

Aus der Universitätsklinik Tübingen  
Abteilung der Diagnostischen und Interventionellen Radiologie

**Optimierung der Ablationsparameter bei der  
Mikrowellen- Ablation:  
Eine Ex- vivo Studie**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin

Der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen

vorgelegt von  
Dorn, Johannes Ludwig

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. P. L. Pereira

2. Berichterstatter: Professor Dr. N. Malek

Tag der Disputation: 23.02.2017

<b>1. Einleitung.....</b>	<b>8</b>
1.1 Einleitung zum Thema.....	8
1.2 Ablative Therapieverfahren .....	9
1.2.1 Die Laserinduzierte Thermotheapie (LITT) .....	9
1.2.2 Die Kryotherapie (KT).....	10
1.2.3 Die Radiofrequenzablation (RFA) .....	10
1.2.4 Die Mikrowellenfrequenzablation (MWA) .....	11
1.2.5 Der hochintensive fokussierte Ultraschall (HIFU).....	12
1.2.6 Die Irreversible Elektroporation (IRE).....	13
1.3 Ziele und Fragestellung dieser Arbeit.....	13
<b>2. Material und Methoden .....</b>	<b>16</b>
2.1 Geräte .....	16
2.1.1 Mikrowellen-Ablationsgenerator: Evident™ MW Ablation System .....	16
2.1.1.1 Mikrowellensystem und –verfahren.....	16
2.1.2 Gekühlte Ablationsantennen .....	18
2.1.3 Zusatzgeräte Versuche mit zwei und drei Antennen.....	18
2.1.3.1 Abstandhalter für 2-Sondenversuche ohne Winkel .....	18
2.1.3.2 Abstandhalter des 3 - Sondenversuchs.....	19
2.1.3.3 Winkelblock für die Versuche mit Winkel.....	19
2.2 Präparate und Verarbeitung (Hilfsmittel) .....	21
2.3 Versuchsobjekte.....	21
2.4 Ausschlusskriterien .....	21
2.5 Versuchsprotokolle.....	22
2.5.1 Versuche mit einer Ablationssonde .....	22
2.5.2 Versuche mit zwei Ablationssonden.....	24
2.5.3 Versuche mit drei Ablationssonden .....	26
2.5.4 Versuche mit zwei Ablationsantennen und verschiedenen Winkeln.....	28

<b>3. Ergebnisse.....</b>	<b>31</b>
3.1 Ergebnisse des 1- Sonden Versuchs .....	31
3.1.1 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 35 W .....	31
3.1.2 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 40 W .....	33
3.1.3 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 45 W .....	35
3.1.4 Vergleich von Versuchsergebnissen bei gleicher Applikationsdauer .....	37
3.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs .....	40
3.2.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm.....	40
3.2.1.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 35 W .....	40
3.2.1.2 Ergebnisse des 2-Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 40 W .....	42
3.2.1.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 45 W .....	44
3.2.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm.....	46
3.2.2.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 35 W .....	46
3.2.2.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 40 W .....	48
3.2.2.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 45 W .....	50
3.2.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm.....	52
3.2.3.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 35 W .....	52
3.2.3.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 40 W .....	55
3.2.3.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 45 W .....	57
3.2.4 Vergleich von Versuchsergebnissen bei gleicher Applikationsdauer .....	58
3.2.4.1 Ergebnisse des 1,5cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer .....	58
3.2.4.2 Ergebnisse des 2,0 cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer .....	61
3.2.4.3 Ergebnisse des 2,5 cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer .....	63
3.3 Ergebnisse des 3- Sonden Versuchs .....	65
3.3.1 Ergebnisse mit dem Abstand 2 cm.....	65

3.3.1.1	Ergebnisse mit einer Leistung von 35 W .....	65
3.3.1.2	Ergebnisse mit einer Leistung von 40 W .....	67
3.3.1.3	Ergebnisse mit einer Leistung von 45 Watt .....	69
3.3.2	Ergebnisse mit dem Abstand 3 cm.....	71
3.3.2.1	Ergebnisse mit einer Leistung von 35 W .....	71
3.3.2.2	Ergebnisse mit einer Leistung von 40 W .....	73
3.3.2.3	Ergebnisse mit einer Leistung von 45 W .....	75
3.3.3	Ergebnisse mit dem Abstand 4 cm.....	77
3.3.4	Vergleich der Ergebnisse bei unterschiedlichen Konstanten.....	78
3.3.4.1	Vergleich der Ergebnisse mit 3 – Sonden (Abstand 2 cm) bei gleicher Versuchsdauer und unterschiedlicher Leistung.....	78
3.3.4.2	Vergleich der Ergebnisse mit 3 – Sonden (Abstand 3 cm) bei gleicher Versuchsdauer und unterschiedlicher Leistung.....	80
3.3.4.3	Vergleich der Ergebnisse mit den Konstanten Zeit und Leistung bei unterschiedlichem Antennenabstand .....	81
3.4	Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit verschiedenen Winkeln .....	86
3.4.1	Ergebnisse mit dem Winkel 15 Grad.....	86
3.4.1.1	Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 35 W .....	86
3.4.1.2	Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 40 W .....	88
3.4.1.3	Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 45 W .....	89
3.4.2	Ergebnisse mit dem Winkel 30 Grad.....	90
3.4.2.1	Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 35 W .....	91
3.4.2.2	Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 40 W .....	92
3.4.2.3	Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 45 W .....	93
3.4.3	Ergebnisse mit dem Winkel 45 Grad.....	94
3.4.3.1	Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 35 W .....	95
3.4.3.2	Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 40 W .....	96
3.4.3.3	Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 45 W .....	97

3.4.4	Vergleich der Ergebnisse gleicher Ablationsleistung und unterschiedlichen Winkel .....	99
3.5	Vergleich der Ergebnisse mit gleicher Applikationsdauer und -leistung bei unterschiedlicher Antennenanzahl/ -abstand .....	102
<b>4.</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>109</b>
4.1	Einleitung und Ziele der Arbeit .....	109
4.2	Ergebnisse .....	109
4.2.1	1 – Sondenversuche .....	109
4.2.2	2 – Sondenversuche .....	110
4.2.3	3 – Sondenversuche .....	112
4.2.4	2 – Sondenversuche mit unterschiedlichen Winkeln .....	113
4.3	Geometrische Form der Koagulationen.....	113
4.4	Limitierungen der Studie .....	114
4.5	Vergleiche mit der Literatur .....	115
4.6	Schlussfolgerung.....	116
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>119</b>
<b>6.</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>121</b>
<b>7.</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>123</b>



# 1. Einleitung

## 1.1 Einleitung zum Thema

Im klinischen Alltag stellen bösartige Neubildungen nach kardiovaskulären Erkrankungen die zweithäufigste Todesursache dar; bei jedem vierten Todesfall wurde eine Neubildung als Todesursache festgestellt<sup>1</sup>. Man unterscheidet hier zwischen primären und sekundären Malignomen, sog. Metastasen. Man findet z.B. in bis zu 50 % der Tumorpatienten bereits zum Diagnosezeitpunkt hepatische Metastasen. Die Leber stellt den häufigsten Manifestationsort von Fernmetastasen bei Krebserkrankungen dar<sup>2 3 4</sup>. Die Letalität bei Patienten mit kolorektalem Karzinom beträgt 25 % aufgrund der Lebermetastasierung durch Leberversagen. Bei ca. 10-20 % der Patienten zeigt sich die Leber als einziger Metastasierungsort bis zum Tode des Patienten.<sup>5 6</sup>

Bei Männern stellen primäre Lebertumore die fünfthäufigste Tumordiagnose weltweit und die zweithäufigste Todesursache dar. Unter den Lebertumoren repräsentiert das hepatozelluläre Karzinom die häufigste Untergruppe mit 70 % - 85 %. Weitere Lebertumore sind das cholangioläre Karzinom oder das fibrolamelläres Leberkarzinom<sup>7</sup>.

Für sekundäre Malignome der Leber zeigen sich am häufigsten Tumore des Magen-Darm-Traktes, der Mamma und des Bronchialsystems verantwortlich<sup>8</sup>. Aufgrund der schlechten Zugänglichkeit, der Verteilung, Größe bzw. des schlechten Allgemeinzustandes des Patienten können nur bis zu 20 % der Leberfiliae operativ entfernt werden<sup>9 10</sup>. Die Thermoablationsverfahren sind bei selektierten Patienten eine effektive und zunehmend eingesetzte Alternative.

Die Entscheidung, welches Therapieverfahren möglich ist hängt von der Größe und der Lokalisation der Lebertumoren ab. Basierend auf diesen Faktoren erfolgt die Abwägung, ob ein primär operatives Vorgehen möglich ist oder ein ablatives Vorgehen gewählt werden sollte. Möglich ist auch ein kombiniertes Verfahren.

Die systemische Behandlung mit Chemotherapeutika kann bisher noch keinen Erfolg bei der Behandlung von primären Lebermalignomen vorweisen. Auch für das hepatozelluläre Karzinom wurden also alternative Behandlungsmethoden entwickelt,



um eine weitere Option zur kurativen bzw. palliativen Tumorthherapie zu Verfügung zu haben. Hier haben lokale Ablationsmethoden in den letzten Jahren eine deutliche Zunahme der klinischen Relevanz erreichen.

## **1.2 Ablative Therapieverfahren**

Durch Induktion von thermal bedingten Zellschäden führen die ablativen Therapieverfahren zu einer lokalen Gewebedestruktion. Die verschiedenen Verfahren führen entweder über die Zuführung von Hitze oder Kälte zu einer Gewebedestruktion. Zu diesen Verfahren gehören:

- Die Mikrowellenablation (MWA)
- Die Radiofrequenzablation (RFA)
- Die Laserinduzierten Thermotheapie (LITT)
- Die Kryotherapie (KT)
- Der hochintensive fokussierte Ultraschall (HIFU)

Ein nicht thermisches Ablationsverfahren stellt die Irreversible Elektroporation dar.

### **1.2.1 Die Laserinduzierte Thermotheapie (LITT)**

Die Methode wurde erstmals von Bown et al. <sup>11</sup> beschrieben und entwickelte sich zu einer effizienten und minimalinvasiven Möglichkeit einer lokalen Tumordestruktion in parenchymatösen Organen.

Durch spezielle Kathetersysteme werden an der Zielregion sehr hohe Temperaturen durch die Laserenergie erzeugt, welche eine Denaturierung von Proteinen sowie Koagulation verursachen.<sup>12</sup> Es werden Laser des nahen Infrarots verwendet. Es werden Temperaturen zwischen 55 und 100 °C durch Absorption der Photonen im Koagulationsbereich erzeugt.

Der klinische Einsatz der LITT ist insbesondere an malignen Lebertumoren erprobt. Die Komplikationsrate ist relativ gering und liegt bei 1,5 %.<sup>13</sup> Zu den häufigsten zählen der Pleuraerguss, Pneumothorax, Infektionen, z.B. in Form von Leberabszessen: diese sind in der Regel als jedoch gut zu behandeln.<sup>14</sup>

Ein großer Nachteil ist aber die geringe Eindringtiefe der Photonen in das Tumorgewebe, welche nur knapp 1 cm beträgt, so dass in der Regel mehrere

Applikatoren eingesetzt werden müssen. Um eine komplette thermische Zerstörung des Tumorgewebes zu erzielen, sind Ablationszeiten zwischen 15 und 30 Minuten nötig.<sup>15</sup>

### **1.2.2 Die Kryotherapie (KT)**

Die KT ist das älteste und im klinischen Alltag am längsten angewendete Verfahren.<sup>16</sup>  
17

Es wird derzeit hauptsächlich intraoperativ verwendet.

Ziel der KT ist eine Destruktion des Zielgewebes über mehrere Zyklen des Gefrierens und Auftauens. Durch das Gefrieren kommt es zu einer Schädigung der Zellmembran. Kommt es nun zu einer Wiedererwärmung des Gewebes erzeugt dies Rupturen in Zellwandstrukturen und kleinen Gefäßen. Dies führt zu einer Hypoxie im Zielgewebe und somit Zusammenbruch des Membranpotentials. Eine irreversible Schädigung und somit der Zelltod des Zielgewebes ist die Folge.<sup>18 19</sup>

Als Vorteile des Verfahrens gelten die gute Steuerbarkeit, die Visualisierbarkeit des Therapieverlaufs und die schmerzfreie Applikation.

Im Vergleich zu den anderen besteht jedoch ein höheres Nebenwirkungsrisiko<sup>20</sup>, unter anderem aufgrund der fehlenden Koagulationswirkung auf die Blutgefäße.

Die Letalität beträgt bis zu 4 %.<sup>21 22</sup>

### **1.2.3 Die Radiofrequenzablation (RFA)**

Im klinischen Alltag spielt die Radiofrequenzablation bei der Behandlung von malignen Prozessen aktuell die wichtigste Rolle.<sup>23 24</sup>

Die RFA beruht auf dem Prinzip, mittels Radiofrequenzwellen (300-500 kHz) durch molekulare Friktion eine Erhitzung des Zielgewebes auf 80- 110 °C zu erzeugen. Die Grenze zur irreversiblen Zellschädigung liegt bei einer Temperatur von über 52 °C. Der optimale Temperaturbereich liegt bei 60-100 °C, da bei höheren Temperaturen Verdampfungs- und Verkohlungeffekte auftreten. Dies führt zu einer Reduzierung der Effektivität durch starke Dessikkation.<sup>25</sup>

Die Applikation der RFA- Elektrode erfolgt perkutan, laparoskopisch oder offen chirurgisch.

Es wird zwischen monopolen und bipolaren Applikationssystemen differenziert. Bei dem monopolen Konzept kommt es zu einem Energiefluss von der Elektrode zu einer an der Körperoberfläche angebrachten Neutralelektrode. Dem entgegen werden bei den bipolaren Applikationssystemen beide Elektroden auf dem Applikator untergebracht, welche durch ein Isolierstück getrennt werden.

Die perkutane Applikationsmethode ist relativ einfach durchzuführen und kann unter Lokalanästhesie erfolgen.

#### **1.2.4 Die Mikrowellenfrequenzablation (MWA)**

Die MWA wurde erstmalig in den 70er Jahren von Katsuyoshi Tabuse eingesetzt und beschränkte sich zunächst auf die Behandlung des hepatozellulären Karzinoms.<sup>26</sup>

Im Jahr 1971 wurde die Forschung an der MWA begonnen. Im Jahr 1979 wurde von K. Tabuse die erste Studie über die Anwendung der MWA in Tierversuchen herausgegeben. Im darauffolgenden Jahr 1980 erfolgte die erste erfolgreiche klinische Anwendung.<sup>27</sup>

Heute zeigt sich eine zunehmende Bedeutung der MWA bei der Therapie von Leber- und Lungenmetastasen sowie Metastasen des kolorektalen Karzinoms und des Mammakarzinoms.

Die Anwendung der MWA erfolgt sowohl perkutan in Lokalanästhesie als auch in laparoskopischer oder laparatomischer Technik in Allgemeinanästhesie.

Ähnlich wie bei der RFA werden die Tumorzellen durch Hitze zerstört.

Das Prinzip der MWA ist die Erzeugung eines hochfrequent wechselnden elektromagnetischen Feldes, welches das angrenzende Gewebe durchdringt. Die Frequenz beträgt zwischen 915 und 2.450 MHz.

Durch dieses schnell wechselnde oszillierende Magnetfeld werden Dipole, insbesondere Wassermoleküle, in Bewegung gebracht, was eine Erwärmung des Zielgewebes erzeugt. Im Gegensatz zur RFA wird die MWA nicht durch eine Erhöhung des elektrischen Widerstandes bei Erhöhung der Temperatur beeinträchtigt. Es können also höhere Temperaturen erzeugt werden.

Einsatzgebiete für die MWA ist vor allem die Behandlung hepatozellulärer Karzinome, hepatischer Metastasen sowie bei der Behandlung von Karzinomen/ Metastasen der Lunge und Niere. Hier zeigt sich eine ähnliche Effektivität wie bei der RFA.

Vorteil der MWA gegenüber der RFA ist jedoch der geringere Einfluss des Heat-sink-Effektes. Bei der RFA wird das Gewebe direkt neben der Elektrode erhitzt. Ziehen durch das Zielgebiet größere Gefäße, wird der Wärmetransport durch die kühlende Wirkung der Gefäße gestört, es kommt zu einem Temperaturloch nahe den Gefäßen. Unter Umständen kann somit die für die Nekrose der Tumorzellen benötigte Temperatur nicht erreicht werden kann. Da jedoch die MWA das umgebende Gewebe nicht nur direkt erwärmt, sondern direkt mit Mikrowellen erreicht, zeigt sich eine Reduktion des Heat-sink-Effektes. Dieser Vorteil zeigt sich bei dem klassischen Einsatzgebiet von Lebertumoren. Die Leber wird von Gefäßen durchzogen, hier stellt sich der Heat-Sink-Effekt als Problem der RFA dar. Es kann zu unvollständigen Ablationen kommen.<sup>28</sup> Studien haben gezeigt, dass der Einfluss des Heat-Sink-Effektes bei der Ablation von Lebertumoren bei der MWA geringer ist und somit einheitlichere Ablationszonen möglich sind und vor allem vollständigere Ablationen in der Nähe von großen Gefäßen erreicht werden können.<sup>29</sup>

Als weiteres gut durchblutetes Organ zeigt sich die Niere. Auch hier wurde Vorteile der MWA gegenüber der RFA bei gleichgroßen Applikationsantennen gezeigt. In einer Studie von Laeseke et al.<sup>30</sup> wurde Ablation in Schweinenieren in vivo untersucht. Hier zeigte die MWA im Vergleich zu der RFA signifikant größere Ablationszonen.

### **1.2.5 Der hochintensive fokussierte Ultraschall (HIFU)**

Hier wird eine Anwendung von Ultraschall beschrieben, bei der Gewebe durch Schallbündelkonzentrierung zerstört wird.<sup>31</sup>

Die Wirkung auf das Gewebe beruht sowohl auf thermische, als auch auf mechanische Effekte. Der mechanische Effekt resultiert aus hohen Drücken, welche durch Kavitationen erzeugt werden. Der hohe Druck erzeugt hohe Energiedichten, welche eine mechanische Destruktion des Zielgewebes verursacht. Der thermische Effekt wird durch Erhitzung des Zielgewebes durch die Schallfrequenz und Schallintensität des HIFU verursacht werden. Es können Temperaturen von über 80 °C bei der punktuellen Konzentration des Ultraschallfeldes erzielt werden,<sup>32</sup> <sup>33</sup> limitierend ist jedoch die geringe Größe der erzeugten Läsionen.

### **1.2.6 Die Irreversible Elektroporation (IRE)**

Die Besonderheit dieses Ablationsverfahrens ist, dass es sich nicht um ein primär thermoablatives Verfahren handelt. Das Prinzip beruht auf der Erzeugung eines elektrischen Feldes, welches Poren in der Zellmembran öffnet. Die Irreversible Elektroporation ist dann erreicht, wenn das elektrische Feld mit ausreichender Amplitude und Dauer dauerhafte Schäden an der Zellmembran verursacht und somit die Apoptose einleitet. Da es sich um kein reines thermoablatives Verfahren handelt, zeigen sich Vorteile bei der Ablation von Tumorgewebe in der Nähe von kritischen Strukturen (Gefäße, Nerven). Die Arbeitsgruppe Goldberg zeigte, dass es nahe der Ablationsantenne auch zu einem thermischen Effekt komme<sup>34</sup>. Hier zeigt sich im Vergleich zur RFA ein deutlicher Vorteil, welche hier aufgrund des Heat-Sink Effektes Limitierungen aufweist. Die bisher durchgeführten Studien zeigen ein verbessertes Risikoprofil im Vergleich zu den bekannten thermischen Verfahren.<sup>35 36</sup>

In der Arbeitsgruppe Goldberg wurde weiterhin gezeigt, dass bei einem Einsatz von vier Ablationsantennen bei einem Abstand von 2,5 cm ein Ablationsdiameter von  $5,6 \pm 0,3$  cm bis zu  $6,1 \pm 0,3$  cm erreicht werden können und somit klinisch relevante Ergebnisse erzielt werden können.<sup>37</sup>

Aufgrund des hohen technischen Aufwandes und der geringen therapeutischen Reichweite ist zunächst jedoch keine größere klinische Ausbreitung dieses Systems zu erwarten.

