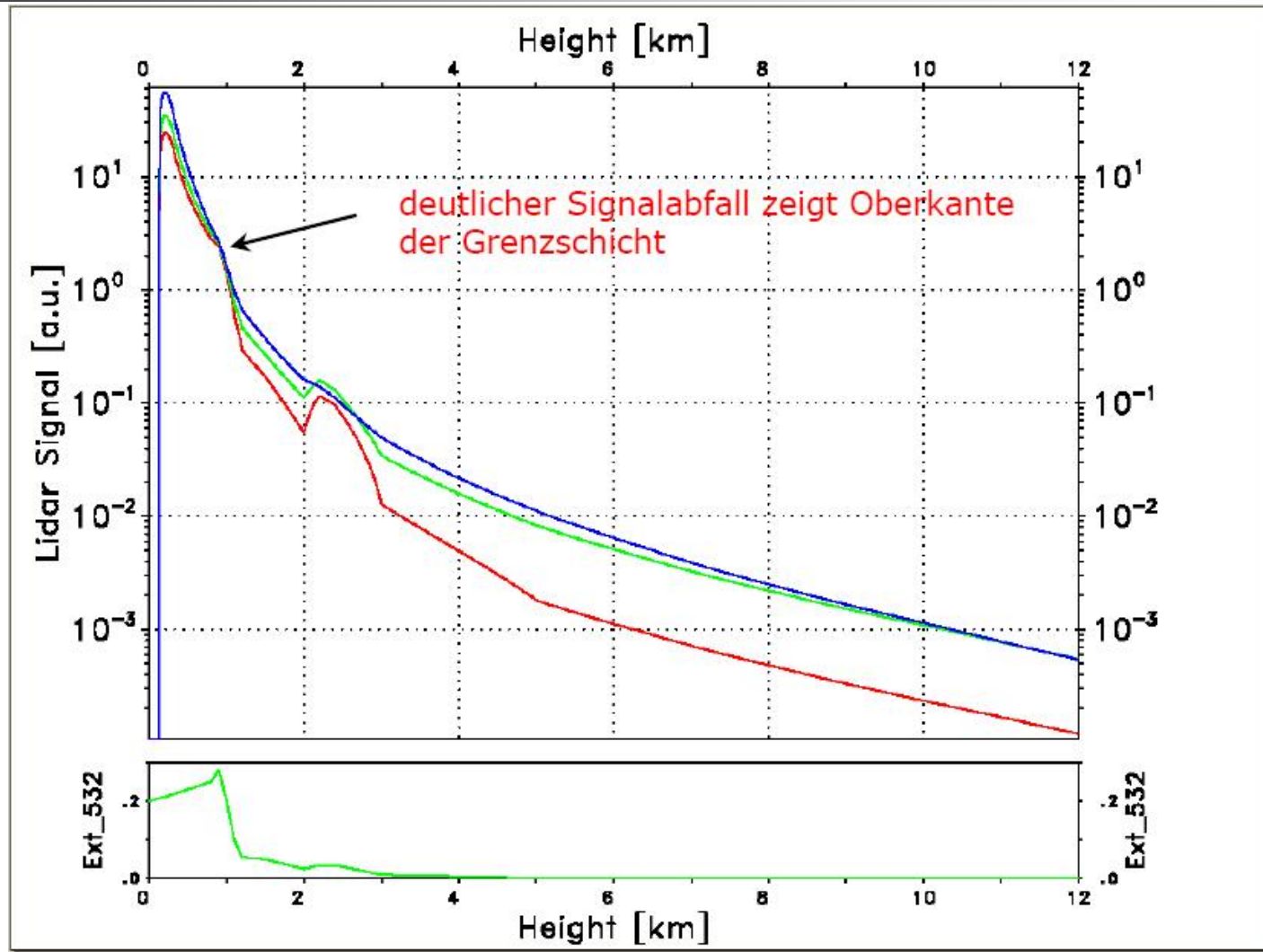
LIDAR-(Dach der Charité)



