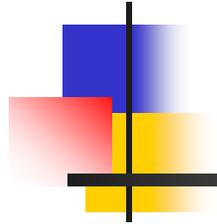


Tests einer Lichtquelle zur *in situ* Kalibration der Fluoreszenzdetektoren des Pierre-Auger-Observatoriums



Daniel Fuhrmann

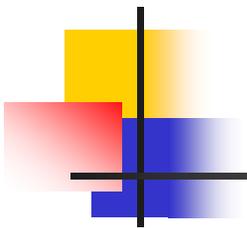
6. Oktober 2006

Bergische Universität Wuppertal – Fachgruppe Physik



Schule für Astroteilchenphysik, Obertrubach, 4.-12. Oktober 2006

- Pierre-Auger-Experiment: Untersuchung der kosmischen Strahlung bei den höchsten Energien
- Man misst mit optischen Teleskopen Fluoreszenzlicht, das in Luftschauern entsteht
- Thema meines Vortrages: Tests einer Lichtquelle für ein neues in situ Experiment zur Kalibration der absoluten Sensitivität der Teleskope
- Idee des Experimentes: Ein Fesselballon, der mit Lichtquellen bestückt ist, wird am Nachhimmel von den Teleskopen beobachtet



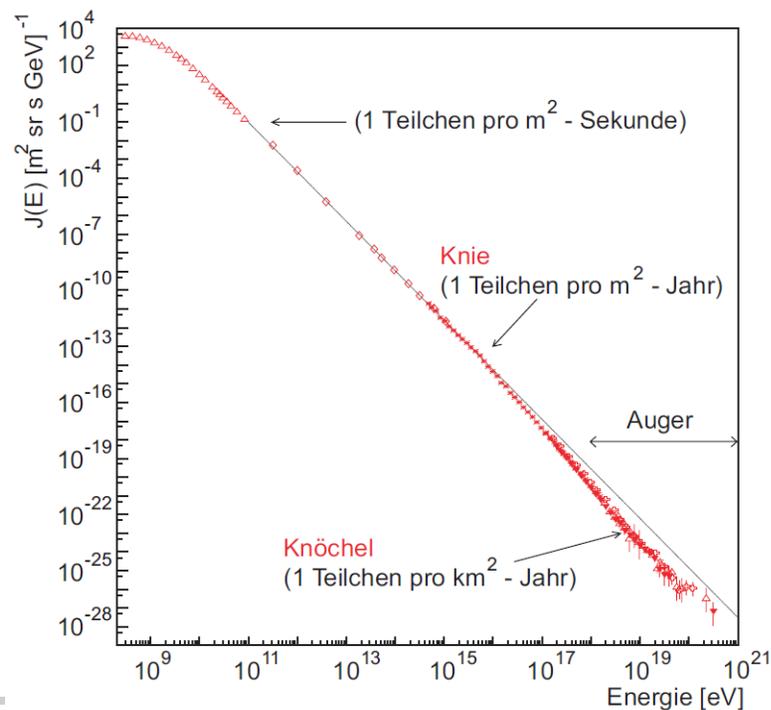
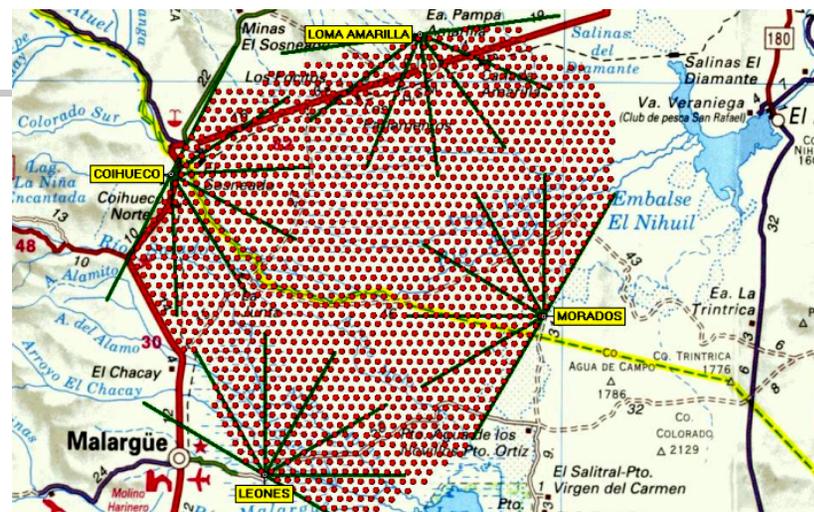
Gliederung des Vortrags

- Theorie:
 - Ausgedehnte Luftschauer und Luftschauertechnik
 - Südexperiment des Pierre-Auger-Projektes
- Ballonprojekt und die verwendete Lichtquelle:
 - Idee des Ballonprojektes
 - Untersuchung der Lichtquellen und Ergebnisse der Tests