### **1.3 Ziele und Fragestellung dieser Arbeit**

Stellte früher die chirurgische Resektion von primären Lebertumoren und Lebermetastasen mit einer Resektion im Gesunden (R0 Resektion) bzw. die Lebertransplantation den Goldstandard dar<sup>38 39</sup>, haben sich zwischenzeitlich thermoablativ Verfahren bei Frühkarzinomen neben der chirurgischen Therapie auch als Primärtherapie etabliert.<sup>40</sup>

Einige Einschränkungen sind jedoch zu beachten Eine chirurgische Intervention ist nur sinnvoll, wenn eine R0 Resektion möglich ist.

Da nur ca. 30-40 % der Lebertumoren chirurgisch behandelbar sind, konnte in den letzten Jahren eine steigende Anzahl kurativ intendierter thermoablativer Behandlungen verzeichnet werden.

Diese Verfahren weisen noch einige Limitationen auf. Wichtiges Ziel der Thermoablation sollte es sein, durch ein nebenwirkungsarmes Vorgehen ein ausreichend großes Koagulationsvolumen des Zielgewebes, incl. Sicherheitsabstand zu erreichen. Histologische Untersuchungen haben gezeigt, dass in makroskopisch sichtbaren Koagulationsnekrosen keine vitalen Zellen zurückbleiben.

Insbesondere die MWA stellt hier aufgrund des, im Vergleich zu anderen Ablationssystemen, niedriger ausgeprägtem Heat-Sink-Effekts ein System mit hohem Potential dar.

Aufgrund der geringen Ablationsvolumina einzelner Ablationsantennen benötigt es eine Optimierung der Ablationsparameter auch mit mehreren Ablationsantennen um optimale Koagulationszonen zu erreichen. Auch bei klinischen Einschränkungen, z.B. durch Rippen, benötigt man unter Umständen unterschiedliche Winkel der Ablationsantennen zu einander um einen Tumor zu erreichen.

Ziel dieser hier vorliegenden Arbeit war mit Hilfe unterschiedlicher Winkeln, Antennenanzahl und Leistung eine Optimierung eines Mikrowellensystems verschiedener zu erreichen. Folgende Größen wurden variiert:

- Anzahl der Ablationsantennen 1-3
- Veränderung der Ablationsleistung an der Ablationsantenne (35/40/45 Watt)
- Dauer der Ablation (5/10/15 Minuten)
- Abstand der Ablationsantennen im Zwei- und Dreissondenversuch
- Winkel der Ablationsantennen zueinander im Zweisondenversuch (15/30/45 °)

Folgende Fragestellungen sollten in dieser ex-vivo Studie geklärt werden.

- 1) Verhalten der Lang- bzw. Kurzachse auf Veränderung der einzelnen Parametereinstellung
- 2) Mögliche klinische Bedeutung der Ergebnisse bezogen Sicherheitsabstand (Resektion/ Koagulation im Gesunden) und Ablationszeit
- 3) Vergleich des getesteten Mikrowellenablationssystems mit anderen Systemen im Hinblick auf die Ablationsergebnisse

- 4) Evaluation der Ergebnisse unter Verwendung von zwei Sonden bei Variation des Winkels zwischen den Antennen als Modell für Hindernisse wie Rippen in der klinischen Applikation.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Geräte**

#### **2.1.1 Mikrowellen-Ablationsgenerator: Evident™ MW Ablation System**

Als Mikrowellenablationssystem wurde das Mikrowellenablationssystem der Firma Valleylab verwendet. Die Höchstleistung des Generators beträgt 60 Watt, wird jedoch von der verwendeten MW- Ablationsantenne beschränkt; die Versuche wurden mit einer perkutanen MW- Ablationsantenne mit einer Höchstleistung von 45 Watt, welche durch das Gerät erlaubt wird, durchgeführt. Die minimale Leistung beträgt 30 Watt und kann in 5 Watt- Schritten bis 45 Watt erhöht werden. Die maximale Applikationsdauer beträgt zehn Minuten. Für die Versuchsreihen mit einer Applikationsdauer von 15 Minuten wurde nach einer Phase von zehn Minuten noch eine Ablation mit fünf Minuten Dauer direkt angeschlossen. Es können maximal drei MW- Ablationsantennen eingesetzt werden. Von der Firma Valleylab werden sowohl für den perkutanen Gebrauch gekühlte und für den chirurgischen Gebrauch ungekühlte Ablationsantennen angeboten.

##### **2.1.1.1 Mikrowellensystem und –verfahren**

Das System besteht grundsätzlich aus einem Generator, den Mikrowellenablationsantennen, welche in das entsprechende Zielgewebe (Tumor) eingebracht werden, und einem Koaxialkabel, welches als Verbindungsstelle fungiert.

Die aktuellen Generatoren erzeugen elektromagnetische Wellen Frequenzen von 915 MHz bis 2,4 GHz.

Die Energie aus dem Generator wird über ein Koaxialkabel zur Antenne weitergeleitet. Hierbei ist auf den Durchmesser des Kabels zu achten. Je höher der Durchmesser, desto niedriger ist der Energieverlust. Ein zu dickes Kabel kann jedoch die notwendige Flexibilität bei der Anwendung einschränken.

Zu dünn gewählte Koaxialkabel können zu einem zu einem hohen Energieverlust führen und es kann zu einer hohen Hitzeentwicklung kommen. <sup>41</sup>

Wichtigster Bestandteil ist jedoch die Antenne. Es wird ein steifer Schaft eingesetzt, an dessen Spitze sich die aktive Zone befindet. Hier werden die Mikrowellen an das angrenzende Gewebe abgegeben. Als Nachteil ist zu erwähnen, dass nicht die komplette Energiemenge an das Gewebe abgegeben werden kann, weil ein gewisser



Prozentsatz der Mikrowellenstrahlung reflektiert wird und es somit zu einer Erwärmung des Schaftes kommt. Bei den perkutanen Anwendungen können Hautschädigungen auftreten. Um diesem Effekt entgegenzuwirken, wurden inzwischen Methoden entwickelt, um den Schaft zu kühlen. In dem bei dieser Arbeit eingesetzten System erfolgt die Kühlung des Schaftes mit Hilfe von einer zirkulierenden Kochsalzlösung.

Technische Daten:

a) elektrische Daten:

- Betriebsbereich: 100V- 120 V, 220V- 240V (50Hz- 60 Hz)
- Stromversorgung: 11 Amp. (max.) @ 100V – 240V
- Eingangssicherungen: 15 Amp. Schutzschalter
- Leckströme: Innerhalb der Grenzen eines Gerätes der Klasse BF nach 60601-1

b) MW- Ablationsgenerator Mikrowellenausgang:

- Frequenz: 915 MHz  $\pm$  5MHz
- Wellenform: kontinuierlich
- Höchste Ausgangsleistung: 60 Watt @ 50 Ohm
- Leistungserhöhungsschritte: 5 Watt
- Zeiterhöhungsschritte: 1 Minute
- Maximale Spitzenspannung bei offenem Stromkreis: 116 V

## 2.1.2 Gekühlte Ablationsantennen

Für die Versuche wurden die perkutanen Mikrowellenablationsantennen der Firma Valleylab verwendet. Diese Antennen sind im Gegensatz zu den chirurgischen MWA Antennen mit einer Kühlung ausgestattet. Diese Kühlung funktioniert über einen Kühlkreislauf, der von einer Schlauchpumpe Flüssigkeit durch die MWA Antenne zirkulieren lässt. Die Kühlung ist zur Vermeidung einer Karbonisation des Gewebes notwendig, welches sich direkt angrenzend zur Ablationsantenne befindet.

## 2.1.3 Zusatzgeräte Versuche mit zwei und drei Antennen

Für die Versuche mit mehreren Antennen wurden verschiedene Abstandshalter aus Hartholz verwendet, die über zwei oder drei parallele Führungskanäle für die Ablationsantennen verfügen.

### 2.1.3.1 Abstandhalter für 2-Sondenversuche ohne Winkel

Für die Versuche mit zwei MWA Antennen wird der Abstand zwischen den zwei Antennen auf 1,5 cm, 2 cm und 2,5 cm festgesetzt.

$a = 1,5; 2,0; 2,5 \text{ cm}$

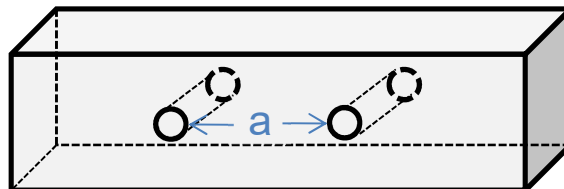
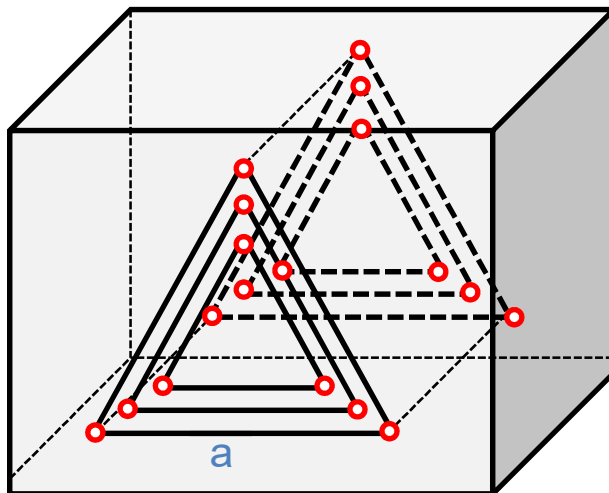


Abbildung 1: Skizze Abstandshalter 2- Sondenversuch

### 2.1.3.2 Abstandhalter des 3 - Sondenversuchs

Für die Versuche mit drei MWA Antennen wird der Abstand zwischen den drei MWA Antennen so festgelegt, dass sich aus den drei Antennen ein gleichseitiges Dreieck bilden lässt. Der Abstand zwischen den benachbarten MWA Antennen beträgt 2cm, 3cm und 4cm.



$a = 2,0; 3,0; 4,0 \text{ cm}$

Abbildung 2: Skizze Abstandhalter 3- Sondenversuch

Abbildung 3: Originalfoto Abstandhalter 3- Sondenversuch

### 2.1.3.3 Winkelblock für die Versuche mit Winkel

Für die Versuche mit zwei MWA Antennen und unterschiedlichen Winkeln wurden Rampen aus Hartholz konstruiert, um für die Versuche einen konstanten Winkel zwischen den Applikatoren zu garantieren. Die Rampen sind derart konstruiert, dass der Abstand der Spitzen der MWA Antennen 1 cm beträgt und sich von diesem Punkt an die MWA Antennen mit den Winkeln  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  und  $60^\circ$  auseinanderdivergieren.

Die Markierungslinien sorgen dafür, dass die Ablationsantennen genau so weit in das Lebergewebe eingeführt werden, dass der Abstand der Ablationsantennenspitzen 1 cm beträgt.

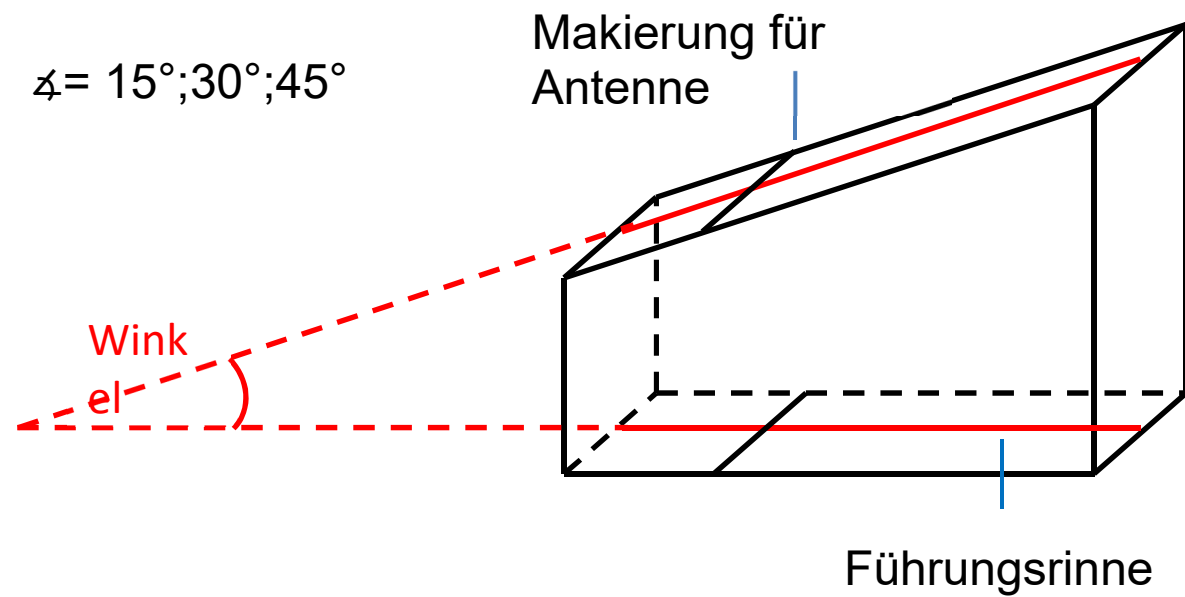


Abbildung 4: Skizze Rampe für die Winkelversuche



Abbildung 5: Originalfoto der Rampe (15°) für die Winkelversuche



Abbildung 6: Originalfoto der Rampe (45°) für die Winkelversuche

## 2.2 Präparate und Verarbeitung (Hilfsmittel)

- Digitalkamera Olympus  $\mu$  1050 SW (Olympus, Tokyo, Japan)
- Skalpell
- Sonde bzw. Führungsröhrchen (Schneidehilfe)
- Schieblehre zur Messung der kurzen bzw. langen Achse der Ablationszone

## 2.3 Versuchsobjekte

Für die Versuche wurde Gewebe in Form einer ganzen ex vivo Rinderleber mit Haut mit einem Gewicht zwischen fünf und neun Kilogramm verwendet. Die Lebern waren frisch vom Metzger und waren idealerweise bei 21°C temperiert. Es wurde darauf geachtet, dass die Ablationen nicht in gefäßreichen Gebieten durchgeführt wurden.

## 2.4 Ausschlusskriterien

Die folgenden Kriterien führten zum Abbruch und/oder erneuten Durchführung des Versuchs:

1. Fehlermeldung des Mikrowellenablationsgenerators:  
Ausfall des Kühlsystems
2. Koagulationszone mit direktem Kontakt zu einem großen Gefäß
3. Koagulationszone mit Kontakt zur Leberkapsel
4. Defekt an der Ablationsantennenspitze

## 2.5 Versuchsprotokolle

Jede Versuchsreihe besteht aus drei Durchgängen. Aus den drei Werten wird, für jede Achse, der Durchschnittswert und die Standardabweichung ermittelt.

Die Standardabweichung der Grundgesamtheit wurde anhand folgender Berechnung ermittelt

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Für die praktische Berechnung in dieser Arbeit wurde die Excelfunktion angewendet.

Die Shape Ratio wird jeweils mit folgender Formel berechnet:

$$\frac{\text{Langachse}}{(\text{Kurzachse 1} + \text{Kurzachse 2}) * 2}$$

Das Volumen wird im abschließendem Vergleich wird mit der Formel:

$$\frac{4}{3} \pi * \text{Langachse} * \text{Kurzachse 1} * \text{Kurzachse 2}$$

### 2.5.1 Versuche mit einer Ablationssonde

Die Versuche wurden mit drei verschiedenen Leistungsstufen (35 W, 40 W, 45 W) und drei verschiedenen Zeiten (5 min, 10 min, 15 min) durchgeführt.

Zur Berechnung der Shape Ratio wurden jeweils die Kurzachse 1 und die Kurzachse 2, sowie die Langachse zur Berechnung herangezogen.

Shape Ratio = Langachse: (Kurzachse 1 + Kurzachse 2) / 2

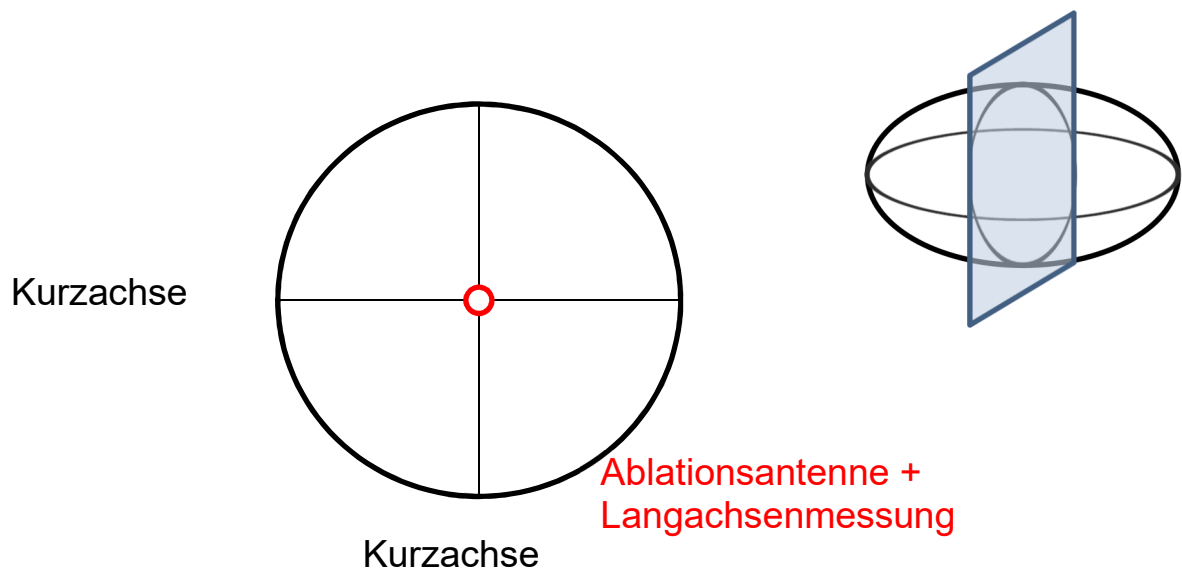


Abbildung 7: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit einer Ablationssonde

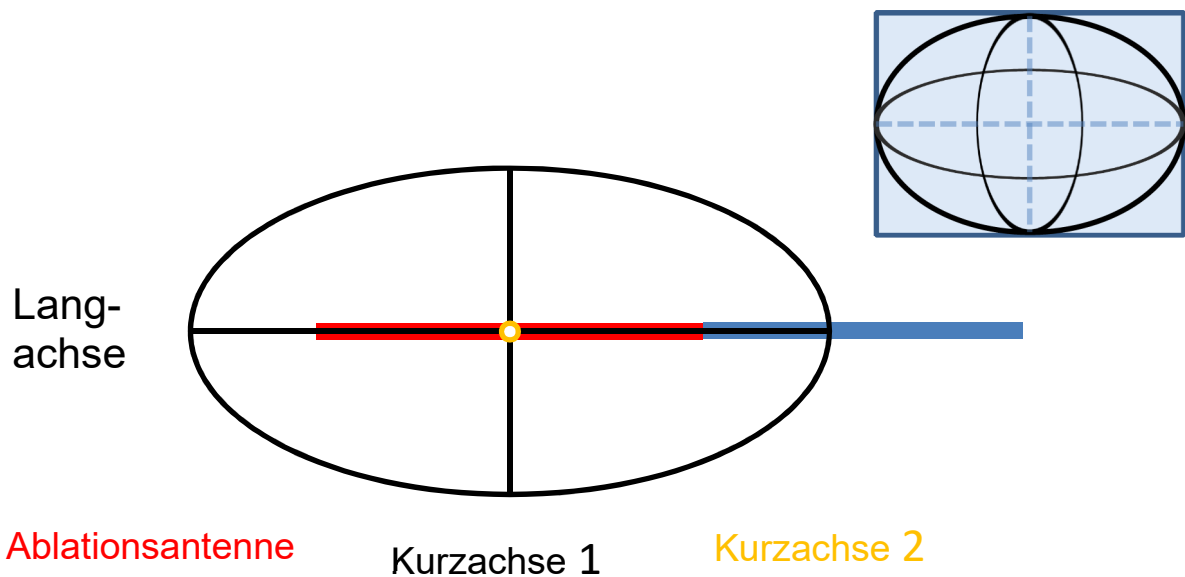


Abbildung 8: Skizze des Längsschnitts der Versuchsanordnung mit einer Ablationssonde



Abbildung 9: Originalfoto des Querschnitts eines 1- Sondenversuchs



Abbildung 10: Originalfoto des Längsschnitts eines 1- Sondenversuchs

### 2.5.2 Versuche mit zwei Ablationssonden

Diese Versuche wurden mit zwei Ablationssonden durchgeführt, die mit einem Abstandhalter aus Holz auf einen Abstand von 1,5 cm, 2,0 cm, und 2,5 cm eingestellt wurden, siehe Kap 2.1.5.