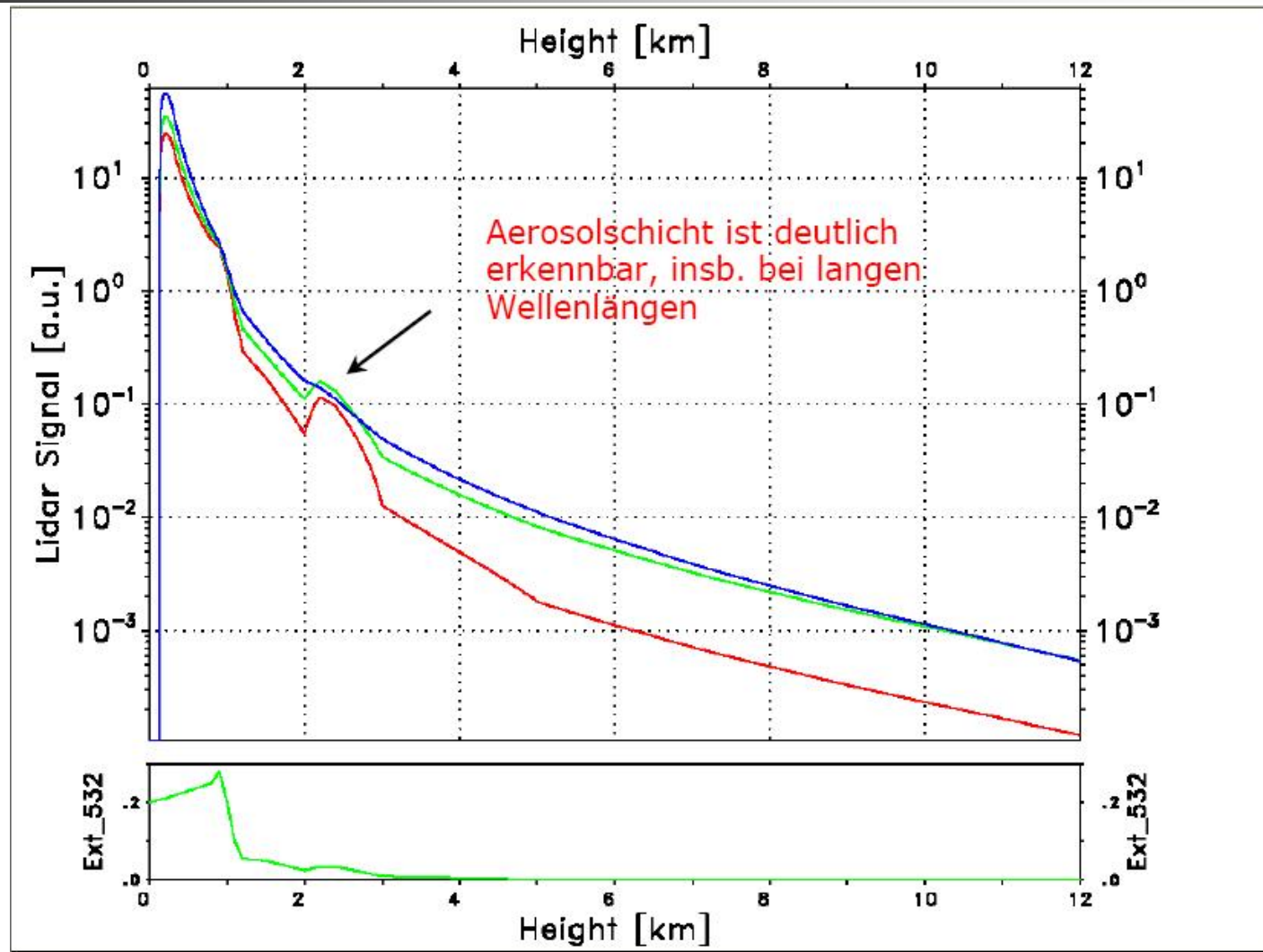
LIDAR-(Dach der Charité)



LIDAR-(Dach der Charité)



LIDAR–(Dach der Charité)