Südexperiment des Pierre-Auger-Projektes

Standort

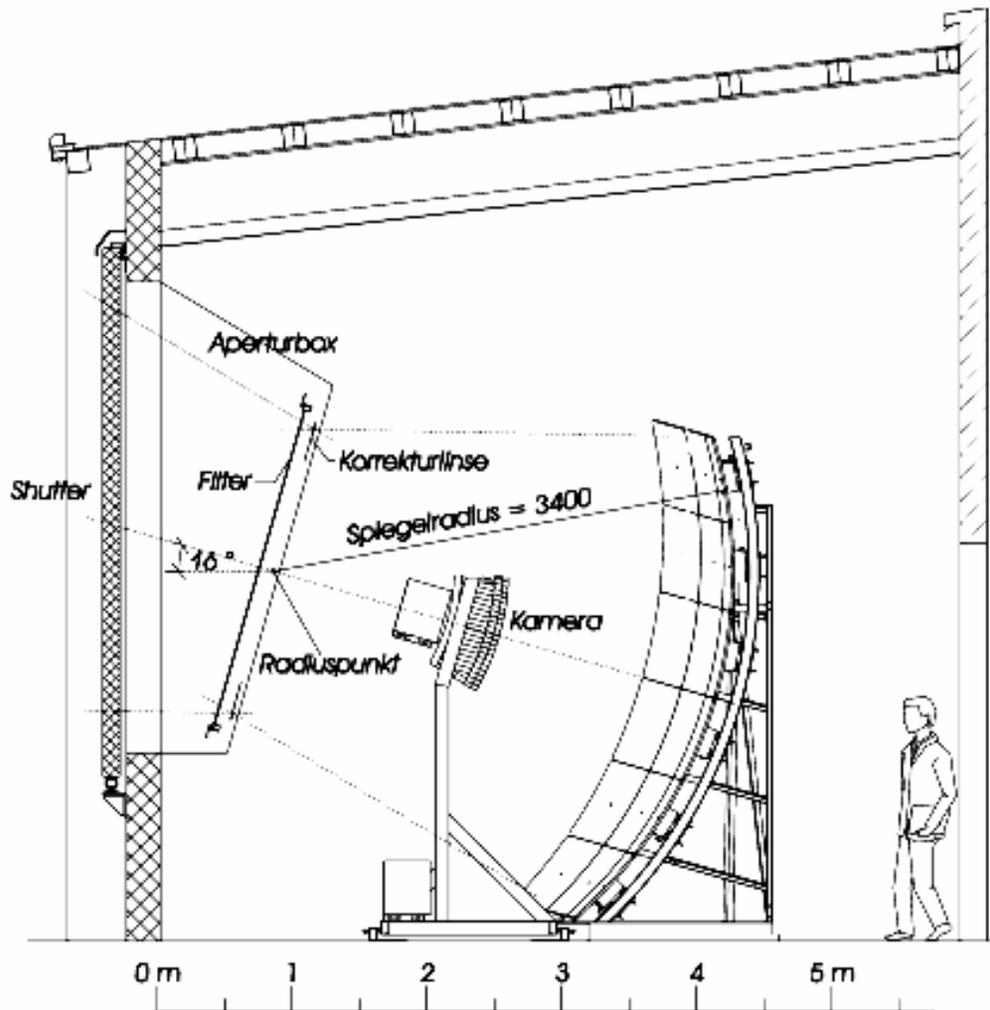
- In der argentinischen Provinz Mendoza
- Mit 1600 Oberflächendetektoren wird ein Nachweisgebiet von 3000 km² abgedeckt (~Saarland)
- 4 Teleskopgebäude mit je 6 Fluoreszenzteleskopen am Rande des Detektorfeldes
- Erwartung: ~60 Teilchen pro Jahr mit Energien oberhalb von 10²⁰ eV in diesem bisher statistisch schlecht untersuchten Bereich

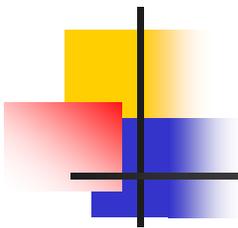


Südexperiment des Pierre-Auger-Projektes

Die Fluoreszenzteleskope

- Das Fluoreszenzlicht tritt ins Teleskopgebäude durch die Apertur ein
- Das M-UG6 Filter lässt Licht zwischen 300 und 400 nm durch, also Licht im Wellenlängenbereich der Stickstofffluoreszenz
- Licht trifft den Spiegel und dann die Kamera (PMTs)





Ballonprojekt und Lichtquelle

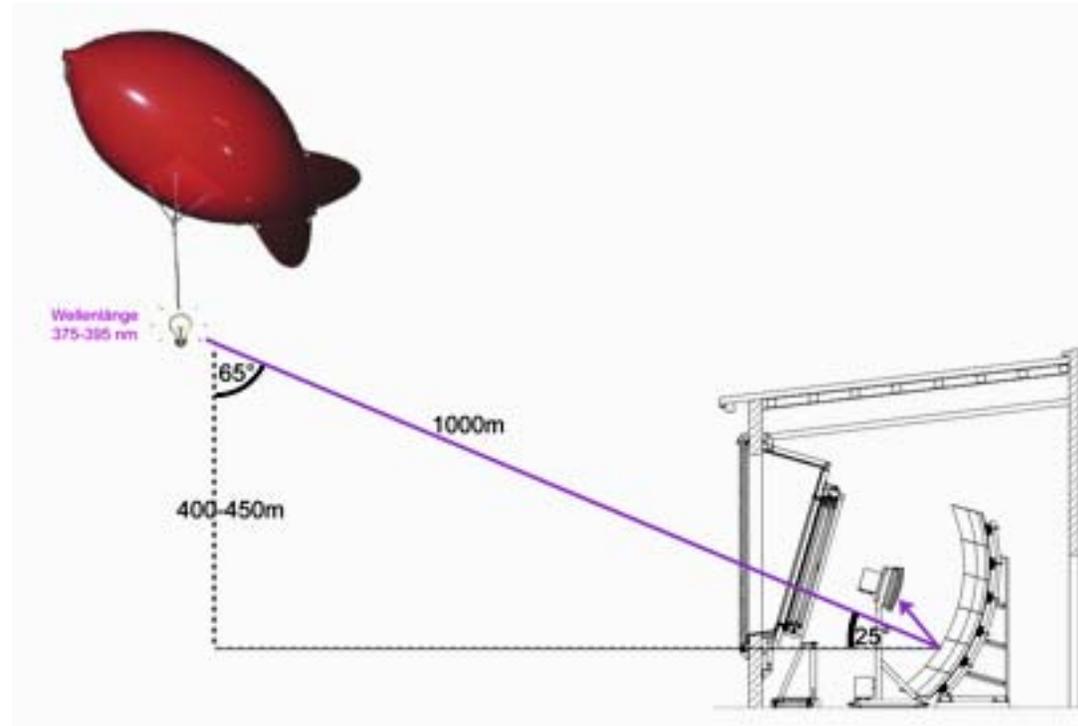
Die Idee des Ballonprojektes

- Zur absoluten Kalibration werden bereits diverse Verfahren eingesetzt
- Standardkalibration: homogene Ausleuchtung der Apertur des Teleskopes mittels einer Trommel (Drum-Kalibration)
- Nachteil Drum: nicht realitätsnah, da keine Punktquelle im Unendlichen
- Weiteres Problem: Die Lichtverstärkungen der einzelnen PMTs der Kamera streuen im Experiment stärker als bei einer Laborkalibration der PMTs in Wuppertal festgestellt wurde → Ursache?
- Wunsch: Alternative Kontroll-Methode, mit der gleichzeitig realitätsnäher kalibriert werden kann → Idee des Ballonprojektes