Die Versuche wurden mit drei verschiedenen Wattstärken (35, 40, 45) und drei verschiedenen Zeiten (5 min, 10 min, 15 min) durchgeführt.

Zur Berechnung der Shape Ratio wurden jeweils die Kurzachse 1 und die Kurzachse 2, sowie die Langachse zur Berechnung herangezogen.

Shape Ratio = Langachse : ( Kurzachse 1 + Kurzachse 2 ) / 2

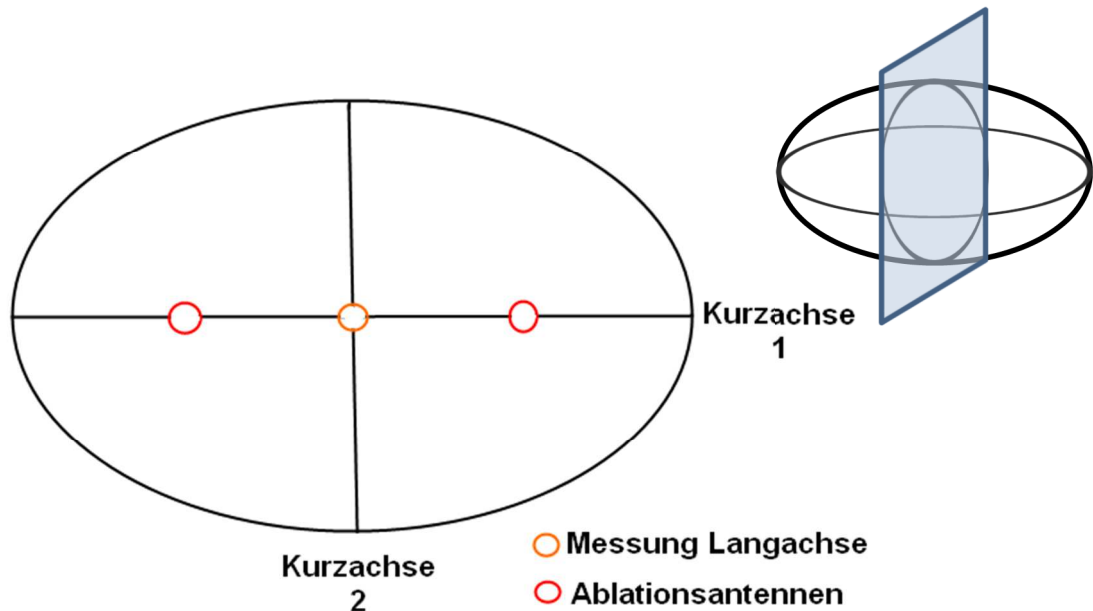


Abbildung 11: Skizze des Querschnitts der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden



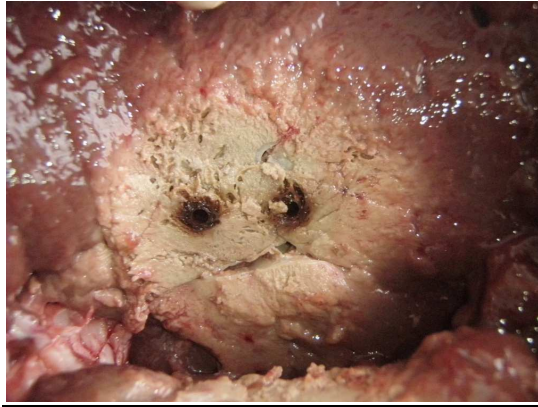


Abbildung 12: Originalfoto des Querschnitts eines 2- Sondenversuchs

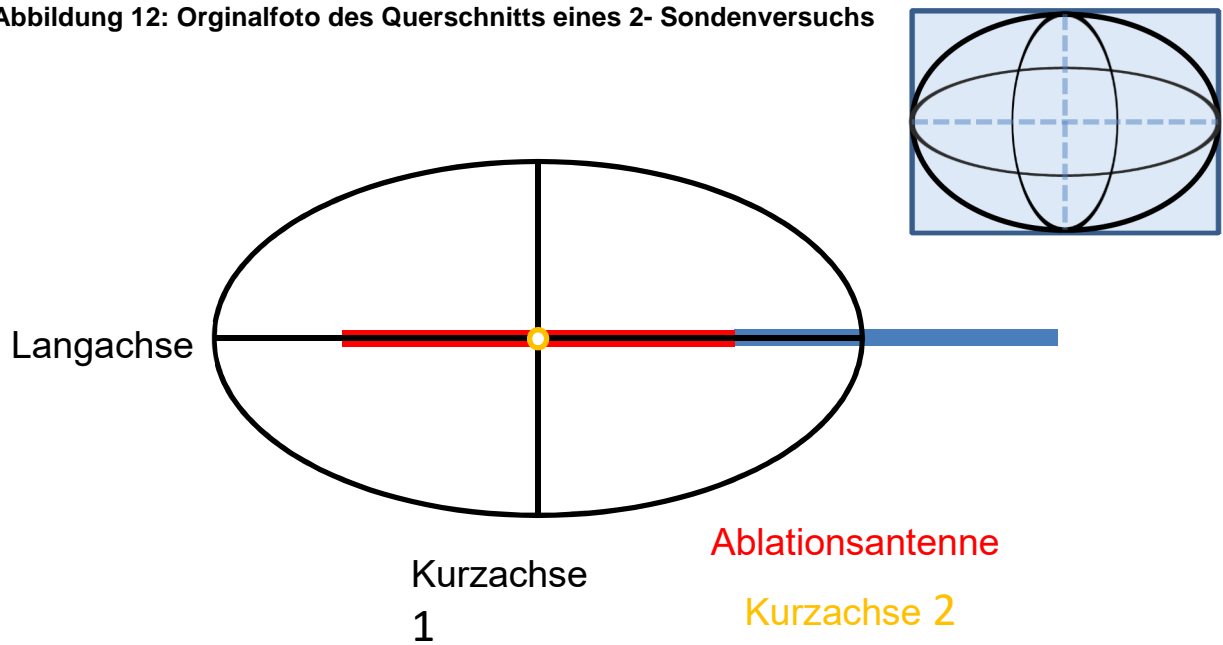


Abbildung 13: Skizze des Längsschnitts der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden

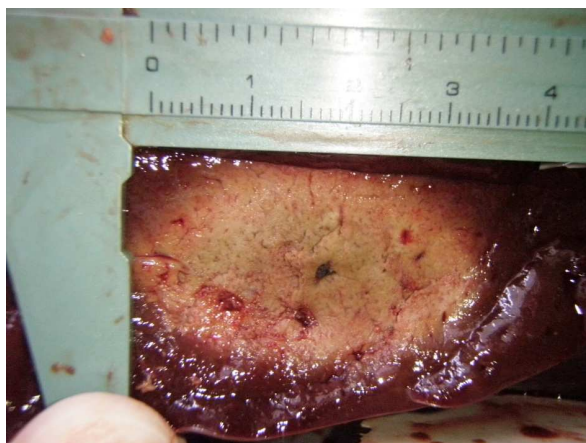


Abbildung 14: Originalfoto des Längsschnitts eines 2- Sondenversuchs

### 2.5.3 Versuche mit drei Ablationssonden

Diese Versuche wurden mit drei Ablationssonden durchgeführt, die mit einem Abstandhalter aus Holz auf einen Abstand von 2,0 cm, 3,0 cm und 4,0 cm eingestellt wurden, siehe Kap 2.1.5.2.

Die Versuche wurden mit drei verschiedenen Wattstärken (35, 40, 45) und drei verschiedenen Zeiten (5 min, 10 min, 15 min) durchgeführt.

Bei dem Versuch mit einem Sondenabstand von 2,0 cm und einer Applikationsdauer von 15 min war die Kurzhachse 2 b diejenige mit dem größten Durchmesser, es ergab sich ein annähernd runder Querschnitt, deswegen wurde auf die Messung der Kurzhachsen 2 a und 2c verzichtet.

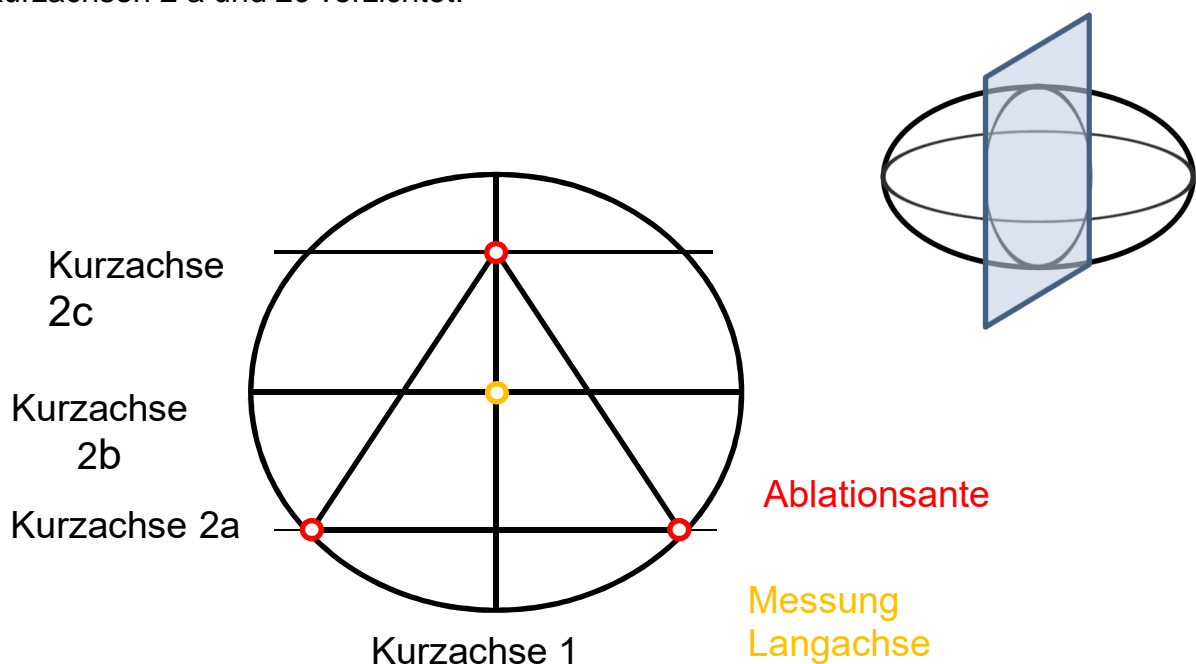


Abbildung 15: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit drei Ablationssonden

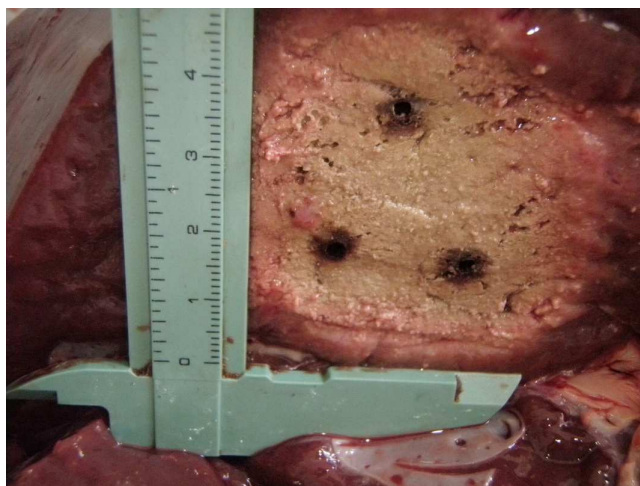
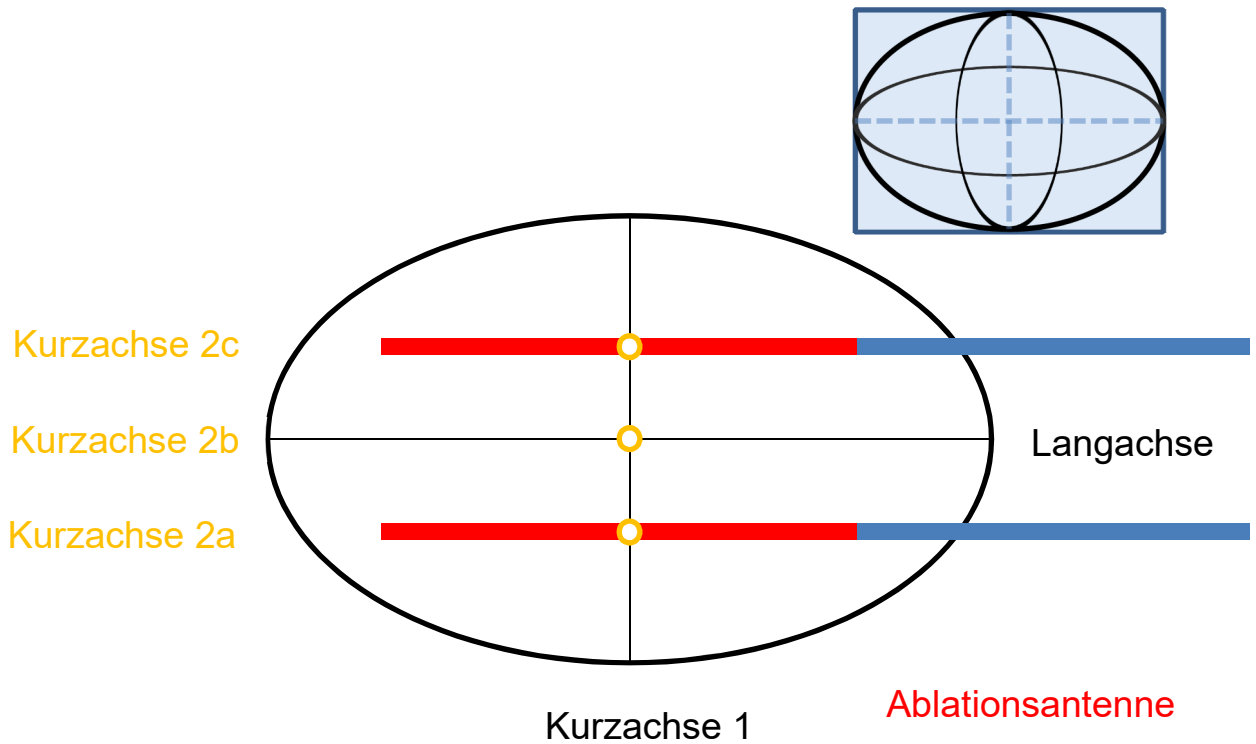


Abbildung 16: Originalfoto des Querschnitts eines 3- Sondenversuchs



**Abbildung 17: Skizze des Längsschnitt der Versuchsanordnung mit drei Ablationssonden**



**Abbildung 18: Originalfoto des Längsschnitts eines 3- Sondenversuchs**

Zur Berechnung der Shape Ratio wurden jeweils die Kurzachse 1 und die Kurzachse 2 b zur Berechnung herangezogen.

$$\text{Shape Ratio} = \text{Langachse} : (\text{Kurzachse 1} + \text{Kurzachse 2b}) / 2$$

#### 2.5.4 Versuche mit zwei Ablationsantennen und verschiedenen Winkeln

Diese Versuche wurden mit zwei Ablationsantennen durchgeführt, die mit Hilfe einer Rampe aus Holz in den Winkeln  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  zueinanderstehen. Die Spitzen der Antennen hatten jeweils einen Abstand von 1cm.

Die Ablationsdauer der Versuche betrug für jeden Winkel bei 35, 40 und 45 Watt für jeweils 10 min.

Da davon auszugehen war, dass es verschieden Winkeln der Antennen zu Abweichungen von der ellipsoiden Form des Koagulationsgebietes kommen würde, wurden jeweils drei verschiedene Messungen für die Langachse, Kurzachse 1 und Kurzachse 2 durchgeführt.

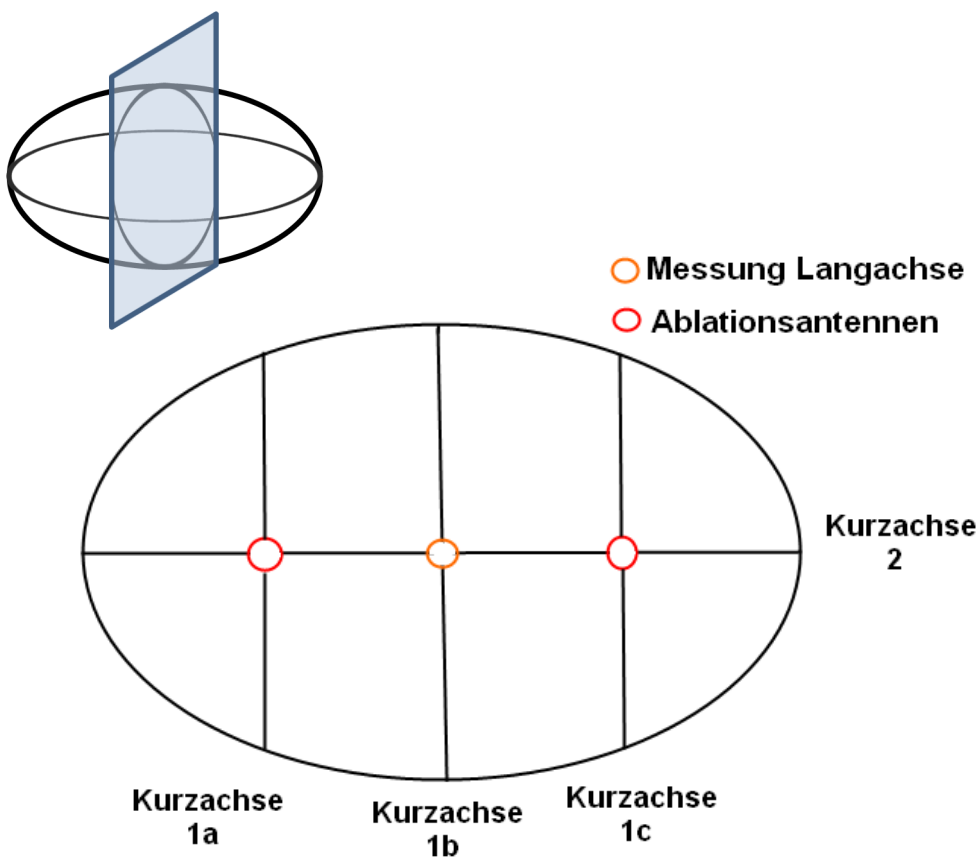


Abbildung 19: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln

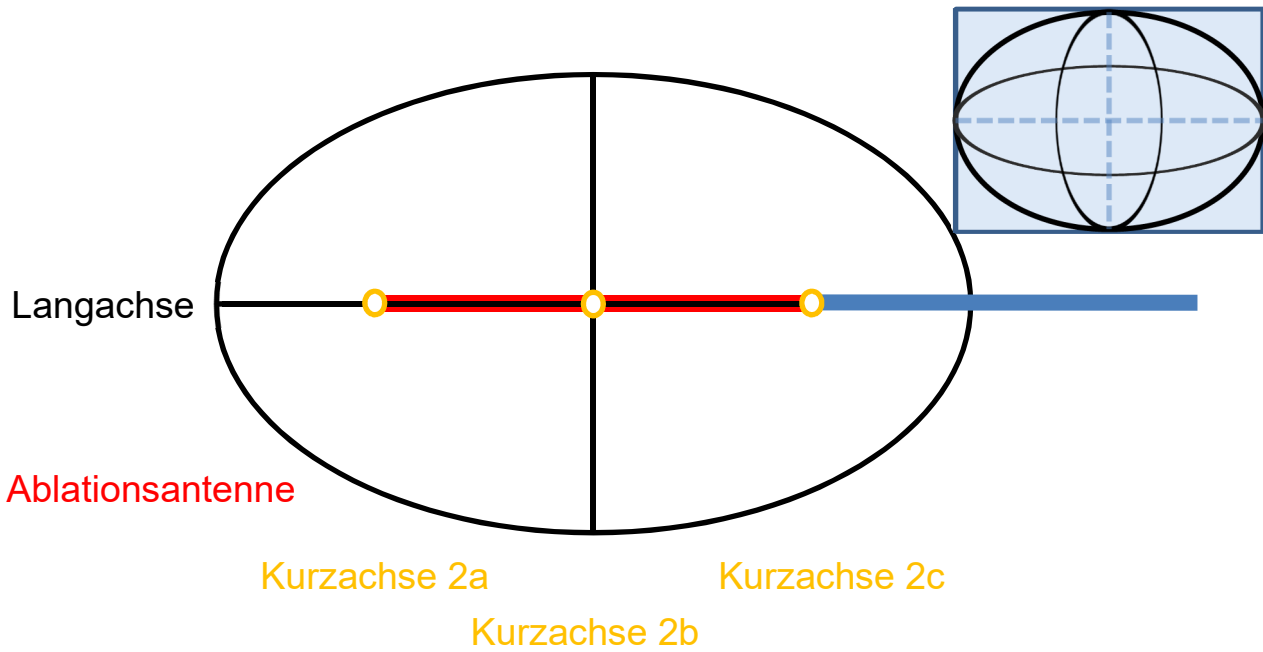


Abbildung 20: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von der Seite) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln

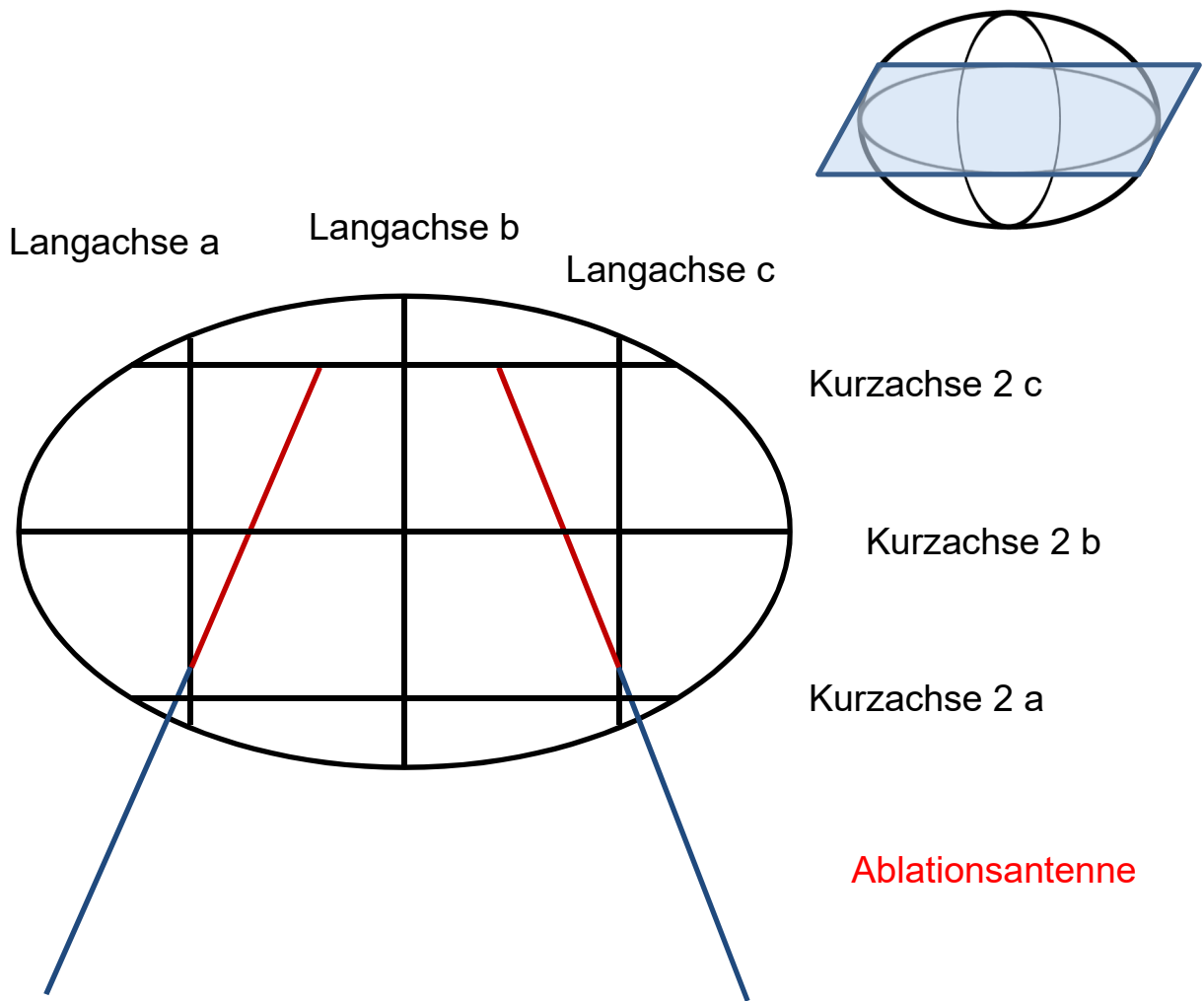
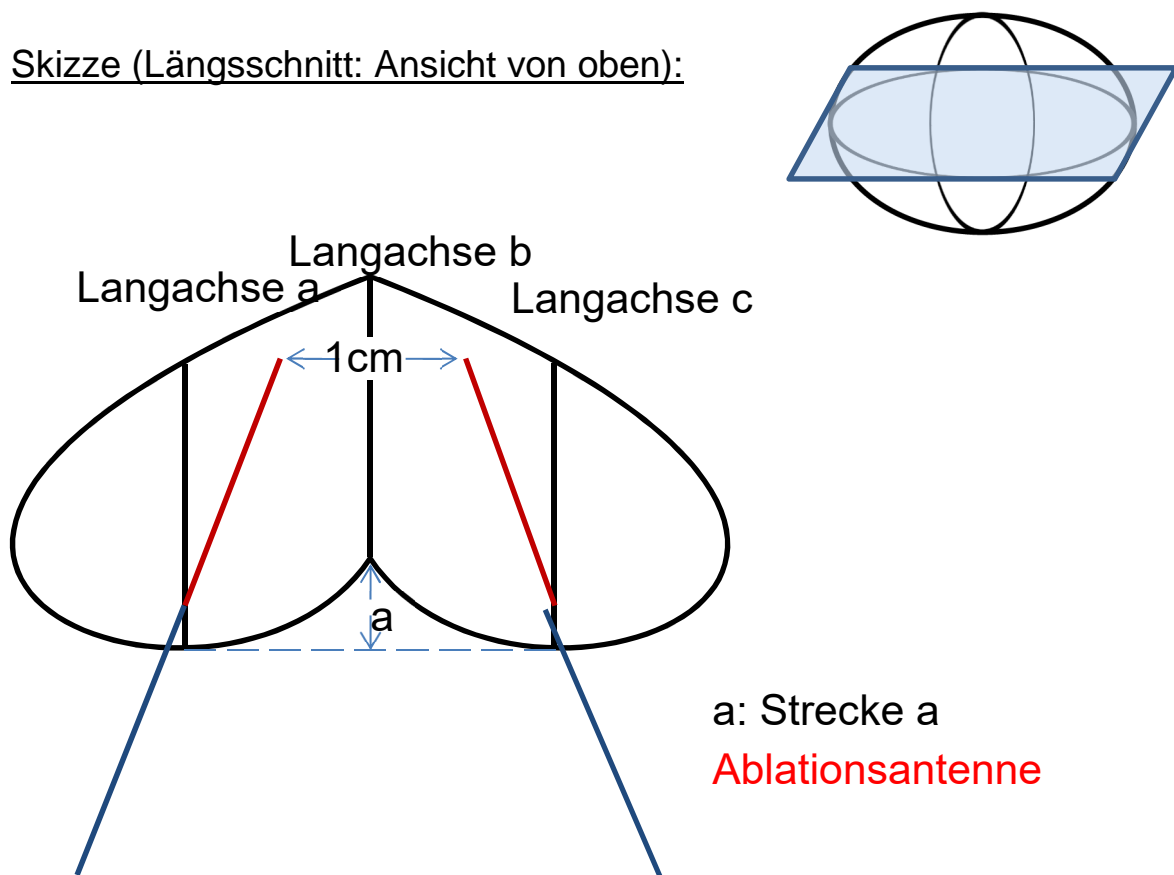


Abbildung 21: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von oben) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln

Bei den Versuchsaufbauten mit einem Winkel von  $45^\circ$  kam es bei den Versuchen zu einer Besonderheit: Es entstand im Längsschnitt eine nahezu herzförmige Form, mit einer Koagulationslücke an der proximalen Koagulationzone auf Höhe der Langachse b. Die Länge dieser Koagulationslücke wurde durch eine Strecke gemessen, die eine Fortsetzung der Langachse b darstellt. Die Fortsetzung wird begrenzt zum Einen von dem proximalen Ende der Langachse b und zum Anderen durch eine senkrecht zu b verlaufenden Hilfsgeraden, die durch die proximalen Enden der Langachse a und c gelegt wurde.

Skizze (Längsschnitt: Ansicht von oben):



**Abbildung 22: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von oben) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit dem Winkel von  $45^\circ$**

Zur Berechnung der Shape Ratio wurde jeweils die mittlere der drei Messungen herangezogen.

$$\text{Shape Ratio} = \text{Langachse 1b} : (\text{Kurzachse 1b} + \text{Kurzachse 2b}) / 2$$

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse des 1- Sonden Versuchs

##### 3.1.1 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 35 W

Bei den Versuchen mit einer Ablationsantenne und 35 Watt beträgt die Langachse bei Applikationszeit von 5 min  $33 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1 erreicht  $15 \pm 0$  mm und die Kurzachse 2  $13 \pm 1$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min liegen die Ergebnisse der Langachse bei  $40 \pm 1$  mm, der Kurzachse 1 bei  $21 \pm 1$  mm und der Kurzachse 2 bei  $20 \pm 1$  mm.

Erhöht man die Applikationsdauer auf 15 min, erhöht sich die Langachse auf  $44 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1 auf  $24 \pm 0$  mm und die Langachse 2 auf  $23 \pm 1$  mm.

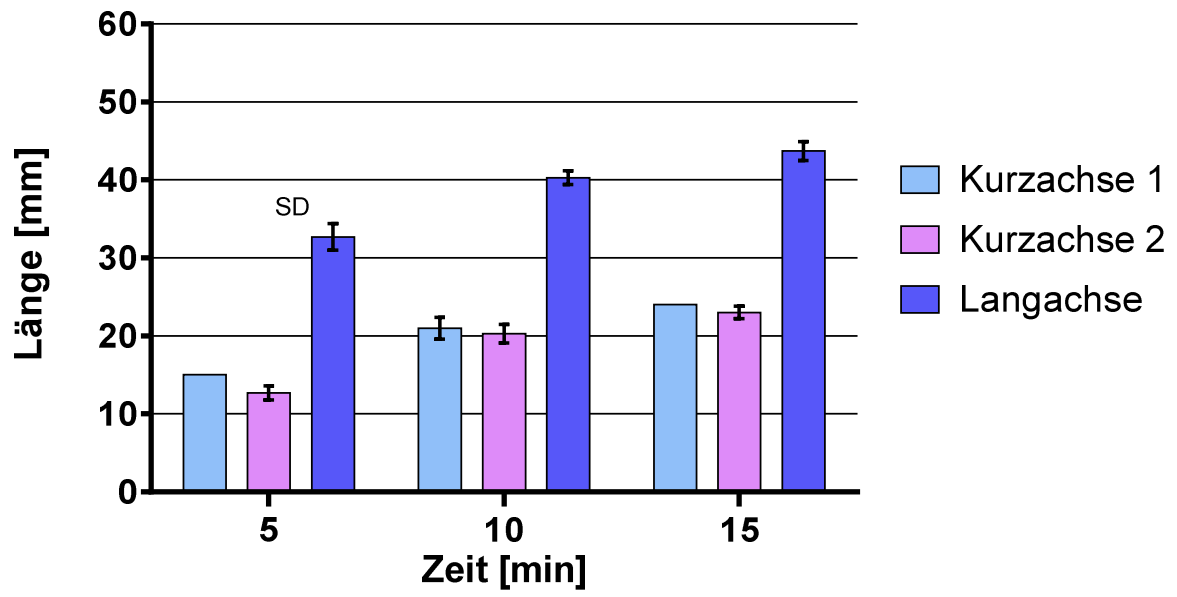
Die Shape Ratio verringert sich je länger die Applikationsdauer war von 2,4 bei 5 min und 2,0 bei 10 min auf 1,9 bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	5	15	35	14	2,41
2			15	32	12	2,37
3			15	31	12	2,29
Mean			15,0	32,7	12,7	2,4
SD			0,0	1,7	0,9	0,0

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	10	20	41	19	2,1
2			23	41	22	1,82
3			20	39	20	1,95
Mean			21,0	40,3	20,3	2,0
SD			1,4	0,9	1,2	0,1

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	15	24	45	24	1,88
2			24	44	23	1,87
3			24	42	22	1,83
Mean			24,0	43,7	23,0	1,9
SD			0,0	1,2	0,8	0,0

### Konstante: P= 35 Watt





### 3.1.2 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 40 W

Die Ergebnisse bei einer Applikationsdauer von 5 min betragen für die Langachse  $36 \pm 4$  mm, die Kurzachse 1  $18 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $16 \pm 2$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min erreicht die Langachse  $44 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $24 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $23 \pm 1$  mm.

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min erhöht sich die Langachse auf  $47 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1 auf  $28 \pm 1$  mm, die Kurzachse 2 auf  $26 \pm 0$  mm.

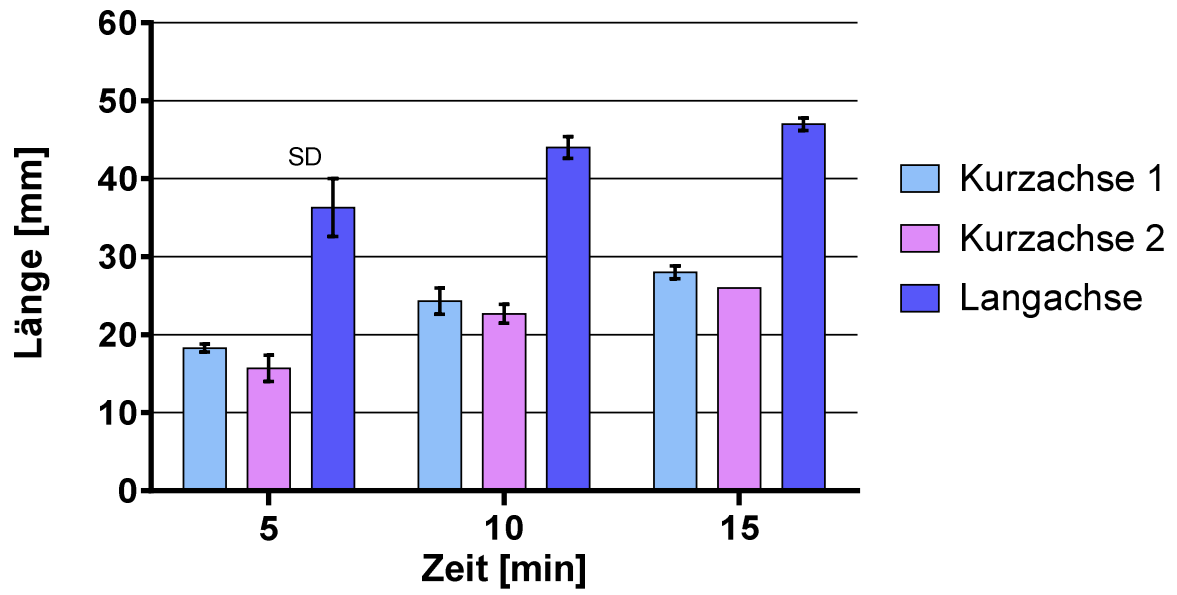
Die Shape Ratio verringert sich je länger die Applikationsdauer war, von 2,13 bei 5 min und 1,88 bei 10 min auf 1,74 bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	5	18	32	14	2,00
2			18	36	15	2,18
3			19	41	18	2,22
Mean			18,3	36,3	15,7	2,13
SD			0,5	3,7	1,7	0,10

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	10	25	43	23	1,79
2			26	46	24	1,84
3			22	43	21	2,00
Mean			24,3	44,0	22,7	1,88
SD			1,7	1,4	1,2	0,09

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	15	28	46	26	1,70
2			29	48	26	1,75
3			27	47	26	1,77
Mean			28,0	47,0	26,0	1,74
SD			0,8	0,8	0,0	0,03

Konstante: P= 40 Watt



### 3.1.3 Ergebnisse des 1- Sonden-Versuchs mit 45 W

Die Ergebnisse bei einer Applikationsdauer von 5 min betragen für die Langachse  $41 \pm 3$  mm, für die Kurzachse 1  $20 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2  $19 \pm 1$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min erreicht die Langachse  $43 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $27 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $25 \pm 1$  mm.

Erhöht man die Applikationsdauer auf 15 min, lag die Langachse bei  $50 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $32 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $30 \pm 2$  mm.

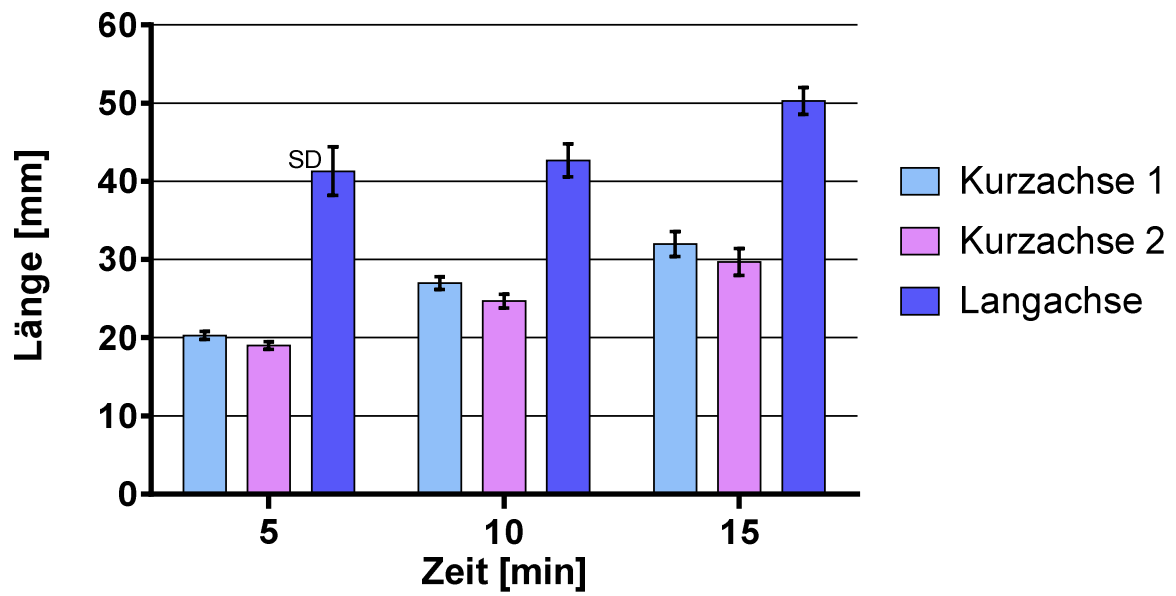
Wie bei den Versuchen mit niedriger Applikationsleistung nimmt die Shape Ratio auch hier bei zunehmender Dauer von 2,1 bei 5 min, 1,65 bei 10 min auf 1,64 bei 15 min ab.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	5	20	44	19	2,26
2			20	37	18	1,95
3			21	43	20	2,10
Mean			20,3	41,3	19,0	2,10
SD			0,5	3,1	0,8	0,13

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	10	28	40	26	1,48
2			27	45	24	1,76
3			26	43	24	1,72
Mean			27,0	42,7	24,7	1,65
SD			0,8	2,1	0,9	0,12

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	15	30	51	28	1,76
2			34	52	32	1,58
3			32	48	29	1,57
Mean			32,0	50,3	29,7	1,64
SD			1,6	1,7	1,7	0,09

Konstante: P= 45 Watt

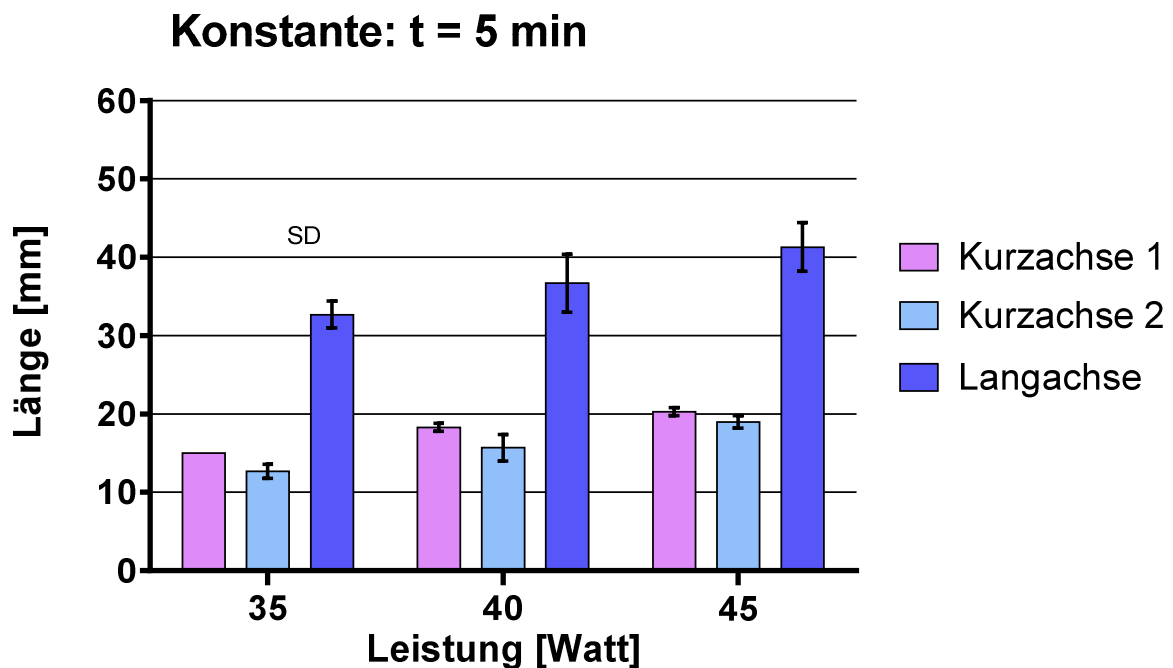


### 3.1.4 Vergleich von Versuchsergebnissen bei gleicher Applikationsdauer

a) Applikationsdauer: 5 min

Vergleicht man die Anwendung unterschiedlicher Leistungen bei gleicher Applikationsdauer von 5 min, so stellt man fest, dass sich die Langachse von  $33 \pm 2$  mm bei 35 W über  $36 \pm 4$  mm bei 40 Watt auf  $41 \pm 3$  mm bei 45 Watt erhöht. Die Kurzachse 1 erhöht sich von  $15 \pm 0$  mm über  $18 \pm 1$  mm auf  $20 \pm 1$  mm, die Kurzachse 2 von  $13 \pm 1$  mm über  $16 \pm 2$  mm auf  $19 \pm 1$  mm. Die Shape Ratio nahm bei steigender Leistung von 2,4 über 2,13 zu 2,1 ab.

