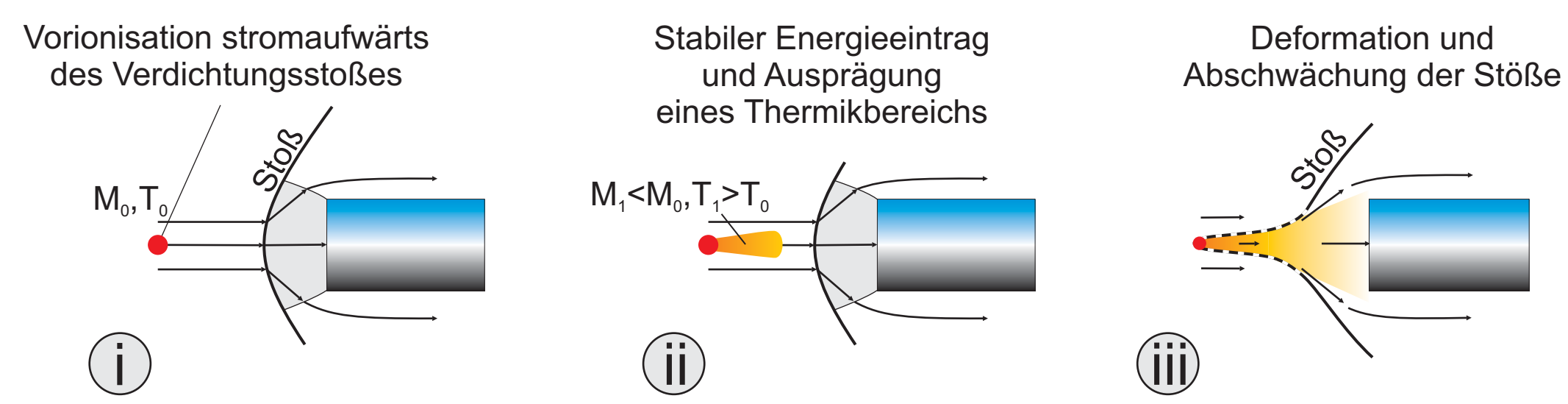
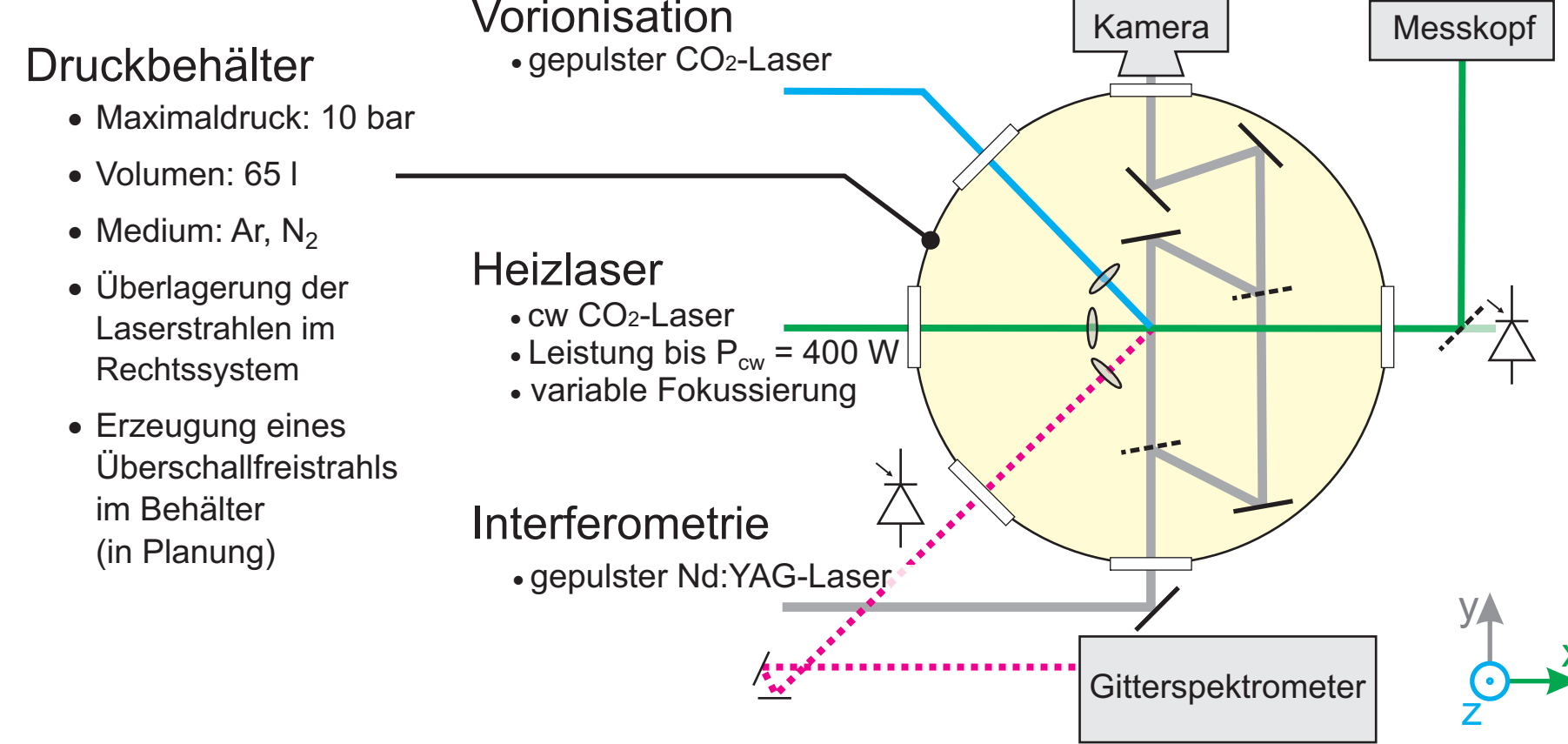