Ballonprojekt und Lichtquelle

Die Idee des Ballonprojektes

- Eine Lichtquelle bekannter Intensität wird an einem Ballon befestigt und ins Gesichtsfeld des zu kalibrierenden Teleskops gefahren
- Man simuliert Punktquelle im Unendlichen
→ hoher Realitätsbezug



Ballonprojekt und Lichtquelle

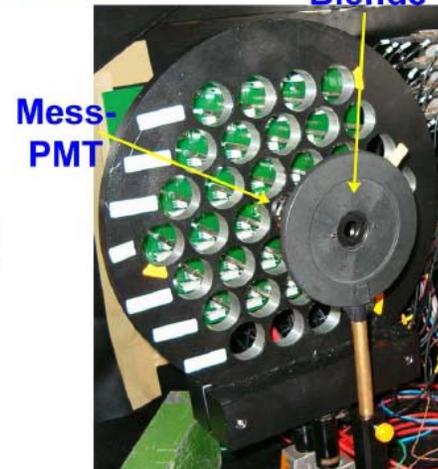
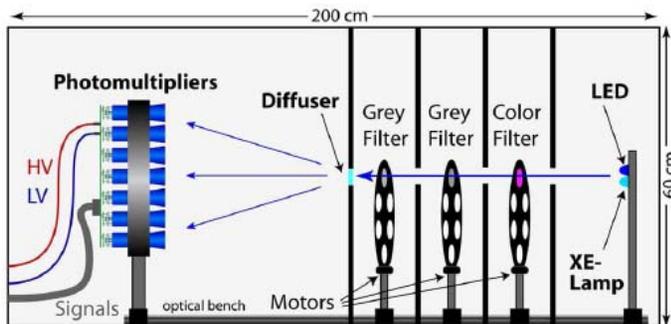
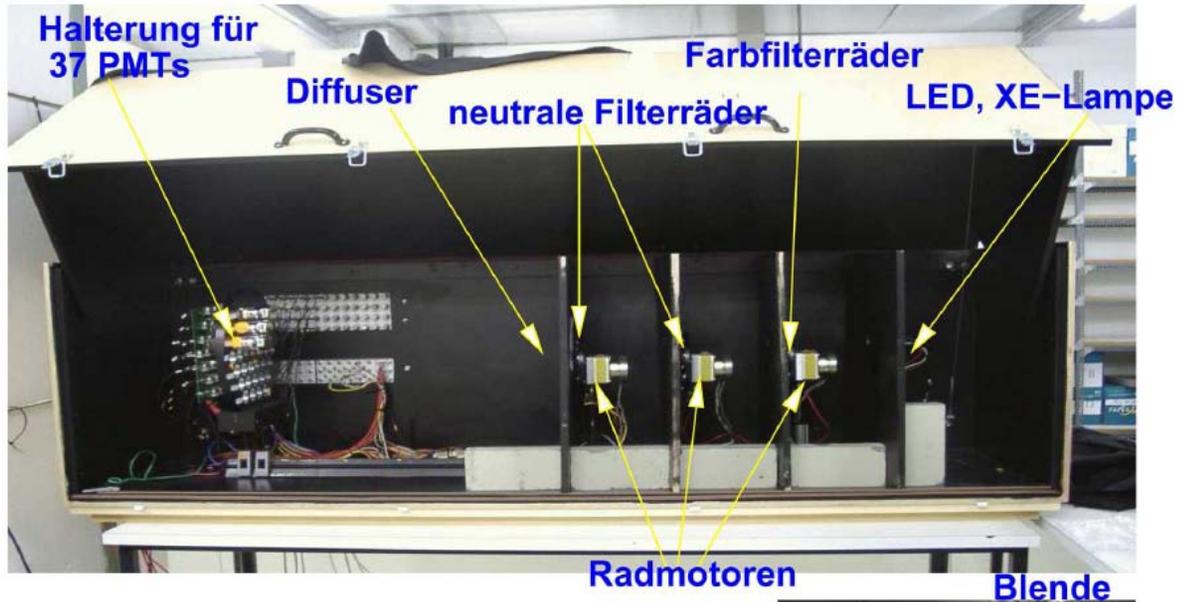
Die Lichtquelle für das Ballonprojekt

- Bei der Firma Roithner Lasertechnik wurden verschiedene LEDs mit den nominellen Wellenlängen 395, 385 und 375 nm gekauft.
- Jede LED besteht aus 60 Hochleistungsdioden (also im Prinzip LED-Array), wodurch hohe Helligkeiten erreicht werden.
- Forderungen an die LEDs:
 - Ausreichende Helligkeit, um sie in 1000 m Entfernung zum Teleskop im Pulsbetrieb noch detektieren zu können
 - 2 μs Pulsweiten, denn Luftschaer breitet sich mit Lichtgeschwindigkeit aus, jedes Pixel der PMT-Kamera wird nur für wenige Mikrosekunden ausgeleuchtet
 - Hohe Stabilität in der zuvor absolut zu kalibrierenden Lichtintensität
 - Isotrope Abstrahlung wegen Bewegungen und Rotationen am Ballon



Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

Teststand



Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

Ausreichende Helligkeit?