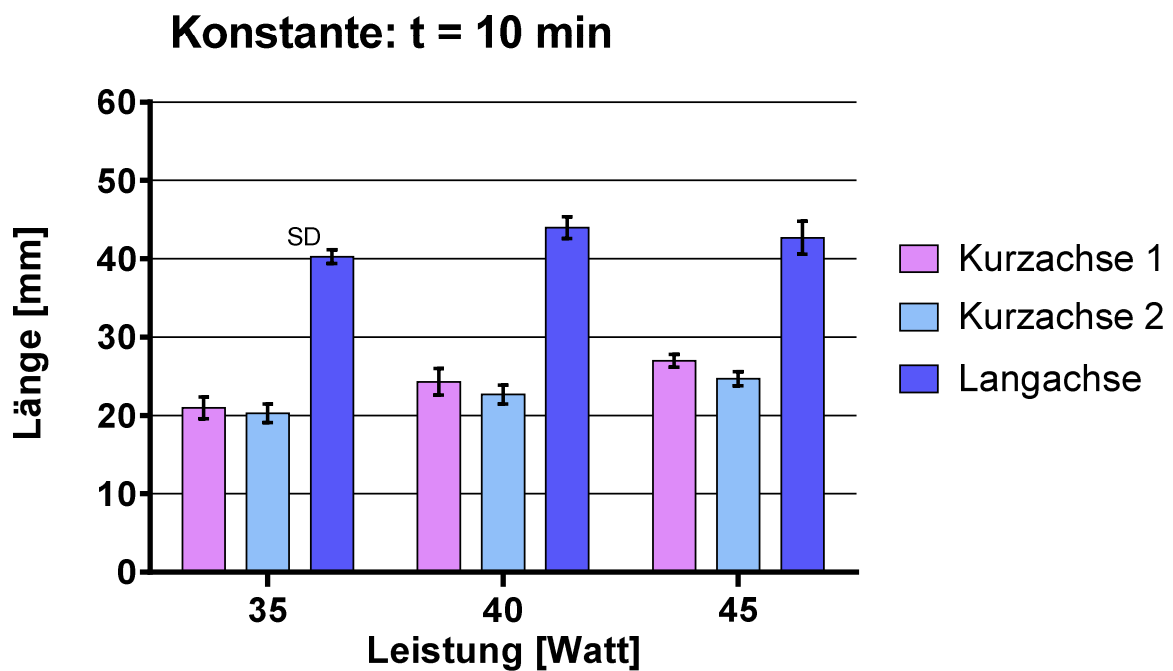
Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	32,7	15	12,7	2,4
40	36,7	18,3	15,7	2,13
45	41,3	20,3	19	2,1



b) Applikationsdauer: 10 min

Bei einer Applikationsdauer von 10 min ergibt sich eine Langachse von  $40 \pm 1$  mm bei 35 Watt,  $44 \pm 1$  mm bei 40 Watt und  $43 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Für die Kurzachse 1 ergeben sich Werte von  $21 \pm 1$  mm bei 35 Watt, über  $24 \pm 2$  mm bei 40 Watt und  $27 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Für die Kurzachse 2 betragen die Ergebnisse  $20 \pm 1$  mm bei 35 Watt,  $23 \pm 1$  mm bei 40 Watt und  $25 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Die Shape Ratio verringert sich bei steigender Applikationsleistung von 2,0 über 1,88 auf 1,65.

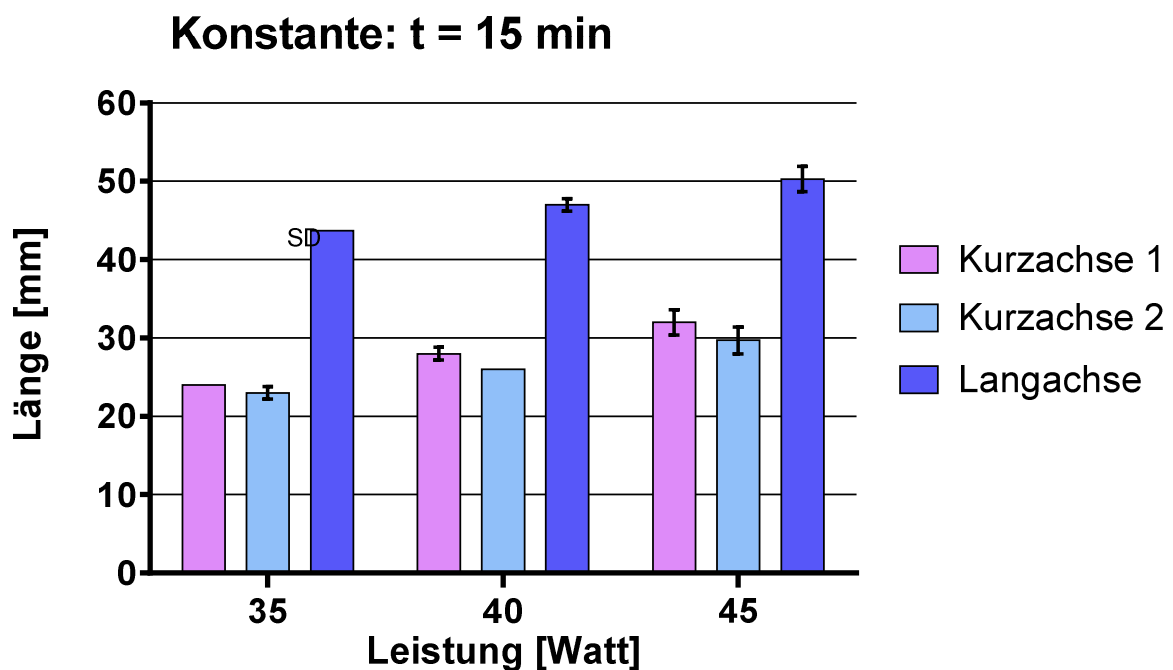
Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	40,3	21	20,3	2
40	44	24,3	22,7	1,88
45	42,7	27	24,7	1,65



c) Applikationsdauer: 15 min

Erhöht man die Versuchsdauer auf 15 min ergeben sich für die Langachse Werte von  $44 \pm 1$  mm bei 35 Watt,  $47 \pm 1$  mm bei 40 Watt und  $50 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Für die Kurzachse 1 ergeben sich Werte von  $24 \pm 0$  mm bei 35 Watt,  $28 \pm 1$  mm bei 40 Watt und  $32 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Die Werte für die Kurzachse 2 betragen  $23 \pm 1$  mm bei 35 Watt,  $26 \pm 0$  mm bei 40 Watt und  $30 \pm 2$  mm bei 45 Watt. Wie bei den vorherigen Vergleichen verringert sich auch diesmal die Shape Ratio bei steigender Ablationsleistung von 1,9 bei 35 Watt über 1,74 bei 40 Watt zu 1,64 bei 45 Watt.

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	43,7	24	23	1,9
40	47	28	26	1,74
45	50,3	32	29,7	1,64



## 3.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs

### 3.2.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm

#### 3.2.1.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 35 W

Bei den Versuchen mit zwei Ablationsantennen mit dem Abstand von 1,5 cm und einer Applikationsdauer von 5 min beträgt die Langachse  $36 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $24 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $17 \pm 1$  mm.

Erhöht man die Applikationsdauer auf 10 min, erreicht die Langachse  $43 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $29 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $25 \pm 0$  mm.

Bei einer Versuchsdauer von 15 min erhöht sich die Langachse auf  $47 \pm 3$  mm, die Kurzachse 1 auf  $37 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2 auf  $29 \pm 1$  mm.

Die Shape Ratio verringert sich bei steigender Applikationsdauer von  $1,81 \pm 0,14$  bei 5 min, über  $1,6 \pm 0,07$  bei 10 min zu  $1,42 \pm 0,1$  bei 15 min.

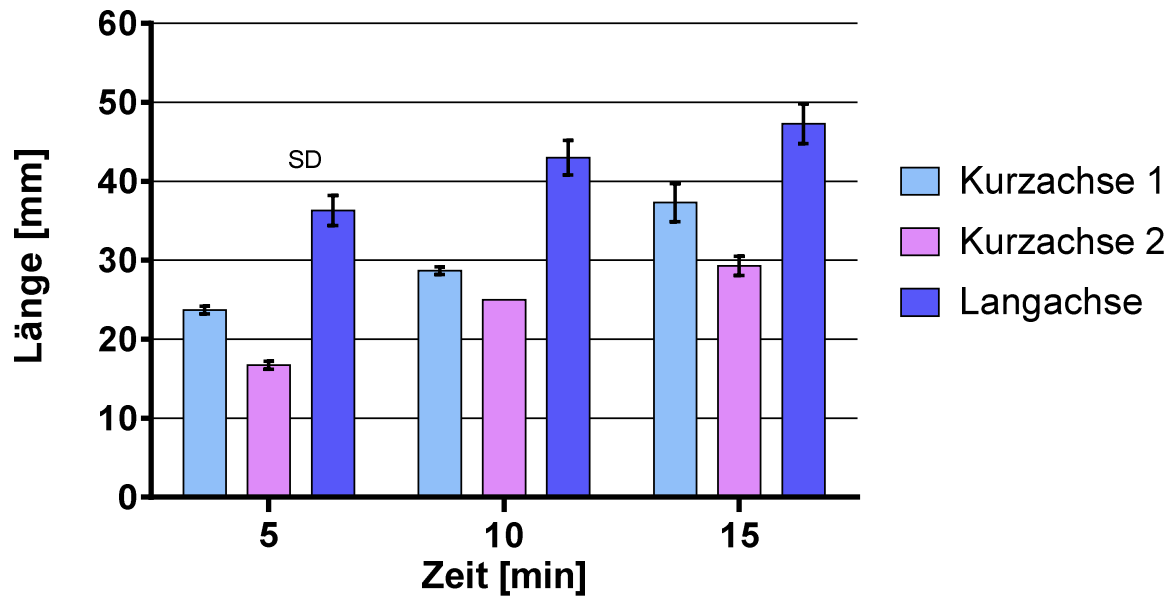
Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	5	23	39	16	2,00
2			24	35	17	1,71
3			24	35	17	1,71
Mean			23,7	36,3	16,7	1,81
SD			0,5	1,9	0,5	0,14

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	10	28	42	25	1,58
2			29	46	25	1,70
3			29	41	25	1,52
Mean			28,7	43,0	25,0	1,60
SD			0,5	2,2	0,0	0,07

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	15	34	50	31	1,54
2			39	48	28	1,43
3			39	44	29	1,29
Mean			37,3	47,3	29,3	1,42
SD			2,4	2,5	1,2	0,10



Konstante: P= 35 Watt



### 3.2.1.2 Ergebnisse des 2-Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 40 W

Die Ergebnisse bei einer Applikationsdauer von 5 min in betragen für die Langachse  $39 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $22 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2  $20 \pm 1$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min ergibt sich für die Langachse  $45 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $28 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2  $25 \pm 1$  mm.

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min erreicht die Langachse  $47 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $38 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $32 \pm 0$  mm,

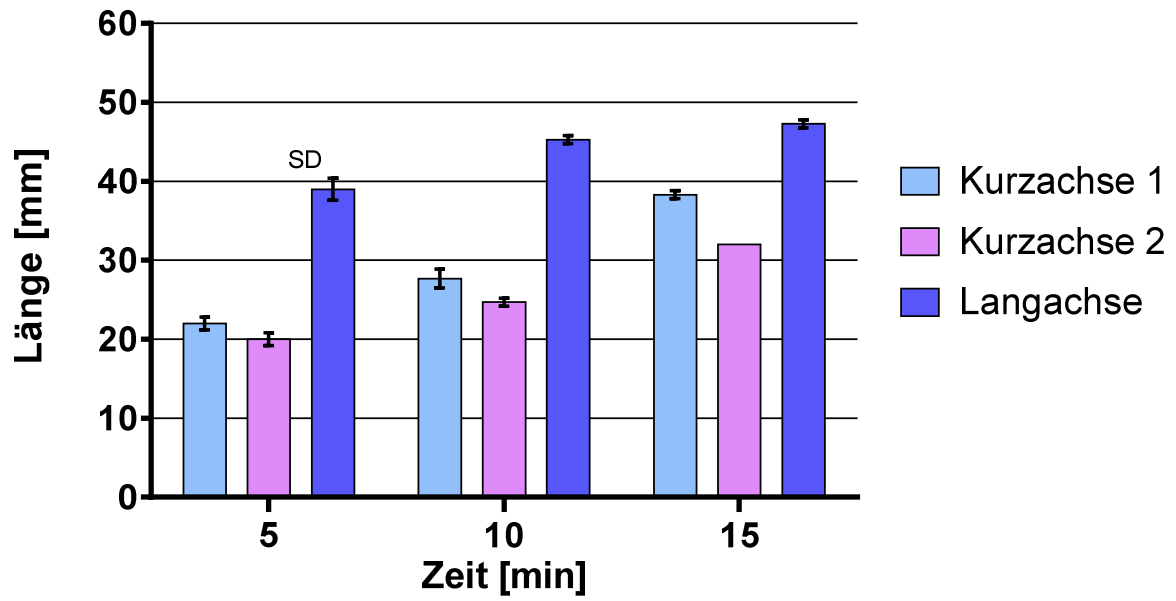
Wie bei dem Versuch mit der Applikationsleistung von 35 Watt verringert sich die Shape Ratio bei steigender Versuchsdauer von  $1,86 \pm 0,11$  bei 5 min über  $1,73 \pm 0,05$  bei 10 min zu  $1,34 \pm 0,02$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	5	22	38	19	1,85
2			21	41	20	2,00
3			23	38	21	1,73
Mean			22,0	39,0	20,0	1,86
SD			0,8	1,4	0,8	0,11

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	10	26	46	25	1,80
2			28	45	24	1,73
3			29	45	25	1,67
Mean			27,7	45,3	24,7	1,73
SD			1,2	0,5	0,5	0,05

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	15	38	48	32	1,37
2			39	47	32	1,32
3			38	47	32	1,34
Mean			38,3	47,3	32,0	1,34
SD			0,5	0,5	0,0	0,02

Konstante: P= 40 Watt



### 3.2.1.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 1,5 cm mit 45 W

Die Ergebnisse bei einer Applikationsleistung von 45 Watt betragen bei einer Applikationsdauer von 5 min für die Langachse  $41 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $25 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2  $21 \pm 1$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min erreicht die Langachse  $50 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $35 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $28 \pm 1$  mm.

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min liegt die Langachse bei 50 mm, die Kurzachse 1  $44 \pm 3$  mm und die Kurzachse 2  $38 \pm 1$  mm.

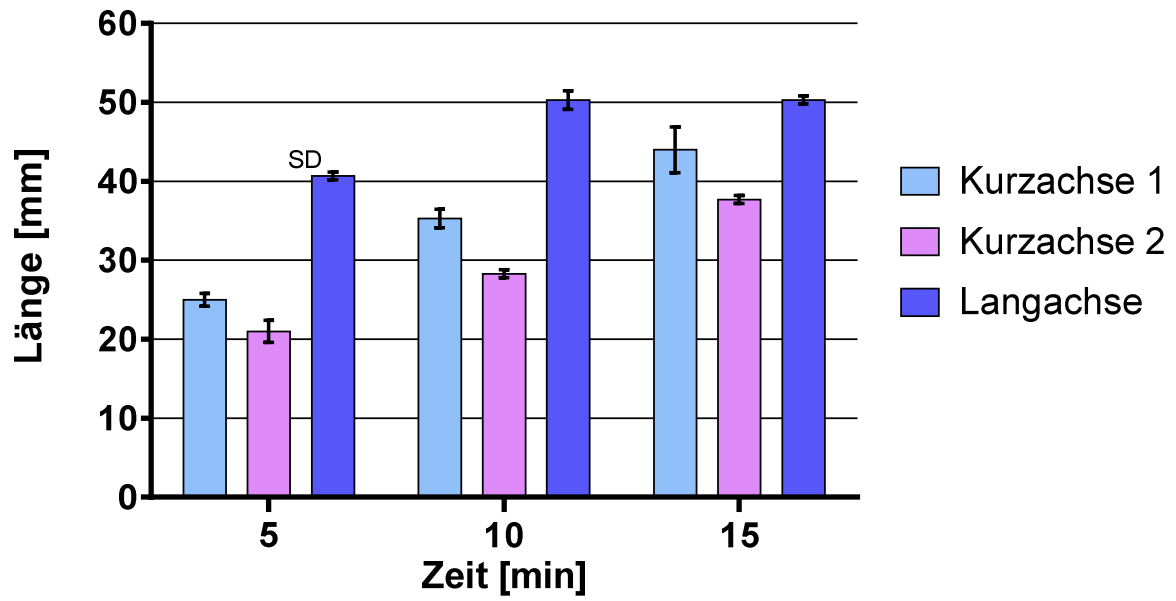
Auch bei der Applikationsleistung von 45 Watt zeigt sich eine Verringerung der Shape Ratio bei steigender Applikationsdauer von  $1,77 \pm 0,05$  bei 5 min über  $1,58 \pm 0$  bei 10 min zu  $1,23 \pm 0,04$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	5	25	40	22	1,70
2			24	41	22	1,78
3			26	41	19	1,82
Mean			25,0	40,7	21,0	1,77
SD			0,8	0,5	1,4	0,05

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	10	37	52	29	1,58
2			35	50	28	1,59
3			34	49	28	1,58
Mean			35,3	50,3	28,3	1,58
SD			1,2	1,2	0,5	0,00

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	15	45	51	38	1,23
2			47	50	38	1,18
3			40	50	37	1,29
Mean			44,0	50,3	37,7	1,23
SD			2,9	0,5	0,5	0,04

Konstante: P= 45 Watt



### 3.2.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm

#### 3.2.2.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 35 W

Bei den Versuchen mit zwei Ablationsantennen mit einem Abstand von 2,0 cm, einer Applikationsleistung von 35 Watt und einer Applikationsdauer von 5 min beträgt die Langachse  $32 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $24 \pm 1$  und die Kurzachse 2  $15 \pm 1$  mm.