Wirkungsprinzip des Energieeintrags

- i) Vorionisation zur Steigerung der Absorptionsfähigkeit
- ii) Erhaltung des Plasmas durch kontinuierliche Laserbestrahlung
Ausprägung eines thermisch beeinflussten Bereichs mit:
 - gesteigerter Temperatur T_1
 - reduzierter Machzahl M_1
- iii) Beeinflussung des Wellenwiderstands durch die Modifikation von Lage und Geometrie der Verdichtungsstöße (reduzierte Stoßstärke)



Experimentalaufbau



Untersuchungsstrategie

- Erzeugung und Erhaltung eines laser-induzierten Plasmas:
 - im ruhenden Medium
 - unter optimierten Versuchsbedingungen (Medium, Druck, Laserwellenlänge und -leistung)
- Plasmacharakterisierung durch
 - interferometrische Aufnahmen
 - Emissionsmessung (Spektroskopie, Leuchtintensität)
 - Abschätzung der absorbierten Energie (Transmissions- und Leistungsmessungen)
- Parametervariation im Stabilitätsbereich

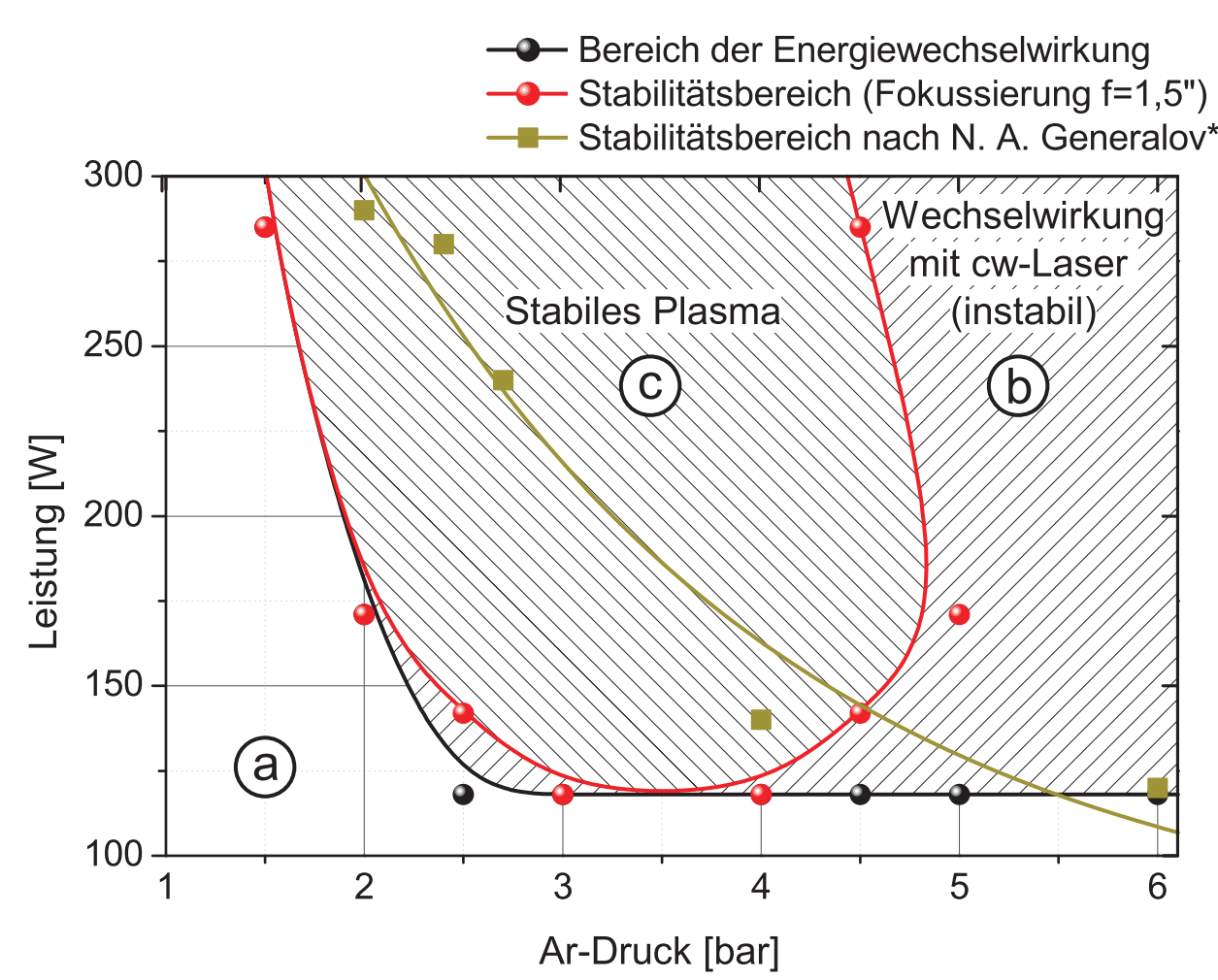
Diskussion

- Erhaltung laser-geheizter Plasmen
 - in Argon und Überdruck mit moderaten Laserleistungen möglich