LIDAR-Dach der Charité

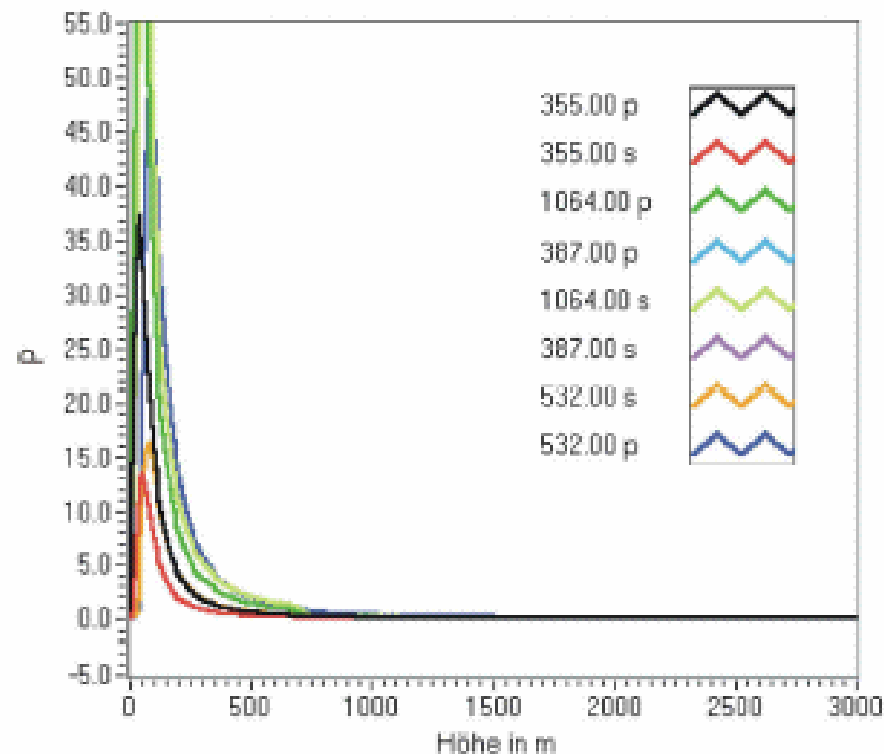


Abb. 4.1.1: Lidarsignale für die angegebenen Wellenlängen für die parallele und senkrechte Polarisation, aufgenommen auf der Charité am 14.2.2002 ; 2000 Einzelmessungen gemittelt von 9.58 Uhr bis 10.00 Uhr.

LIDAR-Dach der Charité

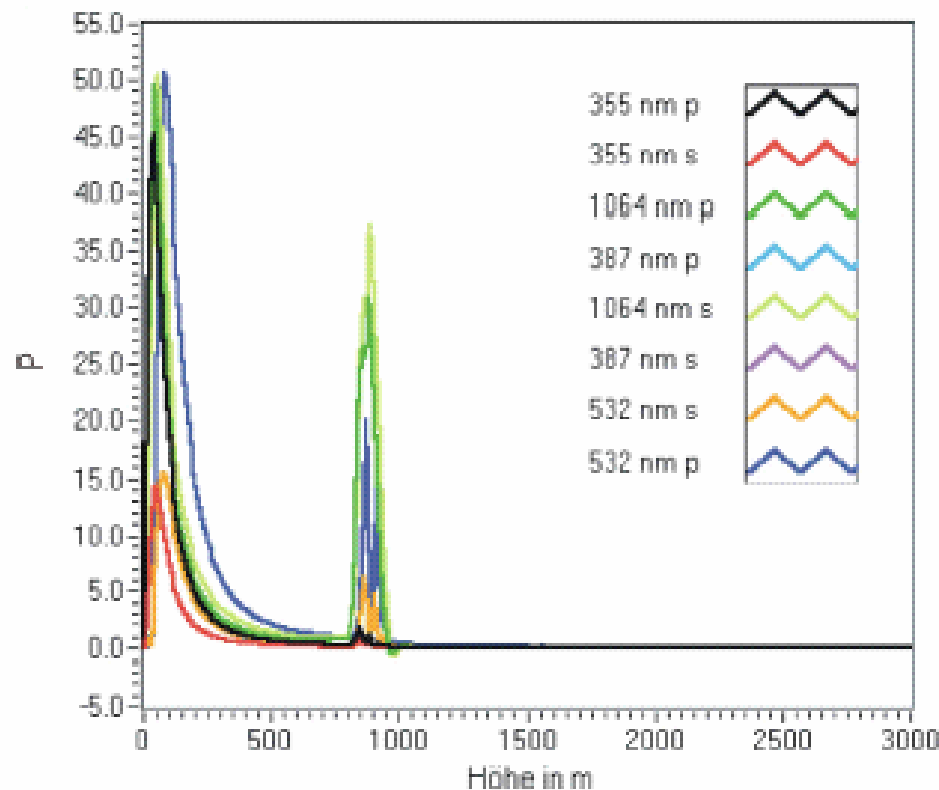


Abb. 4.1.2: Lidarsignale für die angegebenen Wellenlängen für die parallele und senkrechte Polarisation, aufgenommen auf der Charité am 14.2.2002 von 11.06 Uhr bis 11.08 Uhr gemittelt