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 10 min erhöht sich die Langachse auf  $38 \pm$  mm, die Kurzachse 1 auf  $34 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2 auf  $26 \pm 2$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 15 min erreicht die Langachse schließlich  $47 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $39 \pm 3$  mm und die Kurzachse 2  $31 \pm 2$  mm.

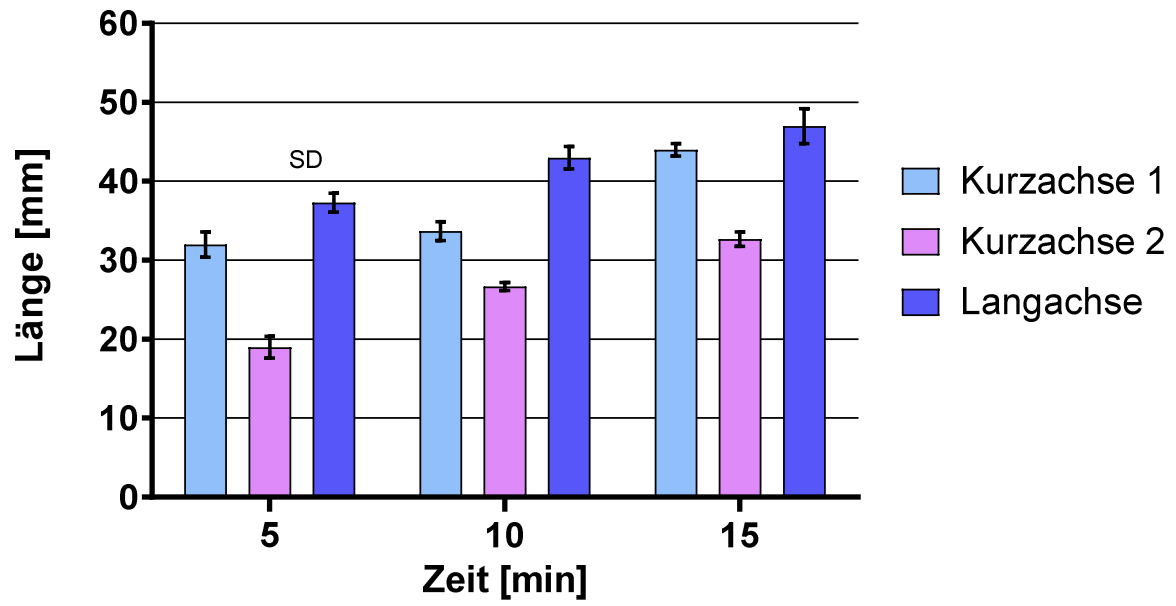
Die Shape Ratio betrug bei einer Versuchsdauer von 5 min  $1,61 \pm 0,1$ , bei 10 min  $1,25 \pm 0,04$  und bei 15 min  $1,34 \pm 0,15$

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	5	24	32	16	1,60
2			25	30	15	1,50
3			24	33	14	1,74
Mean			24,3	31,7	15,0	1,61
SD			0,5	1,2	0,8	0,10

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	10	33	38	28	1,25
2			34	39	26	1,30
3			36	36	24	1,20
Mean			34,3	37,7	26,0	1,25
SD			1,2	1,2	1,6	0,04

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	15	36	50	28	1,56
2			40	45	32	1,25
3			42	45	32	1,22
Mean			39,3	46,7	30,7	1,34
SD			2,5	2,4	1,9	0,15

Konstante: P= 35 Watt



### 3.2.2.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 40 W

Bei einer Applikationsleistung von 40 Watt erreicht die Langachse bei einer Applikationsdauer von 5 min  $37 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $32 \pm 2$  mm, die Kurzachse 2  $19 \pm 1$  mm.

Nach Steigerung der Applikationsleistung auf 10 min lag die Langachse bei  $43 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $34 \pm 1$  mm, die Kurzachse 2  $27 \pm 1$  mm.

Bei einer Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min beträgt die Langachse  $47 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $44 \pm 1$  mm, die Kurzachse 2  $33 \pm 1$  mm.

Die Shape Ratio verringert sich von  $1,47 \pm 0,13$  bei 5 min über  $1,42 \pm 0,01$  bei 10 min und  $1,22 \pm 0,06$  bei 15 min.

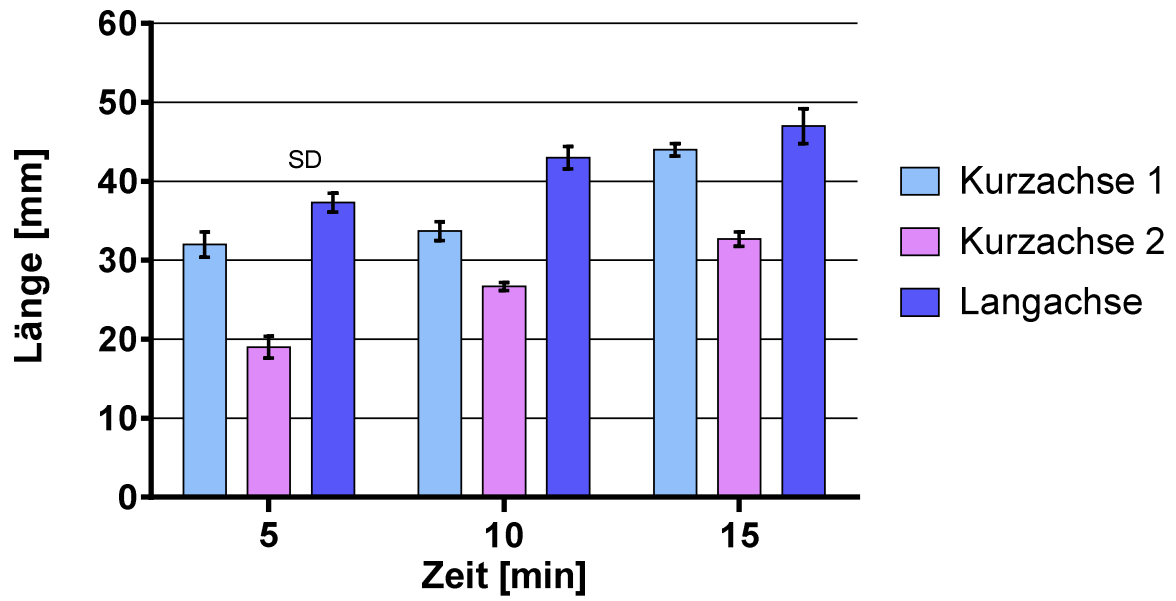
Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	5	34	36	21	1,31
2			30	39	18	1,63
3			32	37	18	1,48
Mean			32,0	37,3	19,0	1,47
SD			1,6	1,2	1,4	0,13

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	10	35	44	27	1,42
2			32	41	26	1,41
3			34	44	27	1,44
Mean			33,7	43,0	26,7	1,42
SD			1,2	1,4	0,5	0,01

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	15	44	48	32	1,26
2			45	49	32	1,27
3			43	44	34	1,14
Mean			44,0	47,0	32,7	1,22
SD			0,8	2,2	0,9	0,06



Konstante: P= 40 Watt



### 3.2.2.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,0 cm mit 45 W

Bei der Maximalleistung von 45 Watt und einer Applikationsdauer von 5 min beträgt die Langachse  $36 \pm 3$  mm, die Kurzachse 1  $28 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $31 \pm 1$  mm.

Nach Erhöhung der der Applikationsdauer auf 10 min liegen die Ergebnisse für die Langachse bei  $47 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1 bei  $40 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2 bei  $31 \pm 0,5$  mm.

Schließlich betragen bei einer Applikationsdauer von 15 min die Werte für die Langachse  $52 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $46 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $35 \pm 1$  mm.

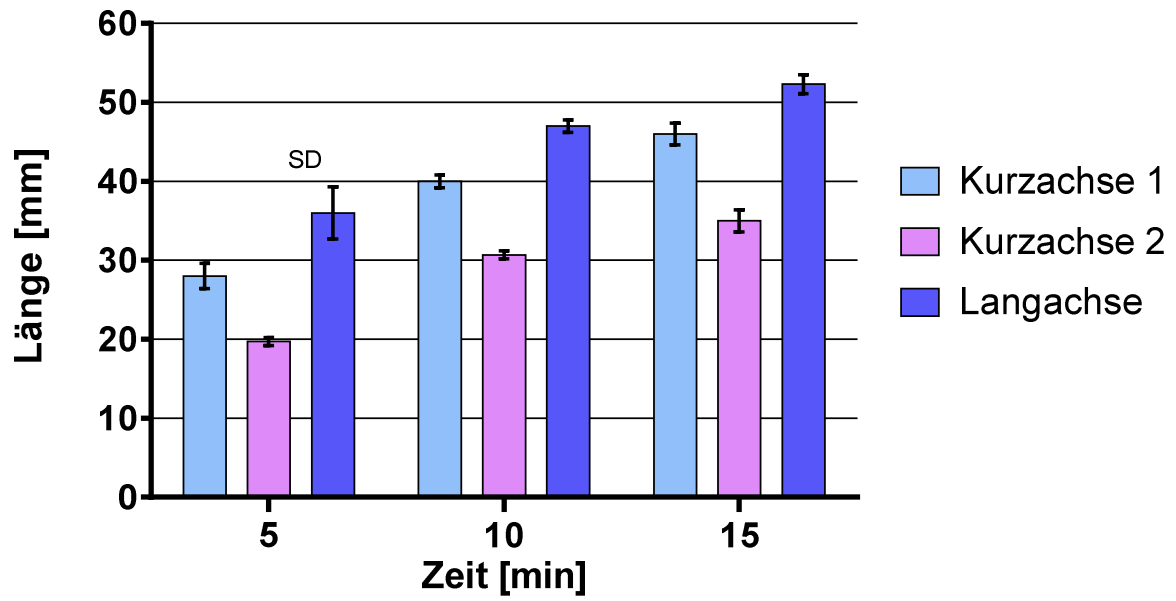
Die Shape Ratio lag bei  $1,52 \pm 0,18$  bei 5 min,  $1,33 \pm 0,05$  bei 10 min und  $1,29 \pm 0,04$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	5	26	40	20	1,74
2			30	32	19	1,31
3			28	36	20	1,50
Mean			28,0	36,0	19,7	1,52
SD			1,6	3,3	0,5	0,18

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	10	41	46	31	1,28
2			40	47	31	1,32
3			39	48	30	1,39
Mean			40,0	47,0	30,7	1,33
SD			0,8	0,8	0,5	0,05

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	15	44	54	36	1,35
2			47	51	33	1,28
3			47	52	36	1,25
Mean			46,0	52,3	35,0	1,29
SD			1,4	1,2	1,4	0,04

Konstante: P= 45 Watt



### 3.2.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm

#### 3.2.3.1 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 35 W

Bei den Versuchen mit 35 Watt und einer Applikationsdauer von 5 Minuten ergibt sich keine zusammenhängende Koagulationszone, so dass die Ergebnisse in zwei getrennten Zonen angegeben werden. Bei der ersten Zone erreicht die Langachse Werte von  $28 \pm 1$  mm, eine Kurzachse 1 von  $13 \pm 1$  mm, einer Kurzachse 2 von  $13 \pm 1$  mm. Bei der zweiten Zone erreicht die Langachse  $28 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $12 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $13 \pm 0$  mm.



Abbildung 23: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 2 Sonden (Abstand 2,5cm, P= 45 Watt, t= 5 min)

#### 1.Zone

Versuch	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	5	14	28	14	2,0
2		13	28	13	2,15
3		13	27	13	2,08
Mean		13,3	27,7	13,3	2,08
SD		0,5	0,5	0,5	0,06

## 2.Zone

Versuch	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	5	13	28	13	2,15
2		12	28	13	2,24
3		11	29	13	2,41
Mean		12,0	28,3	13,0	2,27
SD		0,8	0,5	0,0	0,11

Bei den Versuchen mit einer Applikationsdauer von 10 und 15 min werden wieder zusammenhängende Koagulationszonen gebildet.

Bei einer Versuchsdauer von 10 min erreicht die Langachse  $30 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $40 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $17 \pm 1$  mm.

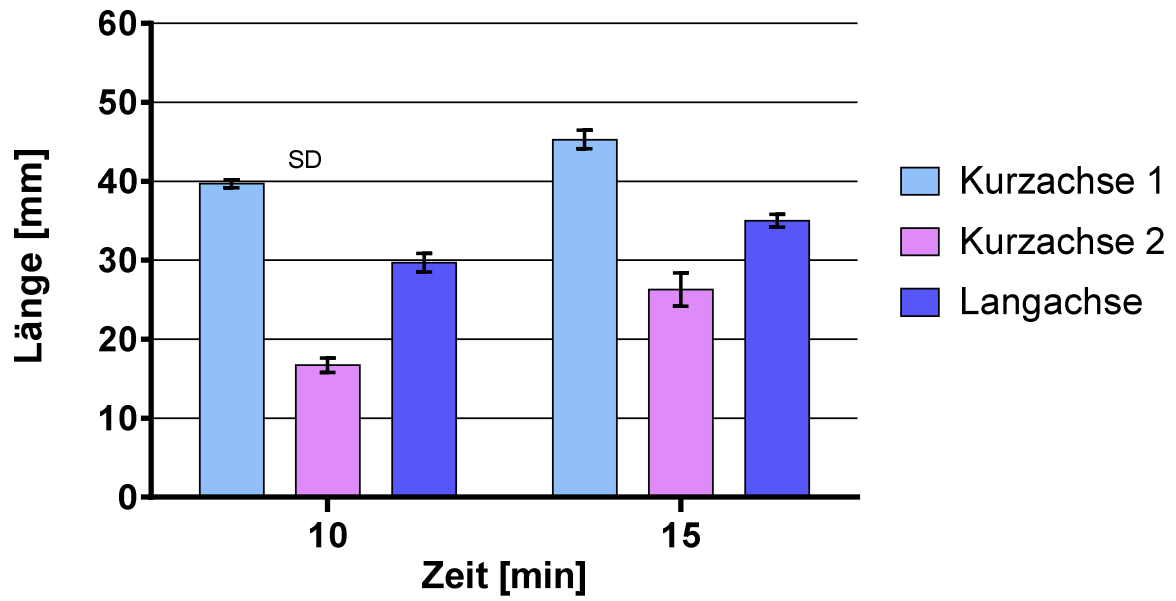
Nach Steigerung der Applikationsdauer auf 15 min erhöht sich der Wert für die Langachse auf  $35 \pm 1$  mm, der Kurzachse 1 auf  $45 \pm 1$  mm und der Kurzachse 2 auf  $26 \pm 2$  mm.

Die Werte für die Shape Ratio entsprachen  $1,05 \pm 0,05$  bei 10 min und  $0,97 \pm 0,06$  bei 15 min Applikationsdauer.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	10	39	28	18	0,98
2			40	31	16	1,11
3			40	30	16	1,07
Mean			39,7	29,7	16,7	1,05
SD			0,5	1,2	0,9	0,05

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	15	47	35	29	0,92
2			45	34	26	0,95
3			44	36	24	1,05
Mean			45,3	35,0	26,3	0,97
SD			1,2	0,8	2,1	0,06

Konstante: P= 35 Watt



### 3.2.3.2 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 40 W

Wie bei dem Versuchsaufbau mit einer Applikationsleistung von 35 Watt ergibt sich auch hier bei einer Applikationsdauer von 5 min keine zusammenhängende Koagulationszone. Es wird zwischen der Koagulationszone 1 und 2 unterschieden. Bei der ersten Zone erreicht die Langachse  $36 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $21 \pm 1$  mm, und die Kurzachse 2  $20 \pm 1$  mm.

Bei der zweiten Zone betrug die Langachse  $37 \pm 3$  mm, die Kurzachse 1  $20 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $20 \pm 2$  mm.

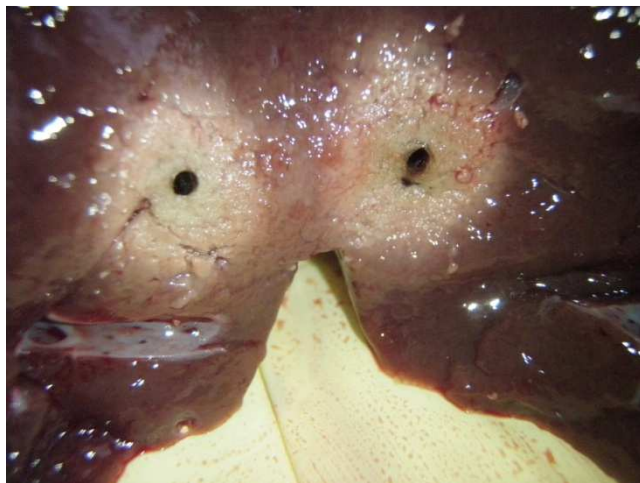


Abbildung 24: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 2 Sonden (Abstand 2,5cm, P= 40 Watt, t= 5 min)

#### 1.Zone

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	5	20	35	19	1,79
2			21	36	22	1,67
3			21	38	19	1,90
Mean			20,7	36,3	20,0	1,79
SD			0,5	1,2	1,4	0,09

#### 2.Zone

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	5	19	34	18	1,83
2			21	36	22	1,67
3			20	40	19	2,05
Mean			20,0	36,7	19,7	1,85
SD			0,8	2,5	1,7	0,16

Bei einer Applikationsdauer ab 10 min bilden sich wieder zusammenhängende Koagulationszonen.

Die Werte bei einer Applikationsdauer von 10 min liegen die Werte für die Langachse bei  $37 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $39 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2 bei  $23 \pm 1$  mm.

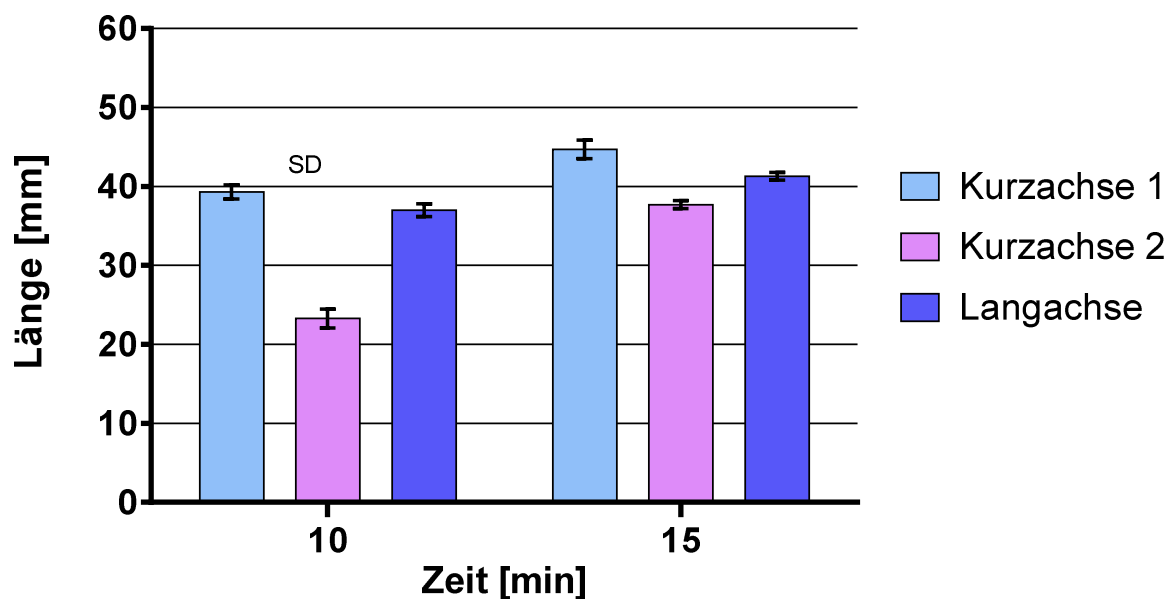
Bei einer Applikationsdauer von 15 min beträgt die Langachse  $41 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $45 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $38 \pm 1$  mm.