 - Lage der Absorptionsfront abhängig von lokaler Intensität, Wärmefluss und Absorptionskoeffizient
 - Form und Größe des Stabilitätsbereichs stark beeinflusst durch Fokusslänge und Strahldurchmesser
- Effizienz
 - absorbierte Energie < 25 %
 - Plasmaelektronendichte < $5 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$
- Strömungstechnische Nutzung
 - hoher Leistungsbedarf für flugrelevante Gaszustände (Medium, Druck)
 - Gefährdung des stabilen Energieeintrags durch langsame, subsonische Wechselwirkungsgeschwindigkeiten
 - Betrachtung weiterer Verlustterme der Energiebilanz: Konvektion und Ladungsverlust

Experimentelle Ergebnisse

Stabilitätsbereich

- a) Keine detektier- bzw. visualisierbare Wechselwirkung
 - Fokussintensität unterhalb der Wechselwirkungsschwelle
- b) Leuchtstarke, zeitlich begrenzte Reaktion axial in Richtung des Heizlasers
 - einige Millisekunden Erhaltungsdauer
 - hohe Energieverluste
- c) Leuchtstarke Reaktion axial in Richtung des Heizlasers
 - Erhaltungsdauer oberhalb einiger Sekunden
 - Ausgeglichene Energiebilanz