LIDAR-Dach der Charité

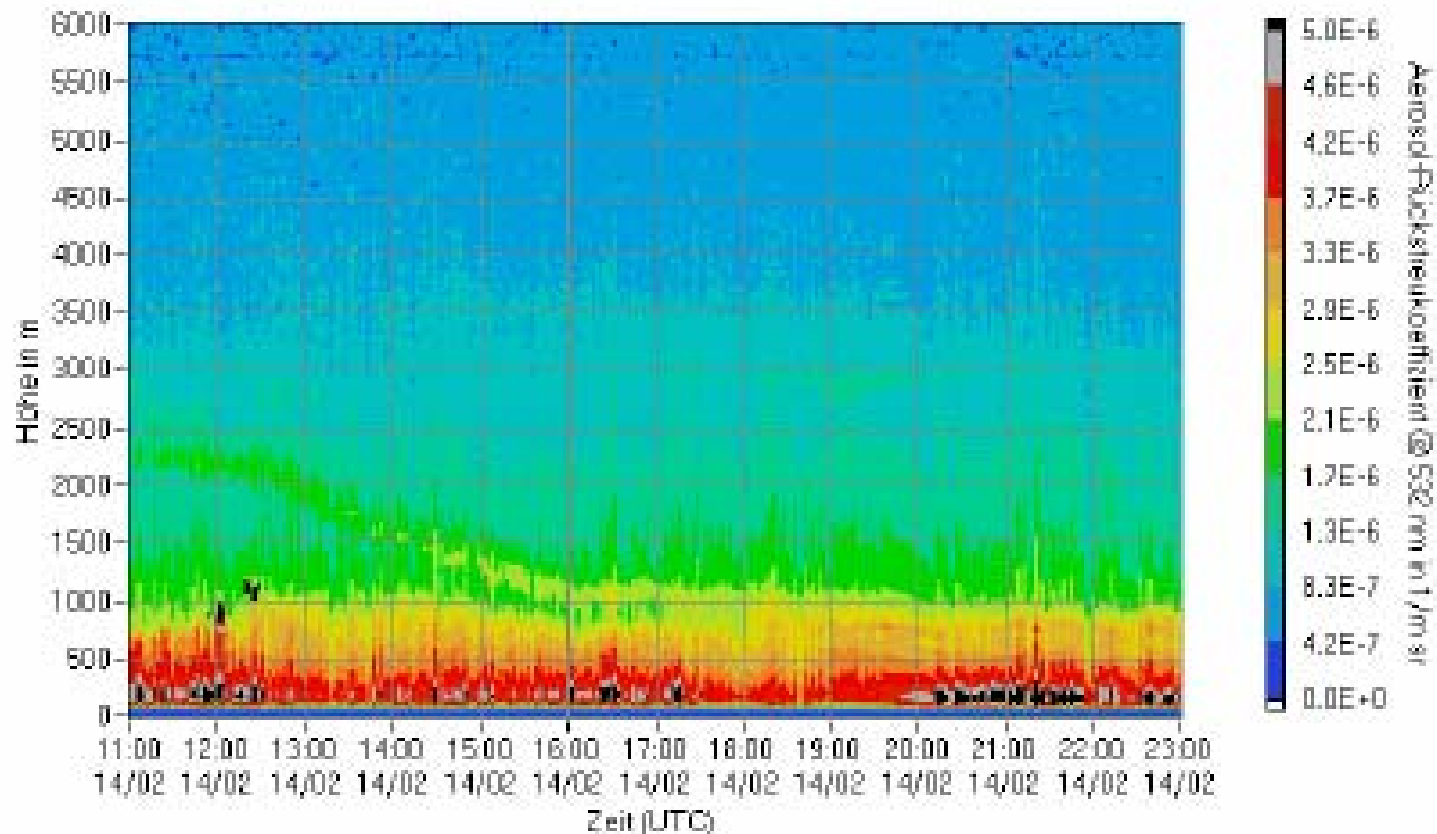


Abb. 4.2.2: Aerosol-Rückstreuungskoeffizienten für die Wellenlänge 532 nm des Lidarsignals vom 14.2.2002