- Simulation der Apertur des Teleskops mittels der Irisblende (Strahlensatz):

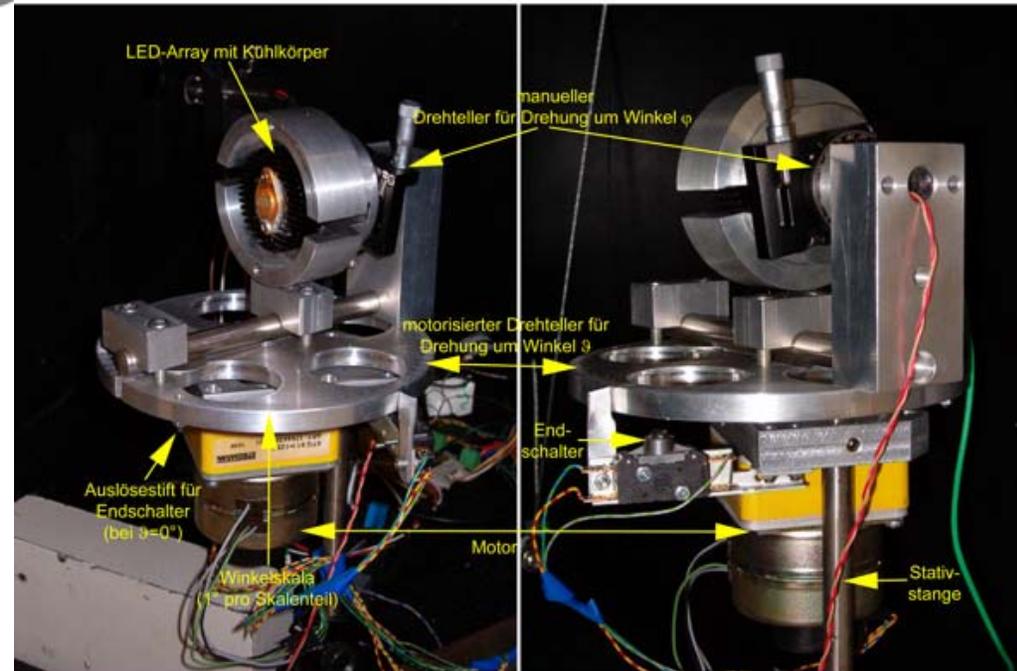
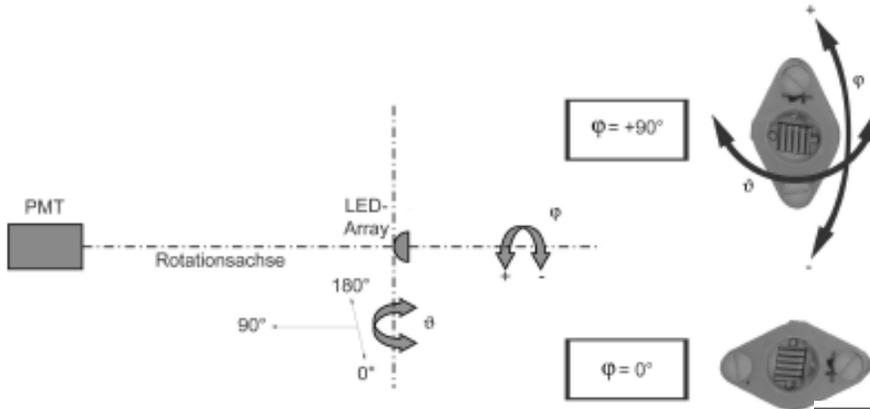
$$\frac{\text{Aperturöffnung}}{\text{Abstand Ballon - Teleskop}} = \frac{\text{Blendendurchmesser}}{\text{Abstand LED - PMT}} \Rightarrow \text{Blende} \approx 2\text{mm}$$

	395er	385er	375er	Nullmessung
<i>Amplitude [mV]</i>	112,6 ± 3,4	118,6 ± 2,6	25,3 ± 1,6	~1,0
<i>Ladung [10⁻⁹C]</i>	1,78 ± 0,01	2,03 ± 0,01	0,33 ± 0,01	~0,01

- Selbst die schwache 375 nm LED erzeugt ein deutliches Signal im Vergleich zur Nullmessung
- Die Frontend Elektronik der Auger-Teleskope hat eine deutlich höhere Verstärkung als die in unserem Teststand → die Lichtintensität aller Arrays wird ausreichen

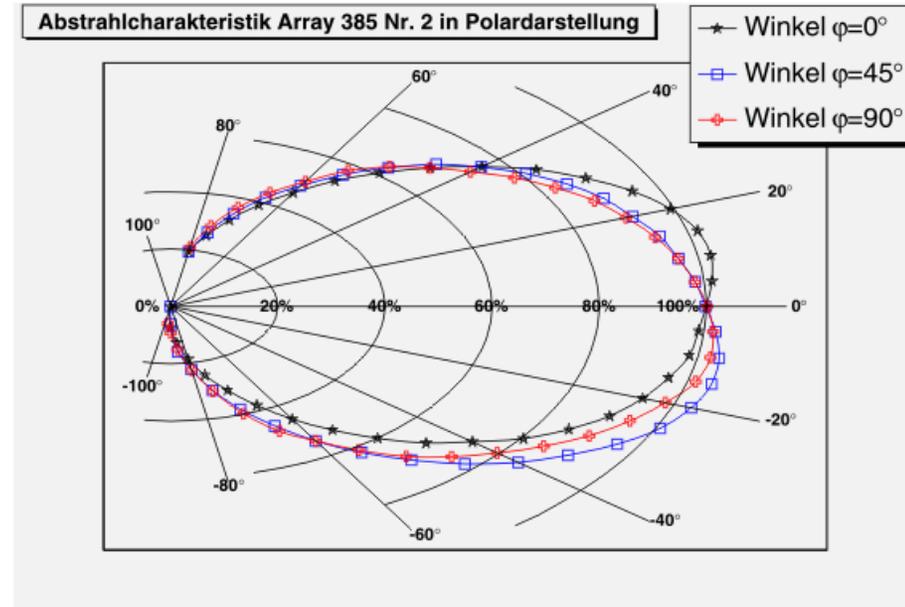
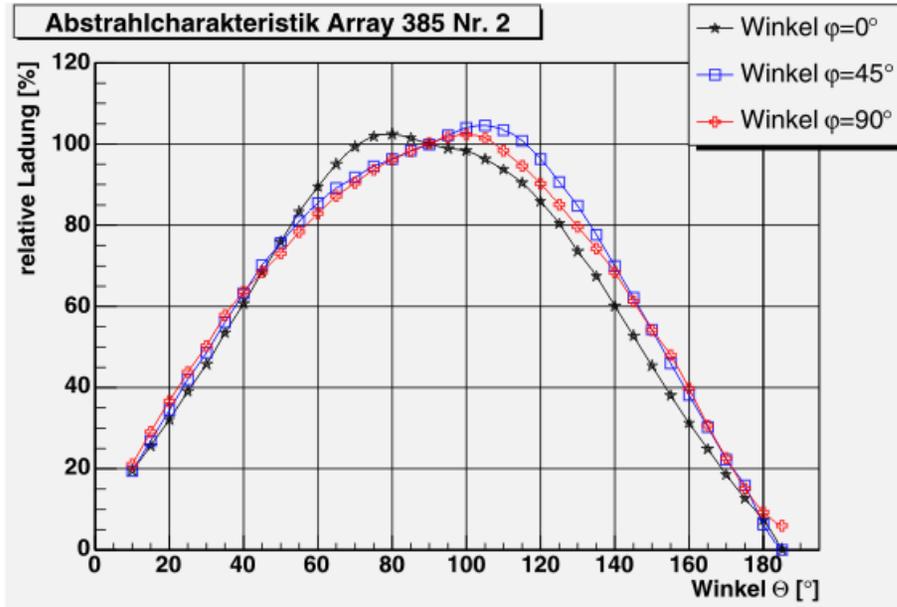
Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