Energetische Betrachtungen **

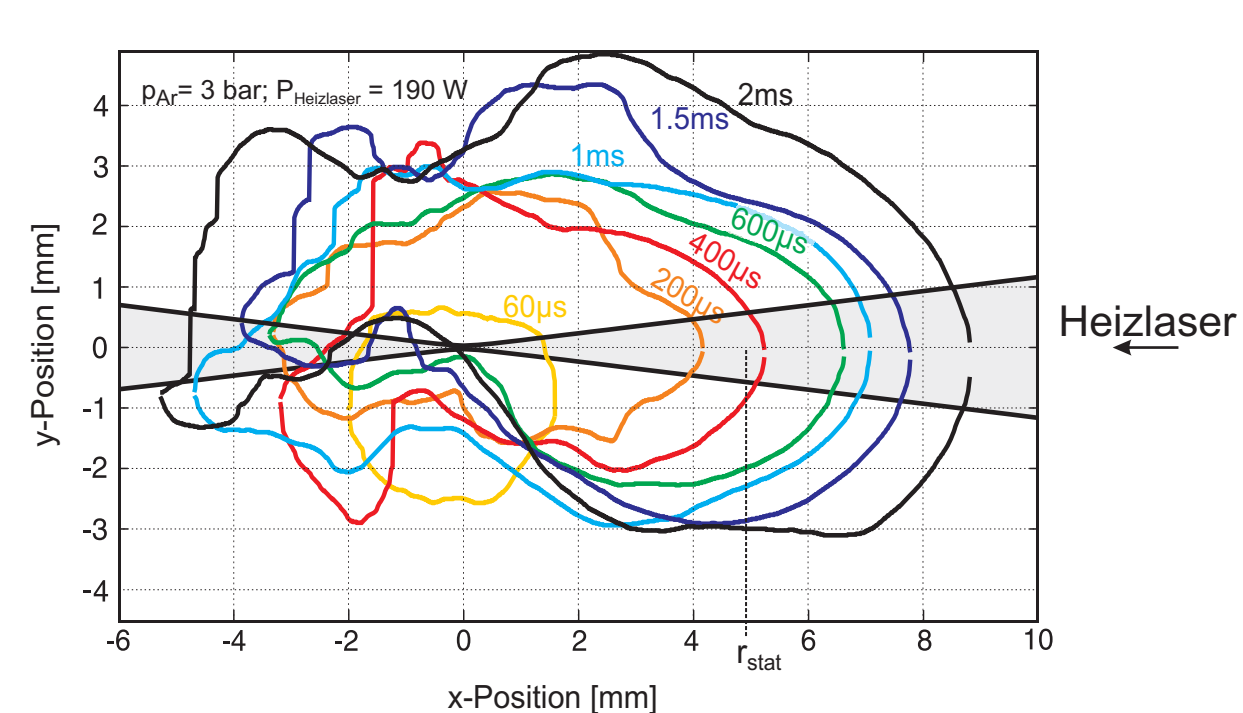
Energiebilanz im ruhenden Medium:

- Verluste aufgrund von Wärmeleitung F_-
 Θ - Wärmestrom, T - Temperatur, r - char. Radius, A - char. Oberfläche
- Energieeintrag durch Absorption F_+
 S - Leistungsdichte, p - Druck, μ - Absorptionskoeffizient, κ - Isentropenexponent, λ - Laserwellenlänge

$$F_- + F_+ = \frac{A \cdot \Theta(T)}{r^2} + S \cdot \mu(T, p, \kappa, \lambda) = 0$$

* Generalov N.A., Zimakov V.P., Kozlov G.I., Maslyukov V.A., Raizer Y.P., „Continuous optical discharge“ JETP Letters 11 (1970)
** Raizer Y.P., „Subsonic propagation of a spark and the threshold conditions for sustaining a plasma by radiation“, Zh. Exp. Teor. Fiz. 58 (1970)