Die Shape Ratio verringerte sich von  $1,18 \pm 0,07$  bei 10 min auf  $1,05 \pm 0,06$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	10	38	38	25	1,21
2			40	36	23	1,14
3			40	37	22	1,19
Mean			39,3	37,0	23,3	1,18
SD			0,9	0,8	1,2	0,03

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	15	46	42	38	1,14
2			45	41	37	1,00
3			43	41	38	1,01
Mean			44,7	41,3	37,7	1,05
SD			1,2	0,5	0,5	0,06

### Konstante: P= 40 Watt





### 3.2.3.3 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit Abstand 2,5 cm mit 45 W

Bei dem Versuch mit einer Ablationsleistung von 45 Watt ergeben sich für alle Applikationszeiten zusammenhängende Koagulationszonen. Für die Applikationsdauer von 5 min ergeben sich Werte für die Langachse von  $31 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $37 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2  $17 \pm 0$  mm.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min beträgt die Langachse  $37 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $43 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $24 \pm 0$  mm.

Bei Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min steigert sich die Langachse auf  $54 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $52 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $37 \pm 1$  mm.

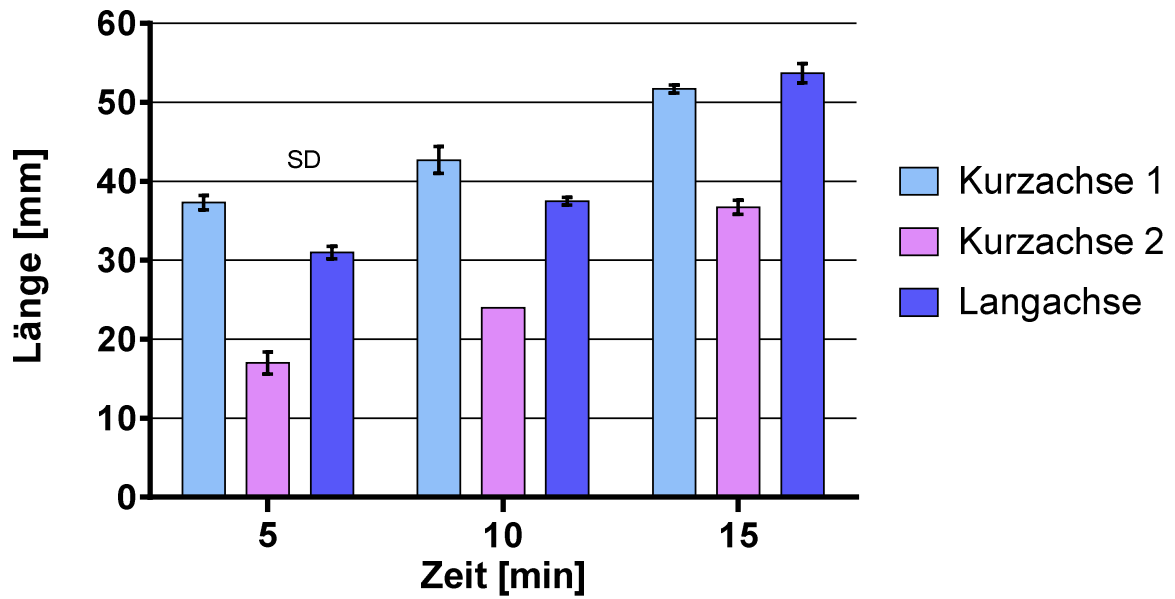
Die Shape Ratio betrug bei einer Applikationsdauer von 5 min  $1,14 \pm 0,08$ , bei 10 min  $1,16 \pm 0,03$  und bei 15 min  $1,21 \pm 0,03$ .

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	5	36	32	15	1,25
2			38	30	18	1,07
3			38	31	18	1,11
Mean			37,3	31,0	17,0	1,14
SD			0,9	0,8	1,4	0,08

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	10	45	38/41	26/22	1,21
2			42	38	24	1,14
3			41	37	24	1,14
Mean			42,7	37,5	24,0	1,16
SD			1,7	0,5	0,0	0,03

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Kurzachse 1 [mm]	Langachse [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	15	52	54	36	1,22
2			52	55	36	1,25
3			51	52	38	1,17
Mean			51,7	53,7	36,7	1,21
SD			0,5	1,2	0,9	0,03

**Konstante: P= 45 Watt**



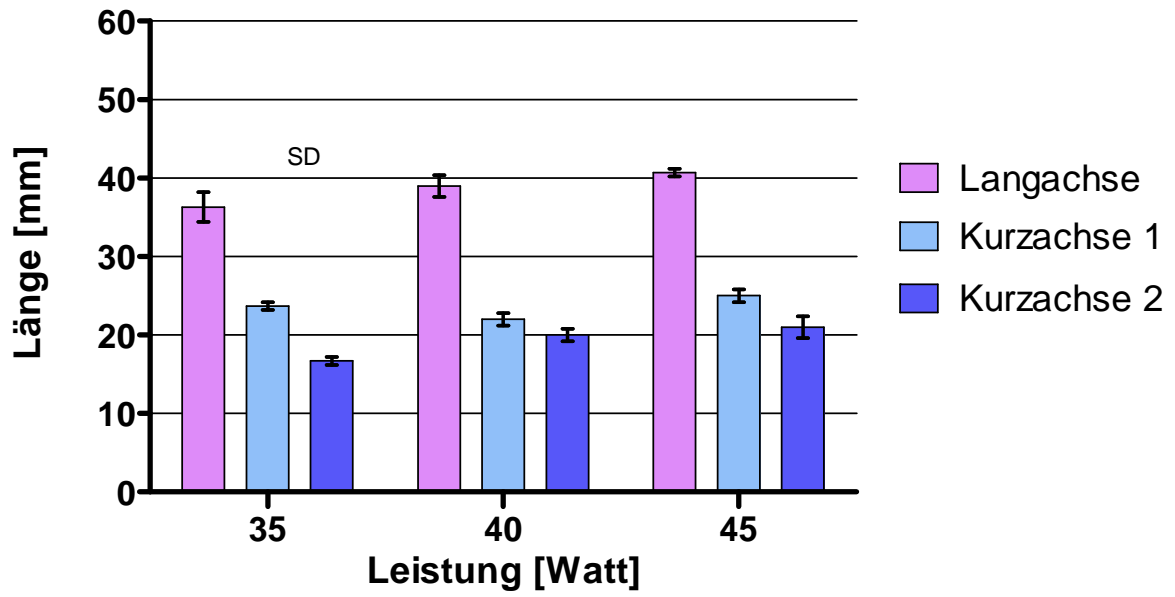
**3.2.4 Vergleich von Versuchsergebnissen bei gleicher Applikationsdauer**

**3.2.4.1 Ergebnisse des 1,5cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer**

a) Applikationsdauer: 5 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	36,3	23,7	16,7	1,81
40	39	22	20	1,86
45	40,7	25	21	1,77

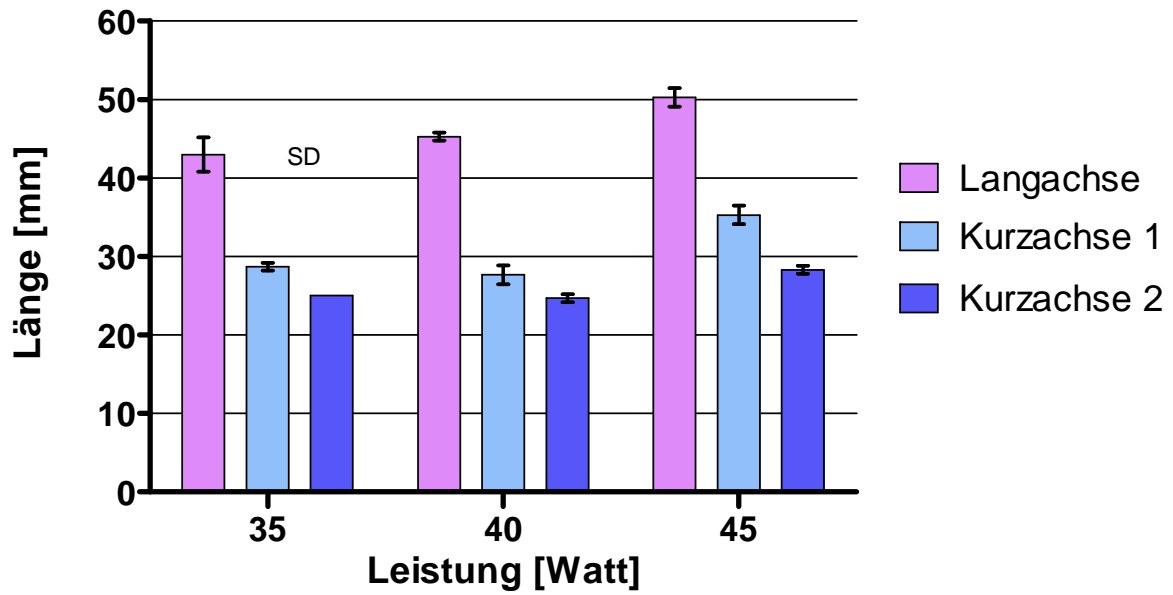
Konstante: t = 5 min



b) Applikationsdauer: 10 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	43	28,7	25	1,6
40	45,3	27,7	24,7	1,73
45	50,3	35,3	28,3	1,58

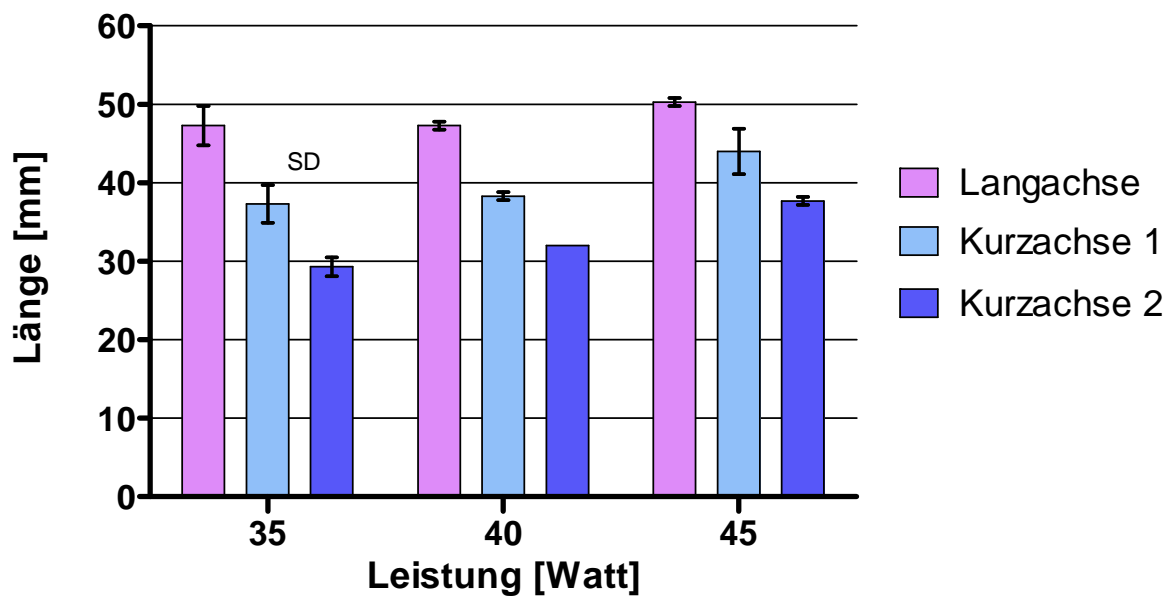
**Konstante: t = 10 min**



c) Applikationsdauer: 15 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	47,3	37,3	29,3	1,42
40	47,3	38,3	32	1,34
45	50,3	44	37,7	1,23

**Konstante: t = 15 min**

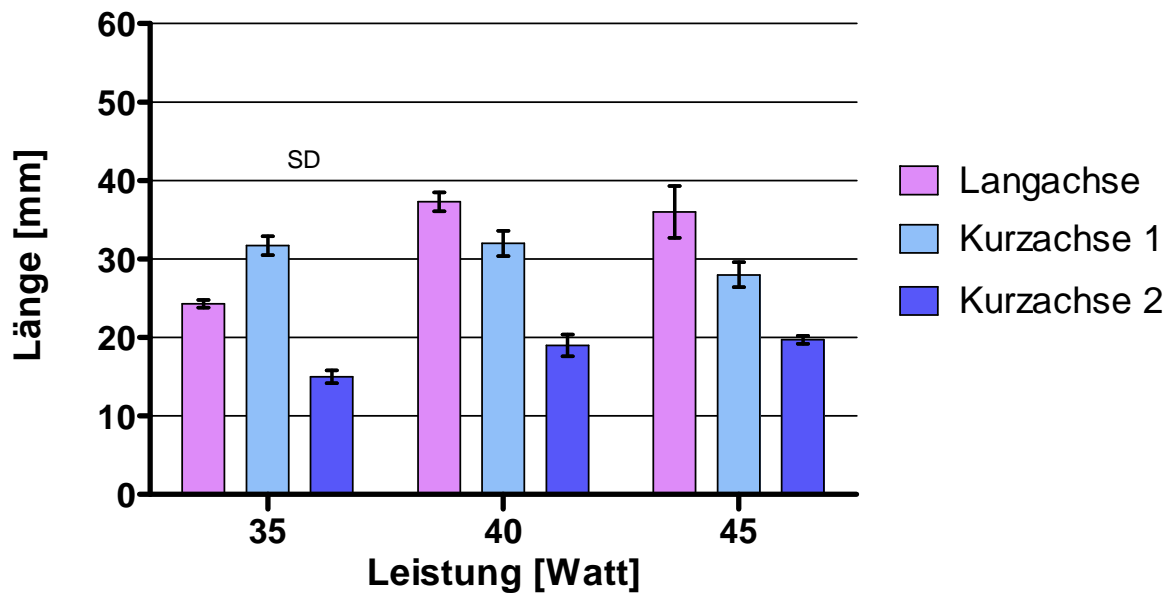


### 3.2.4.2 Ergebnisse des 2,0 cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer

a) Applikationsdauer: 5 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	24,3	31,7	15	1,61
40	37,3	32	19	1,47
45	36	28	19,7	1,52

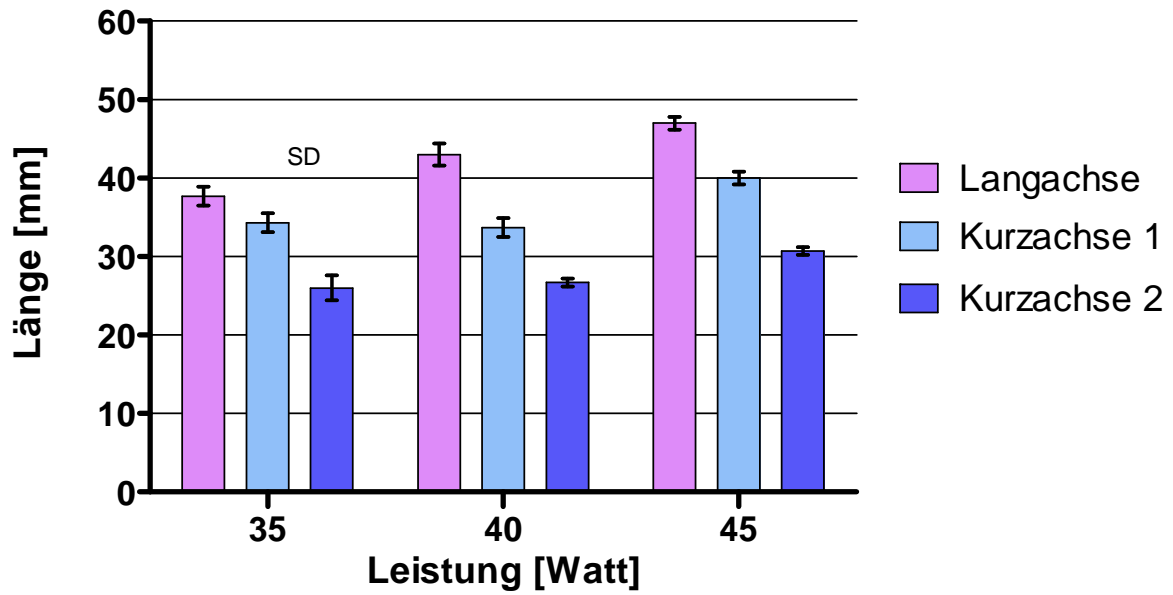
Konstante: t = 5 min



b) Applikationsdauer: 10 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	37,7	34,3	26	1,25
40	43	33,7	26,7	1,42
45	47	40	30,7	1,33

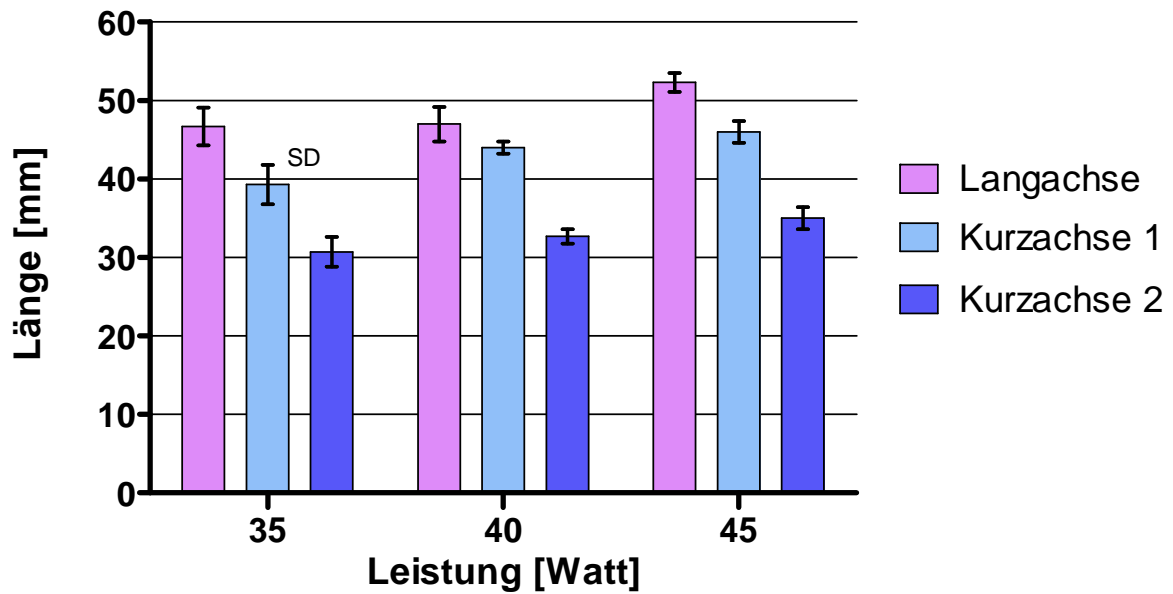
**Konstante: t = 10 min**



c) Applikationsdauer: 15 min

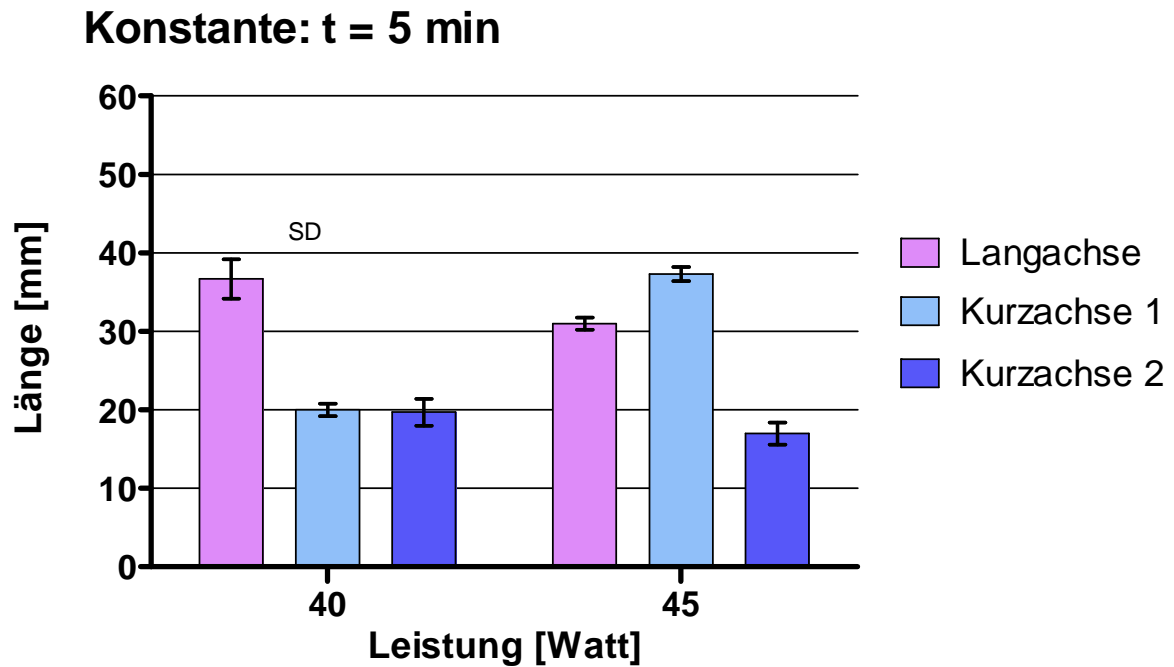
Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	46,7	39,3	30,7	1,34
40	47	44	32,7	1,22
45	52,3	46	35	1,29