LIDAR-Dach der Charité

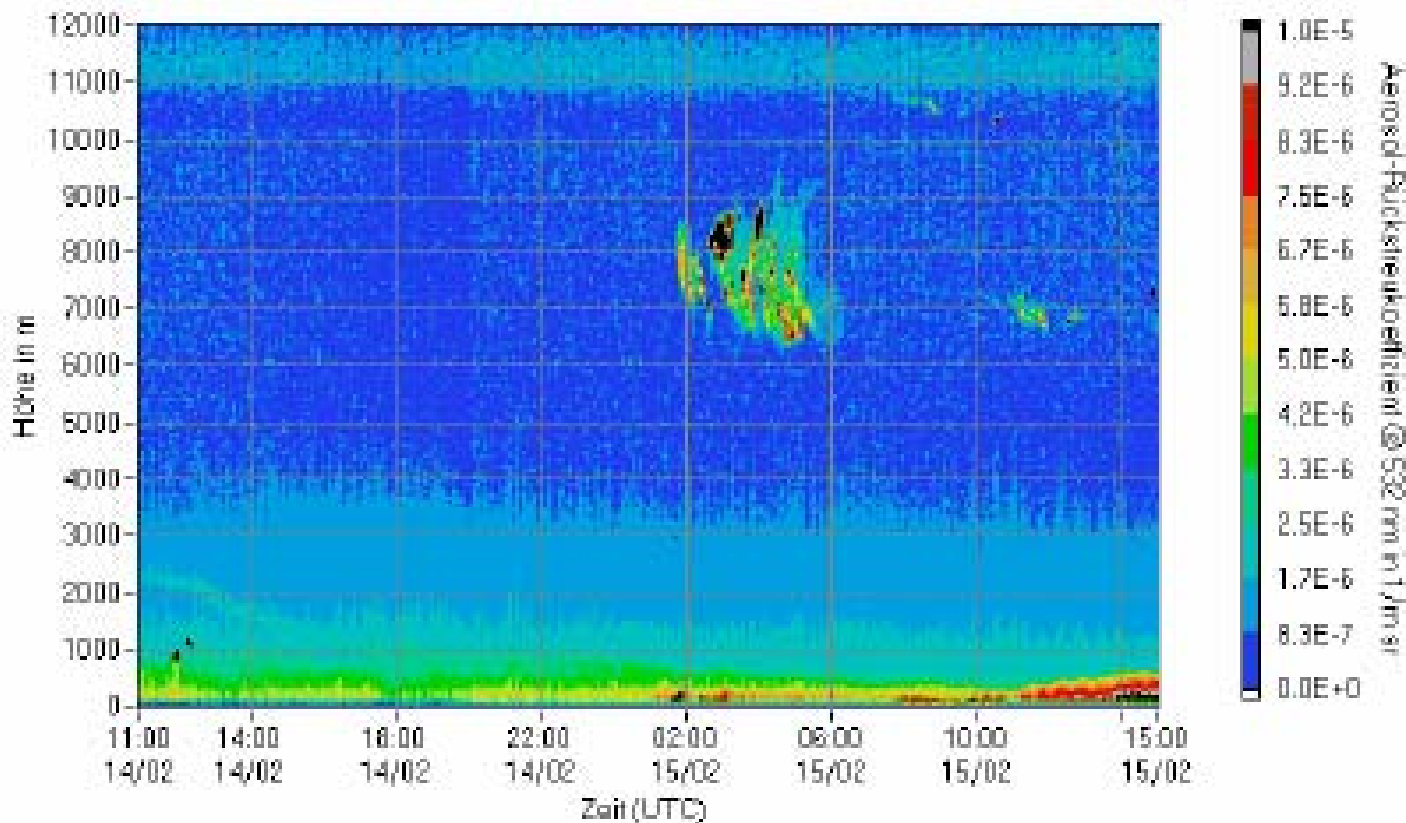
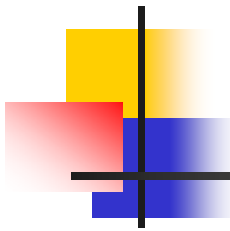


Abb. 4.2.1: Aerosol-Rückstreuungskoeffizienten für die Wellenlänge von 532 nm des Lidarsignals vom 14.-15. Feb. 2002



Quellen

■ Literatur

- Dissertation: Steffen Frey
- Dissertation: Kamil Stelmaszczyk
- Wissenschaftliche HA: Elmar Bergelar
- Diplomarbeit: Frieder Herb
- [Demtröder] Auflage 2000

■ Internet

- <http://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/strahlung/lidar/>
- <http://lidar.tropos.de>
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Lidar>

ENDE