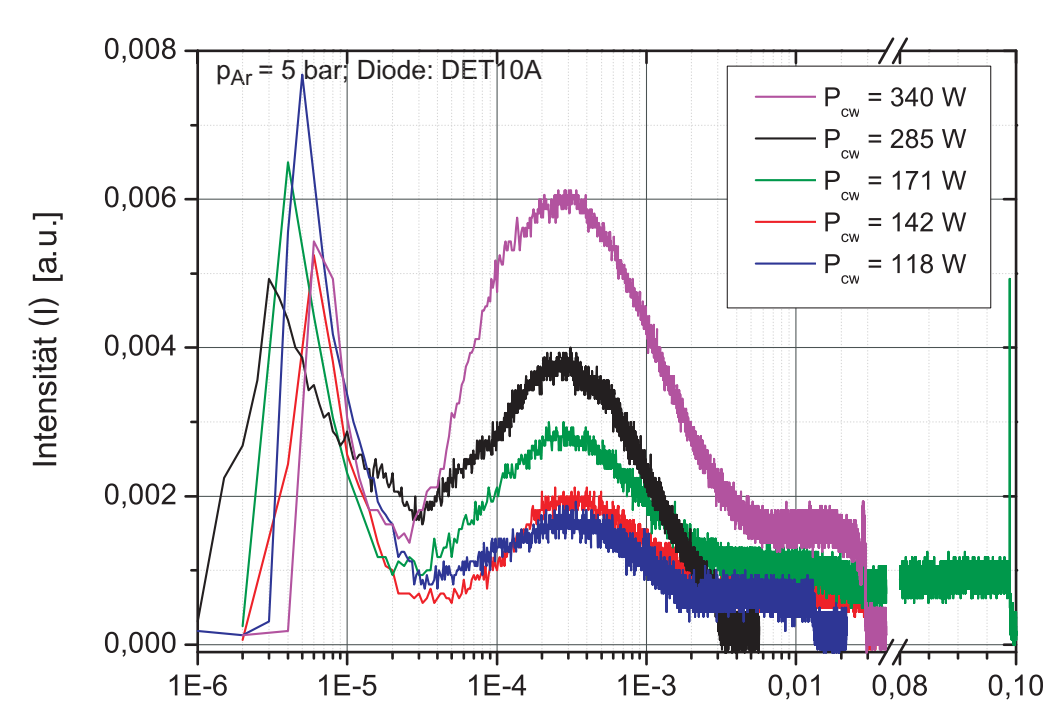
Dynamik



Konturdarstellung der Energiedeposition

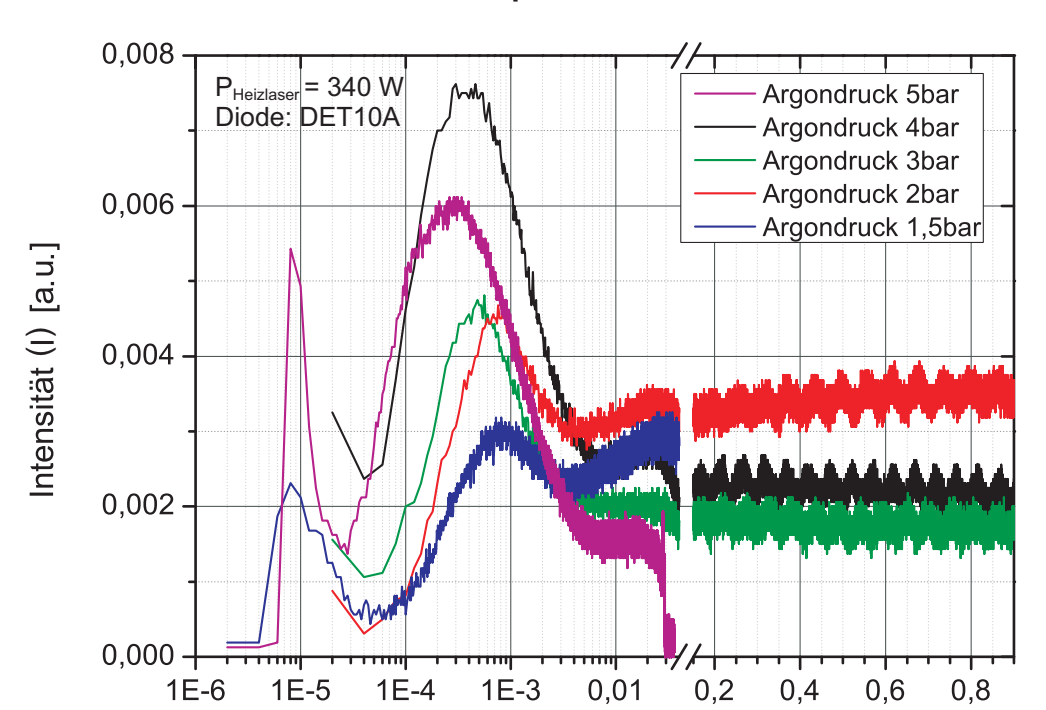
- $t < 100 \mu\text{s}$
- thermische Effekte der Vorionisation
- $100 \mu\text{s} < t < t_{\text{imax}}$
- Bewegung der Absorptionsfront in Richtung des Heizlasers
- gerichtete, axiale Ausdehnung mit Geschwindigkeiten von 5 bis $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Dichteabhängigkeit von t_{imax}
- Bestimmung der Lage der Absorptionsfront r_{stat} aus dem Flächenschwerpunkt der Konturlinie
- Turbulenzstrukturen
- $t > t_{\text{imax}}$
- gleichmäßige Expansion in radialer und axialer Richtung mit bis zu $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Erreichen der Gleichgewichtslage