Untersuchung der Abstrahlcharakteristik



Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

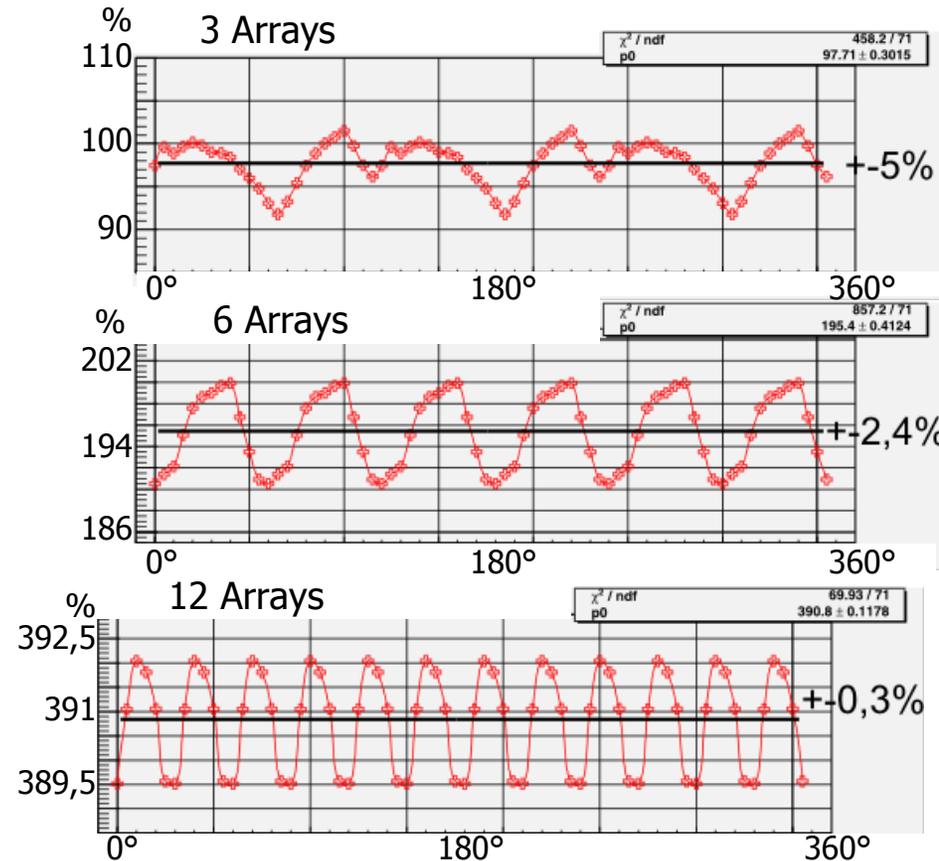
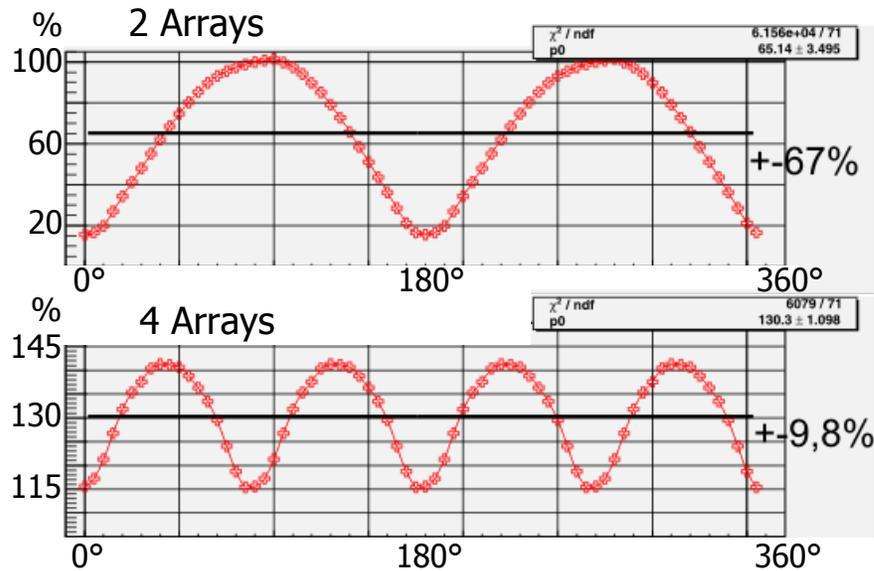
Untersuchung der Abstrahlcharakteristik



- Abstrahlung nicht exakt rotationssymmetrisch
 - Weiterhin starke Ausprägung der Intensität in Vorwärtsrichtung
- ➡ So nicht unmittelbar für das Ballonprojekt verwendbar!

Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

Superposition von mehreren Arrays



- Tendenziell: je mehr LEDs, umso isotroper
- Viele Arrays aber nicht praktikabel, zu hohes Gewicht, zu hoher Stromverbrauch

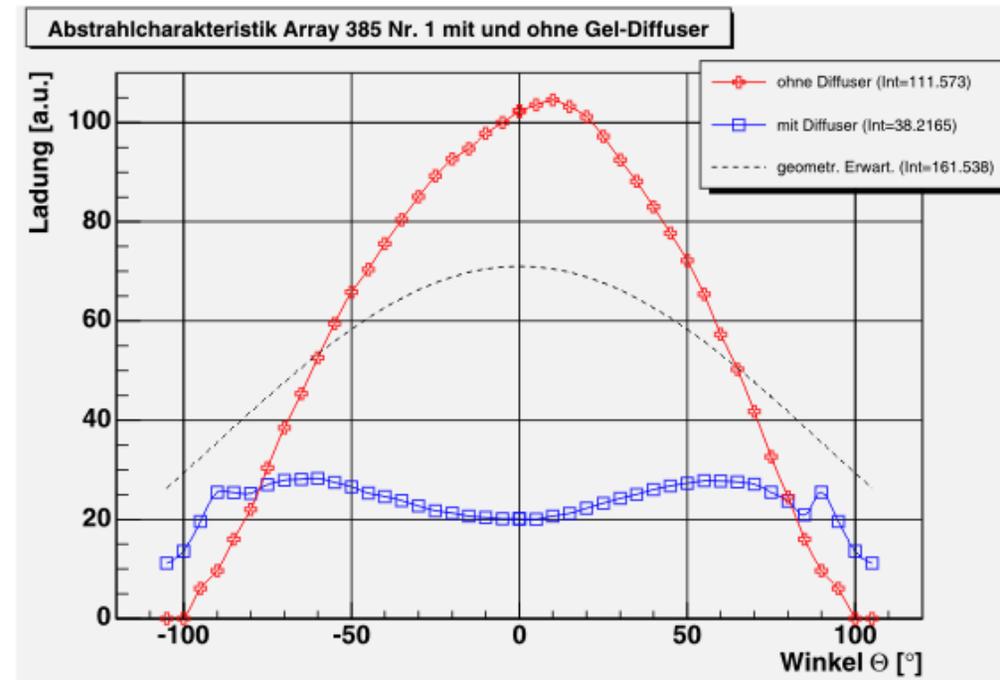
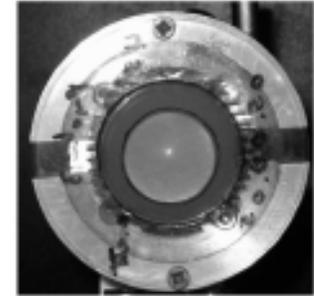
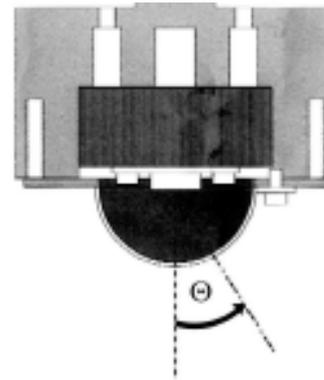


Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse Verwendung eines Diffusers

- Bei einer Flughöhe von 400 bis 450m und 1000m Entfernung vom Teleskop folgt aus einer geometrischen Überlegung:

→ Das Licht was unter dem Winkel $\Theta = 75^\circ$ emittiert wird trifft das Zentrum des Teleskops

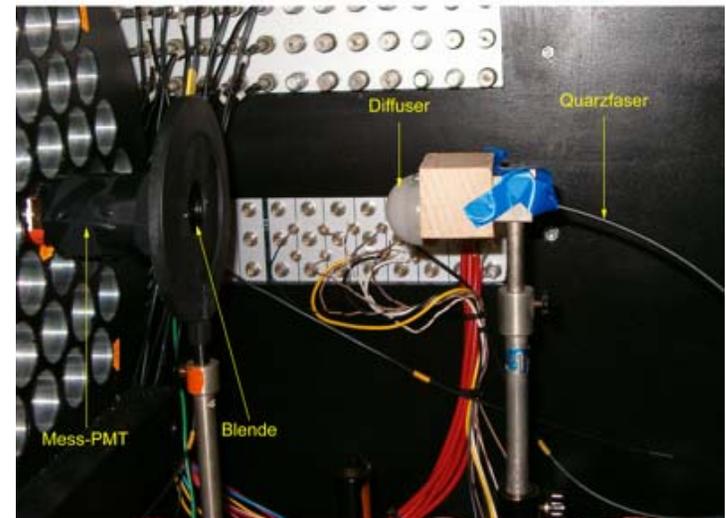
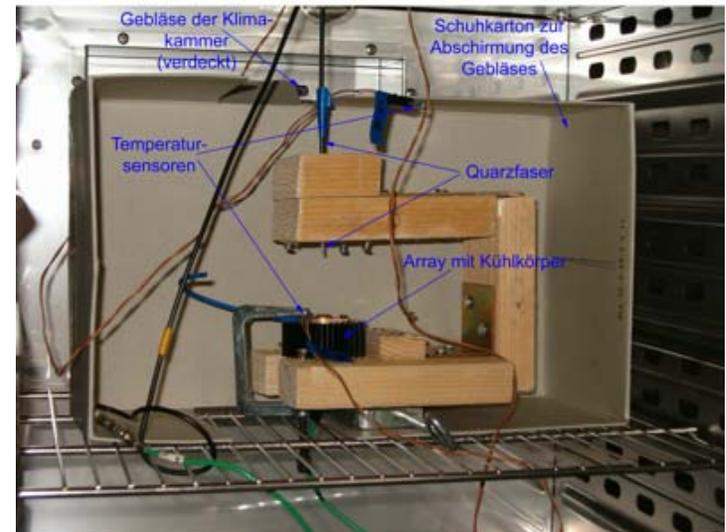
- Ziel: möglichst isotrope Abstrahlung in diesem Winkelbereich
 - Beim getesteten Gel-Diffuser treten im Bereich um 75° nur geringe Intensitätsschwankungen von wenigen % auf!
 - Problem jedoch: Bei Temperaturabhängigkeitsmessungen viel auf, dass die optischen Eigenschaften eventuell stark temperaturabhängig sind
- weitere Untersuchungen nötig!



Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

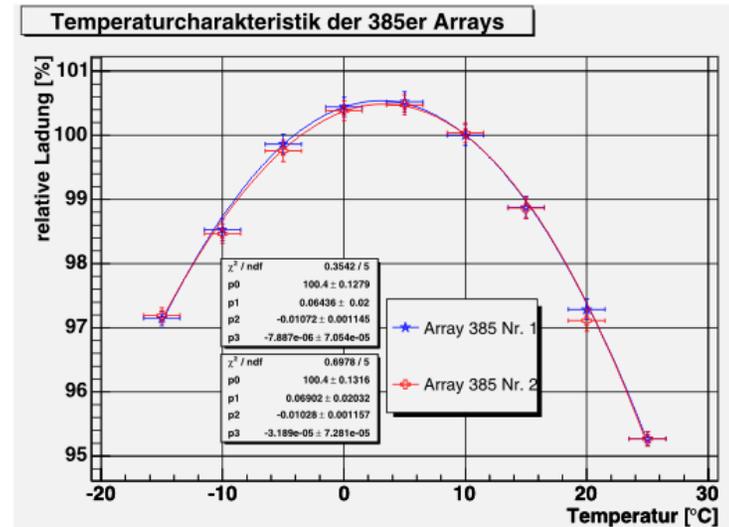
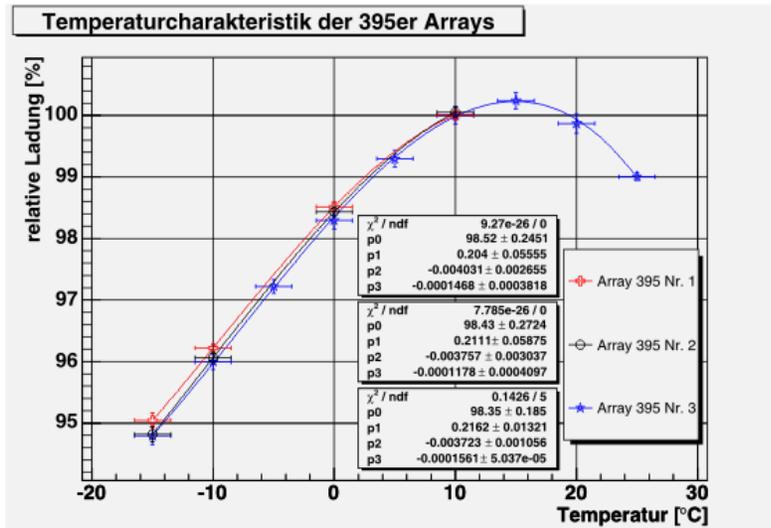
Messaufbau für Temperaturabhängigkeits-Tests

- Weiterleitung des Lichtes der LED über eine Quarzfaser (transparent für UV Licht) in die Messbox
- In der Messbox Auskopplung aus der Faser über einen Diffuser, um Bewegungen der Faser zu kompensieren
- Die Raumtemperatur, die Temperatur in der Kammer und die LED-Temperatur wurden mit NTC-Elementen gemessen und von einem PC aufgezeichnet



Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

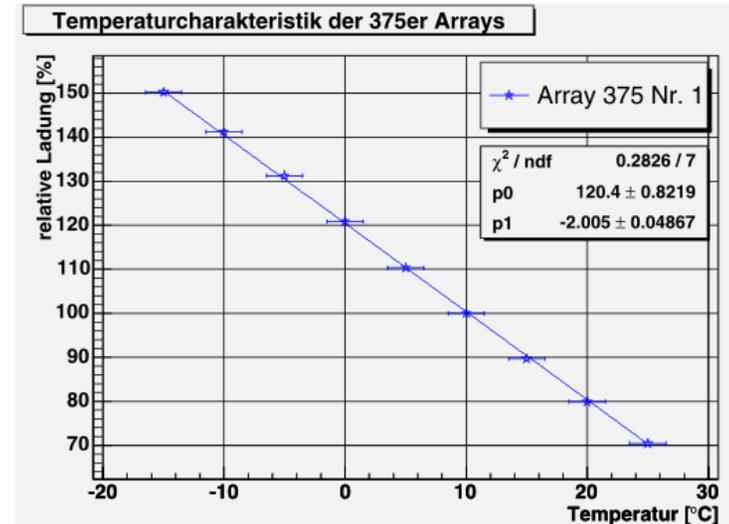
Temperaturcharakteristik der Arrays

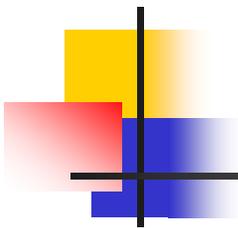


- Die Bandlücke eines Halbleiters ist oberhalb von 200 Kelvin annähernd linear von der Umgebungstemperatur abhängig ist
- Die Lichtintensität der LEDs sollte linear mit sinkender Temperatur zunehmen – nur bei 375er Array der Fall
- Vermutung: die 395er und 385er LEDs sind mit einer Epoxidharzlinse ausgestattet, die temperaturabhängig sein könnte
- Argentinische Pampa: um die 0 °C in der Nacht 385er Array hat dort einen Hochpunkt