Stabilität

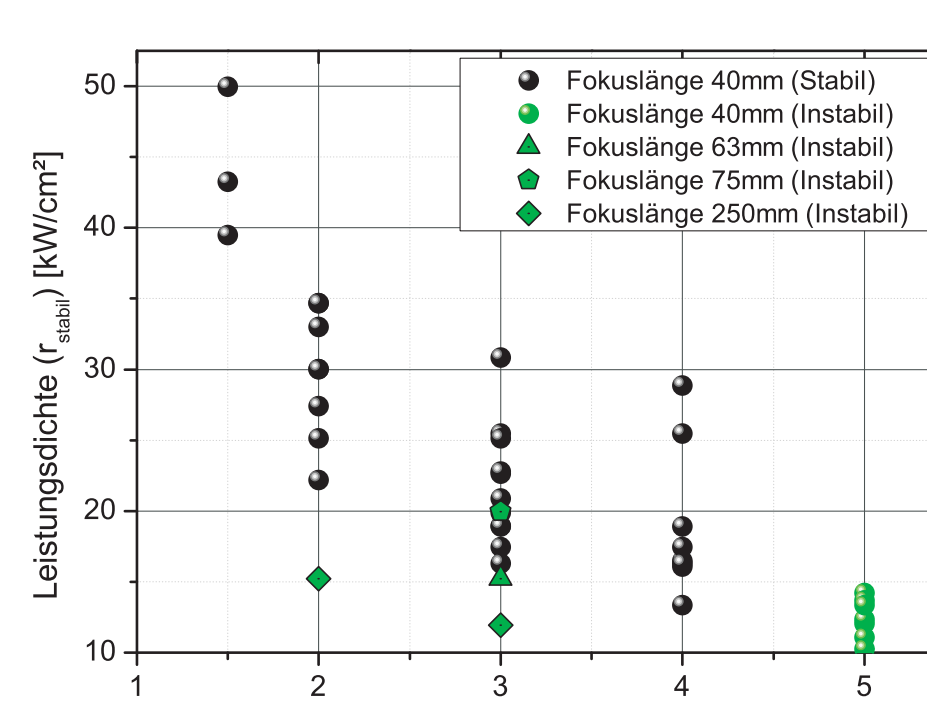


Leuchtintensität

- Drei Wechselwirkungsregime: Vorionisation, Expansion und thermischer Ausgleich
- Erreichen des Stabilitätsbereichs nach 1 - 3 ms
- Energetische Oszillationen im Bereich der Stabilität mit Frequenzen von 15 - 20 Hz



Energetik



Leistungsdichte

- Normierung der Laserleistung auf den berechneten Wechselwirkungsquerschnitt (r_{stat})
- Vergleichbarkeit verschiedener Laserleistungen
 - Fokussierungen
 - Energiezustände; stabile und instabile Energiedeposition (ED)
- Leistungsdichten für:
 - stabile ED zwischen 15 und $40 \text{ kW}\cdot\text{cm}^{-2}$
 - instabile ED zwischen 10 und $20 \text{ kW}\cdot\text{cm}^{-2}$
- Entscheidende Einflussparameter:
 - Leistungsdichte (energ. Wechselwirkung zwischen Vorionisation und Heizlaser)
 - Kaustik und Größe des Anregungsvolumens (Stabilität der ED)

Ausblick

- Variation und Optimierung der Versuchs- und Fokussierungsparameter (Medium, Druck und Laserwellenlänge)
- Superposition mit Überschallströmung
- Energetische Modellierung des Gleichgewichtszustands und der strömungsbedingten Verluste