➡ kleine Steigung

➡ schwache Temperaturabhängigkeit





Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassung

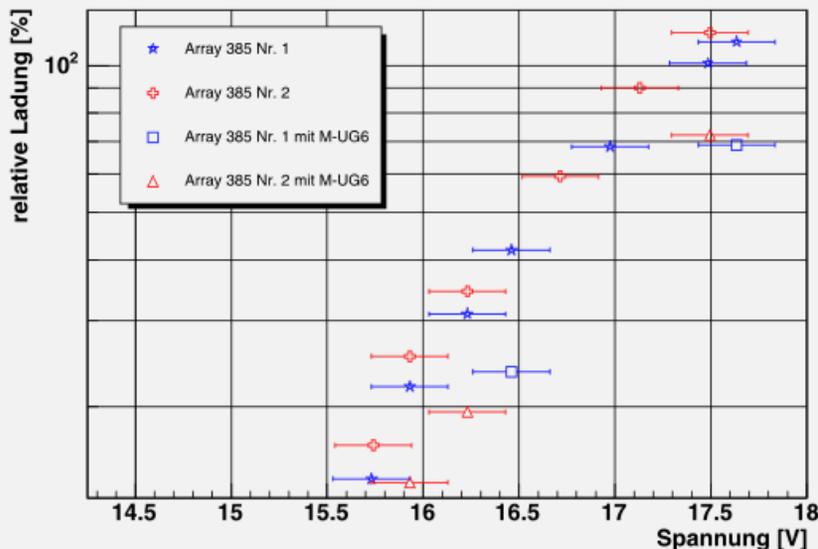
- Alle LEDs sind hell genug für das geplante Projekt
 - Keines der Arrays strahlt ausreichend isotrop ab
- Lösung:
- Durch Überlagerung mehrerer Arrays (Gewicht, Leistung?)
 - Durch Einsatz eines Diffusers (Temperaturabhängigkeit?)
 - Kombination von beidem (Ring mit Teflondiffuser)
- Die Temperaturcharakteristik der Arrays ist bekannt und aus den Messdaten wurden Korrekturfunktionen gewonnen, mit denen man die Intensitätsschwankungen bei der Kalibration der Teleskope berücksichtigen kann - Ferner: 385er Array günstiges Profil

Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

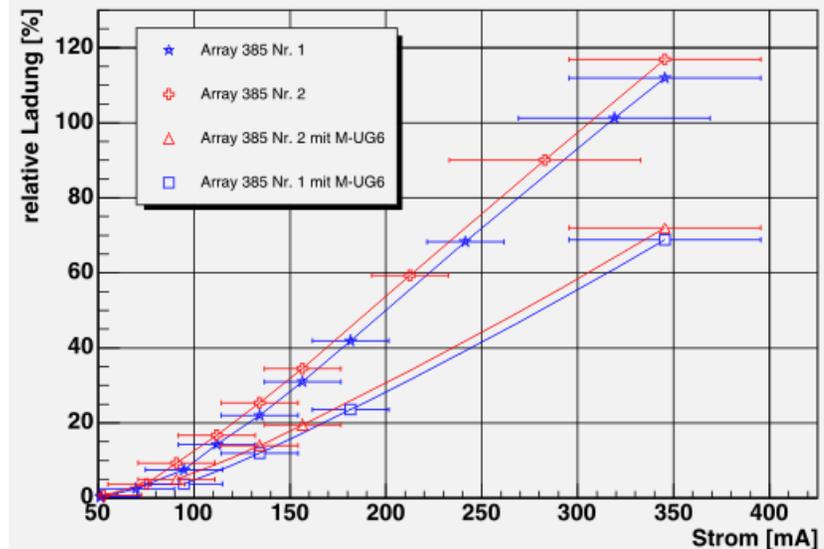
Abhängigkeit von Spannung und Strom

- Bemerkung: gemessen wird die im Mess-PMT bei der Beleuchtung deponierte Ladung \propto Lichtintensität, mit und ohne M-UG6 Filter

Abhängigkeit der 385er Arrays von der Betriebsspannung



Abhängigkeit der 385er Arrays vom Betriebsstrom

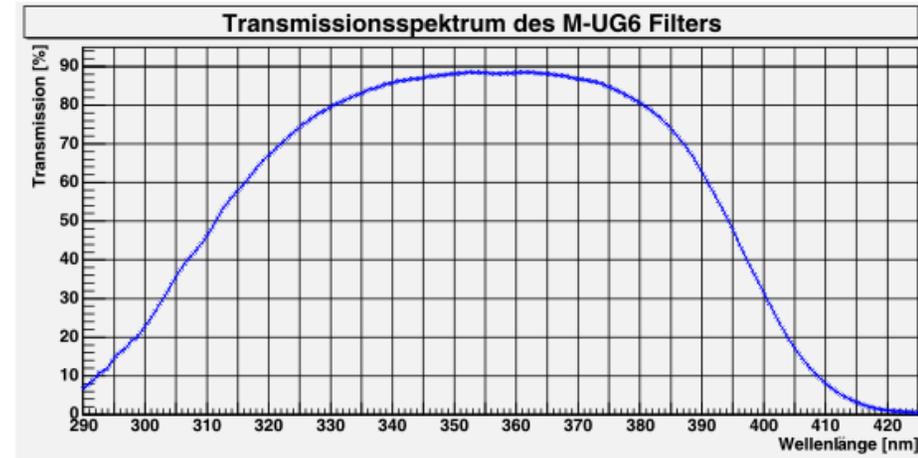


- Helligkeit von LEDs: Exponentielle Spannungsabhängigkeit (Diffusionsströme gehorchen Boltzmannstatistik) und lineare Stromabhängigkeit
- Ist ab Schwellspannung/-strom erfüllt bei meinen Messungen

Untersuchung der Lichtquelle und Ergebnisse

Abhängigkeit vom M-UG6 Filter

	T_{mess} [%]	T_{theo} [%]	λ_{max} [nm]
395er Arrays Nr. 1+2	$40,8 \pm 1$	47,8	397,1
395er Array Nr. 3	$47,3 \pm 1$	47,8	395
385er Arrays	$63,1 \pm 2$	74,0	389,9
375er Array Nr. 2	$80,9 \pm 1$	84,6	379,7
375er Array Nr. 1	$85,7 \pm 1$	84,6	373,5



- Aus dem **Verhältnis der Steigungen** der Kurven mit und ohne M-UG6 Filter folgt die **gemessene Transmission** des Filters für das Licht der jeweiligen LED
- Aus den **nominellen Wellenlängen** und dem **Transmissionsspektrum** des M-UG6 Filters folgt die **theoretische Transmission**
- Unterschied kommt zu Stande, weil die nominellen Peakwellenlängen der Arrays streuen und nicht exakt den Herstellerspezifikationen entsprechen
- Aus den **gemessenen Transmissionen** und dem **Spektrum** des M-UG6 können die **tatsächlichen Wellenlängen** der LEDs bestimmt werden
 - ➔ maximal 5 nm Abweichung von der nominellen Wellenlänge bei Array 375 Nr. 2, die Herstellerangaben werden gut eingehalten