**Konstante: t = 15 min**



### 3.2.4.3 Ergebnisse des 2,5 cm Versuchsaufbaus und Variation der Leistung mit gleicher Applikationsdauer

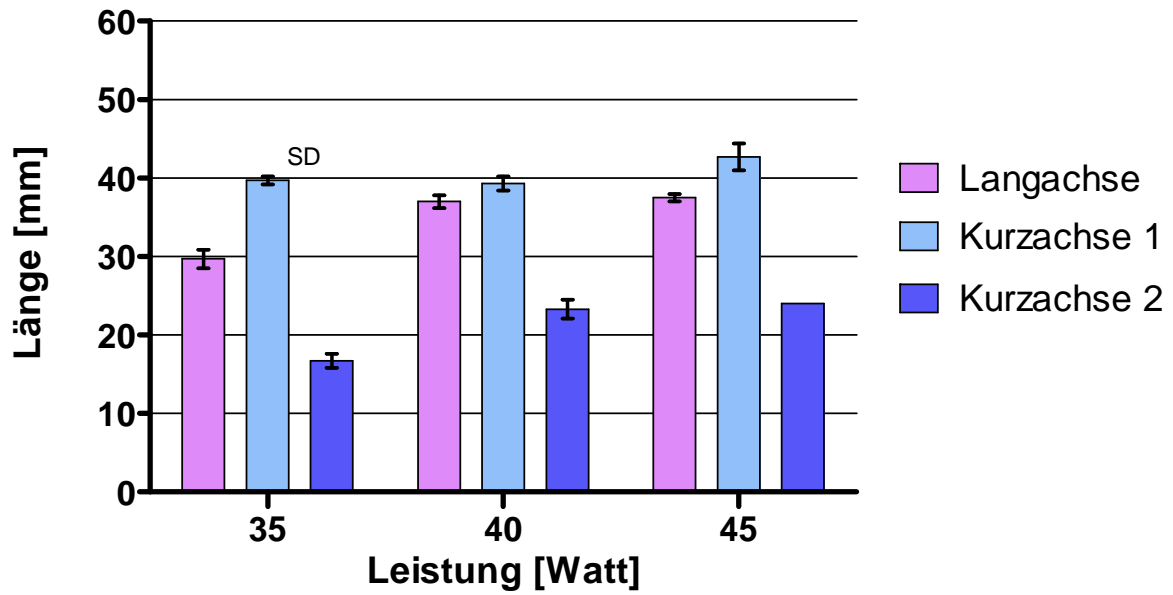
a) Applikationsdauer: 5 min



b) Applikationsdauer: 10 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	29,7	39,7	16,7	1,05
40	37	39,3	23,3	1,18
45	37,5	42,7	24	1,16

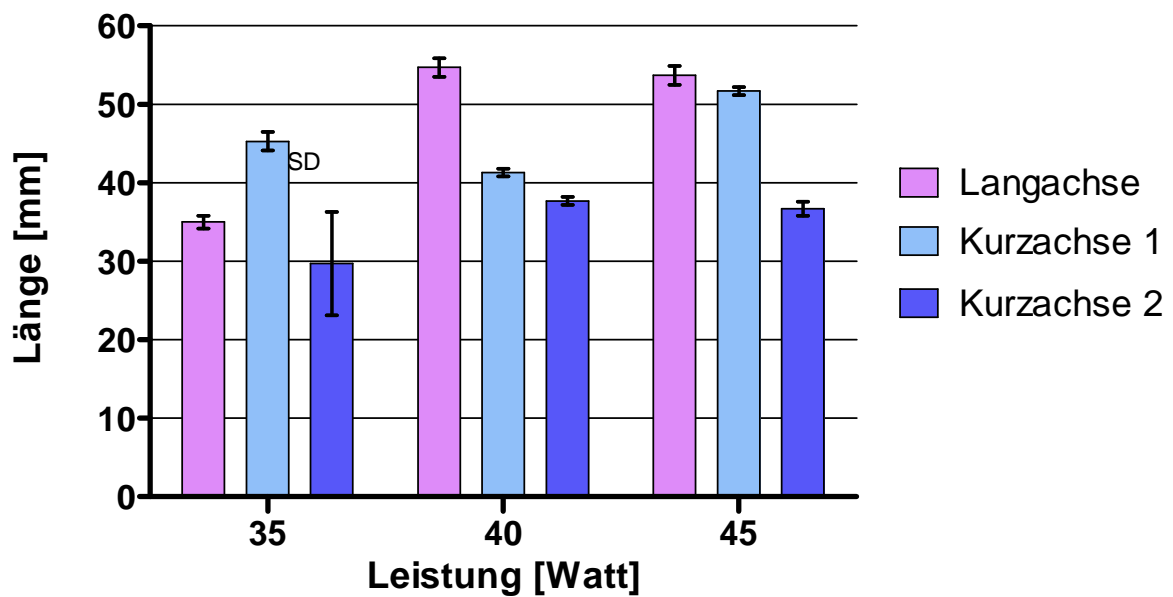
### Konstante: t = 10 min



b) Applikationsdauer: 15 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	35	45,3	29,7	0,97
40	54,7	41,3	37,7	1,05
45	53,7	51,7	36,7	1,21

### Konstante: t = 15 min





### **3.3 Ergebnisse des 3- Sonden Versuchs**

#### **3.3.1 Ergebnisse mit dem Abstand 2 cm**

##### **3.3.1.1 Ergebnisse mit einer Leistung von 35 W**

Bei dem Versuchsaufbau mit drei Ablationsantennen und einer Ablationsleistung von 35 Watt erreicht bei einer Applikationsdauer von 5 min die Langachse  $28 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $33 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2b  $24 \pm 5,4$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $27 \pm 1$  mm; Kurzachse 2c  $15 \pm 0$  mm).

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 10 min ergibt sich für die Langachse  $44 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $39 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2b  $26 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $33 \pm 1$  mm; Kurzachse 2c  $20 \pm 1$  mm).

Bei der Maximalapplikationszeit von 15 min beträgt die Langachse  $51 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $42 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2b  $40 \pm 1$  mm. Bei dem Versuch mit einer Applikationsdauer von 15 min war die Kurzachse 2b die mit dem größten Durchmesser, es ergab sich ein annähernd runder Querschnitt, deswegen wird auf die Messung der Kurzachsen 2a und 2c verzichtet.

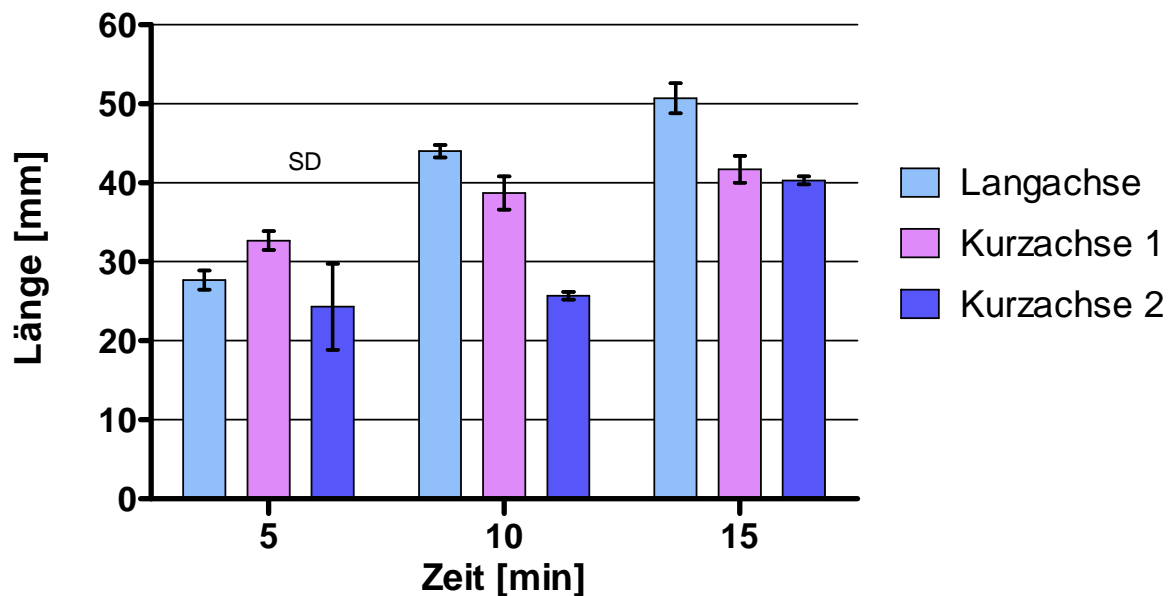
Die Shape Ratio beträgt bei einer Applikationsdauer von 5 min  $1,0 \pm 0,1$ , bei 10 min  $1,4 \pm 0,1$  und bei 15 min  $1,2 \pm 0,0$ .

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	35	5	34/28/34	34	28	32	15	0,85
2			33/26/31	33	26	20	15	0,98
3			32/29/31	31	27	21	15	1,11
Mean			27,7	32,7	27,0	24,3	15,0	1,0
SD			1,2	1,2	0,8	5,4	0,0	0,1

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	35	10	43	41	32	26	19	1,28
2			45	36	33	26	21	1,45
3			44	39	33	25	20	1,378
Mean			44,0	38,7	32,7	25,7	20,0	1,4
SD			0,8	2,1	0,5	0,5	0,8	0,1

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	35	15	48	40	40	1,2
2			52	41	40	1,28
3			52	44	41	1,22
Mean			50,7	41,7	40,3	1,2
SD			1,9	1,7	0,5	0,0

### Konstante: P= 35 Watt



### 3.3.1.2 Ergebnisse mit einer Leistung von 40 W

Bei einer Applikationsleistung von 40 Watt und einer Applikationsdauer von 5 min ergibt sich eine Langachse von  $39 \pm 2$  mm, eine Kurzachse 1  $31 \pm 1$  mm und eine Kurzachse 2b  $25 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $31 \pm 2$  mm und Kurzachse 2c  $18 \pm 1$  mm).

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 10 min erreichte die Langachse  $49 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $39 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $40 \pm 1$  mm.

Schließlich wurde bei einer Applikationsdauer von 15 min eine Langachse von  $55 \pm 1$  mm, eine Kurzachse 1 von  $44 \pm 1$  mm und eine Kurzachse 2 von  $46 \pm 1$  mm gemessen.

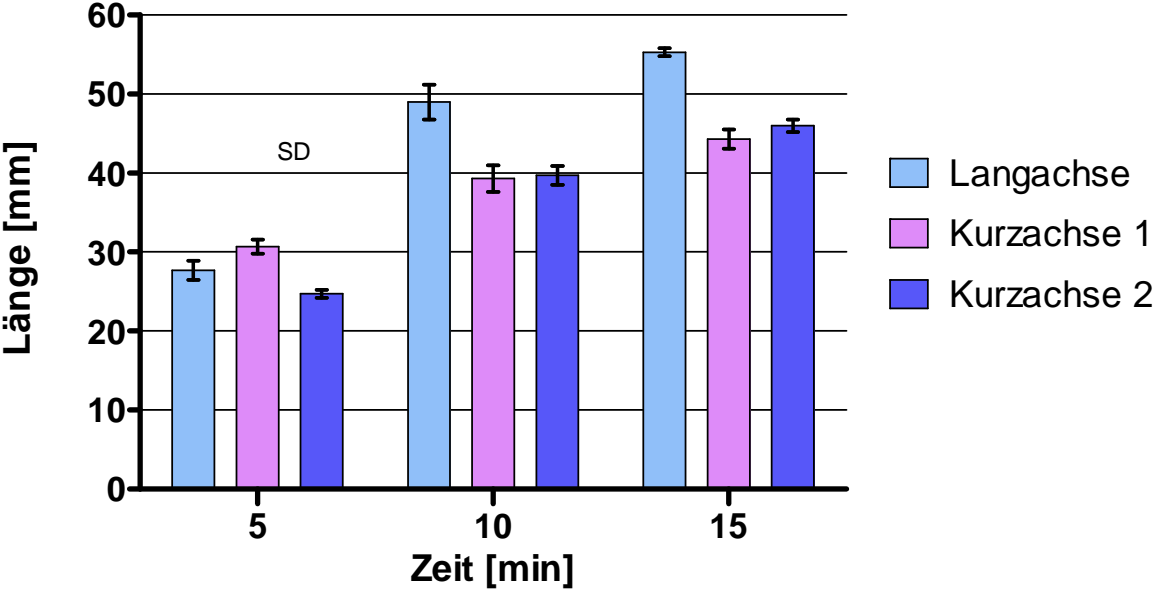
Für Shape Ratio ergaben sich Werte von  $1,4 \pm 0,1$  bei 5 min,  $1,2 \pm 0,0$  bei 10 min und  $1,2 \pm 0,0$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	40	5	36	32	32	25	19	1,26
2			40	30	32	24	18	1,48
3			40	30	28	25	18	1,45
Mean			38,7	30,7	30,7	24,7	18,3	1,4
SD			1,9	0,9	1,9	0,5	0,5	0,1

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	10	52	40	40	1,3
2			47	41	38	1,19
3			48	37	41	1,23
Mean			49,0	39,3	39,7	1,2
SD			2,2	1,7	1,2	0,0

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	40	15	55	46	45	1,21
2			56	44	46	1,24
3			55	43	47	1,22
Mean			55,3	44,3	46,0	1,2
SD			0,5	1,2	0,8	0,0

Konstante: P= 40 Watt



### 3.3.1.3 Ergebnisse mit einer Leistung von 45 Watt

Die Werte bei einer Applikationsdauer von 5 min betragen die Werte für die Langachse  $44 \pm 1$  mm, für die Kurzachse 1  $32 \pm 1$  mm und für die Kurzachse 2b  $26 \pm 1$  mm (Zusatzergebnisse: Kurzachse 2a  $33 \pm 2$  mm und Kurzachse 2c  $21 \pm 1$  mm).

Bei einer Applikationsdauer von 10 min beträgt die Langachse  $57 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $42 \pm 1$  mm und die Kurzachse 2  $41 \pm 1$  mm.

Nach Steigerung der Applikationsdauer auf 15 min erreichte die Langachse  $58 \pm 2$  mm, die Kurzachse 1  $50 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2  $46 \pm 2$  mm.

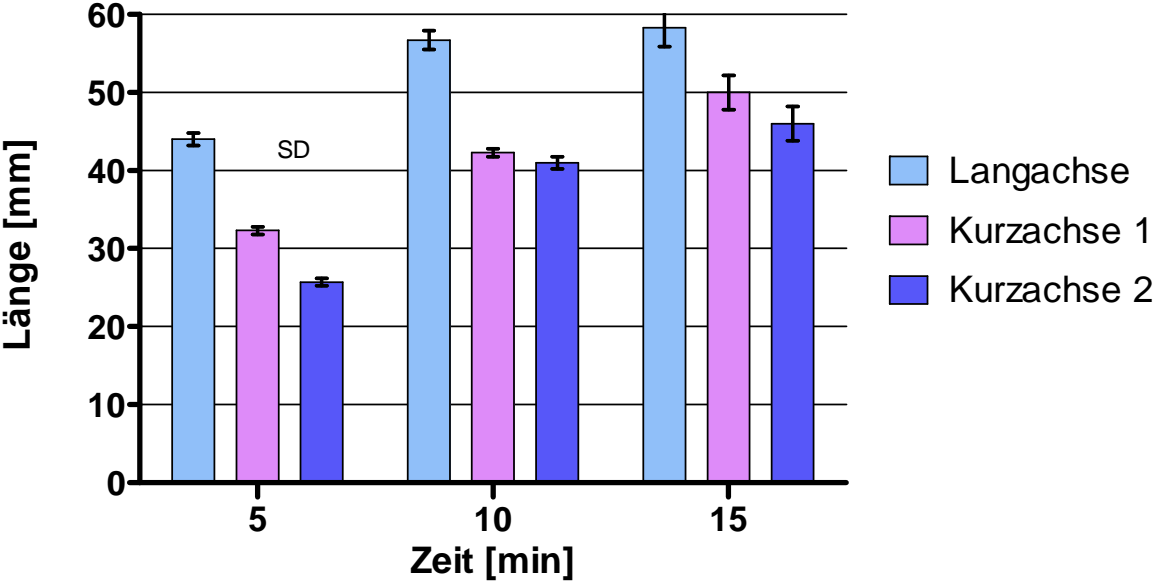
Die Shape Ratio verringert sich bei steigender Applikationsdauer von  $1,5 \pm 0,04$  bei 5 min über  $1,4 \pm 0,02$  bei 10 min zu  $1,2 \pm 0,05$  bei 15 min.

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	45	5	43	32	31	26	21	1,48
2			45	32	35	25	22	1,57
3			44	33	34	26	21	1,49
Mean			44,0	32,3	33,3	25,7	21,3	1,5
SD			0,8	0,5	1,7	0,5	0,5	0,04

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	10	58	43	42	1,36
2			55	42	41	1,33
3			57	42	40	1,39
Mean			56,7	42,3	41,0	1,4
SD			1,2	0,5	0,8	0,02

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
1	45	15	60	52	47	1,21
2			55	47	48	1,16
3			60	51	43	1,28
Mean			58,3	50,0	46,0	1,2
SD			2,4	2,2	2,2	0,05

Konstante: P= 45 Watt

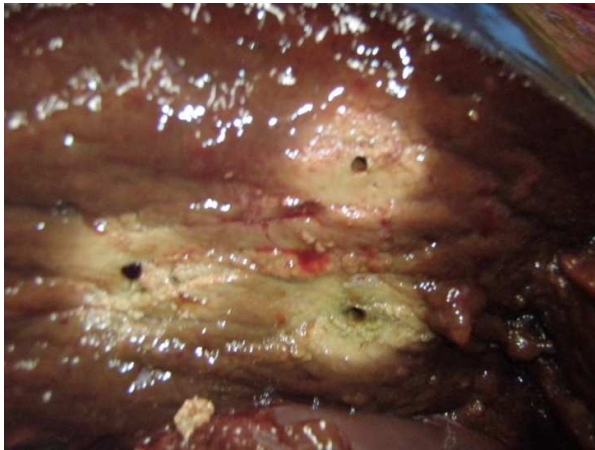


### 3.3.2 Ergebnisse mit dem Abstand 3 cm

In dieser Versuchsreihe ergibt sich für alle Ablationsleistungen (35-45 Watt) keine zusammenhängende Koagulationszone bei den Versuchen mit jeweils 5 min Applikationsdauer. Aus diesem Grund werden keine Werte der einzelnen Koagulationszonen gemessen. Die nicht zusammenhängenden Koagulationszonen werden mit der Digitalkamera dokumentiert und in dem jeweiligen Kapitel aufgeführt.

#### 3.3.2.1 Ergebnisse mit einer Leistung von 35 W

Für die Versuchsreihe mit einer Applikationsdauer von 5 min entsteht keine zusammenhängende Applikationszone.



**Abbildung 25: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 35 Watt, t= 5 min)**

Bei einer Applikationsdauer von 10 min beträgt die Langachse  $40 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $40 \pm 1$  mm, die Kurzachse 2b  $38 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen Kurzachse 2a  $40 \pm 1$  mm und Kurzachse 2c  $27 \pm 1$  mm)

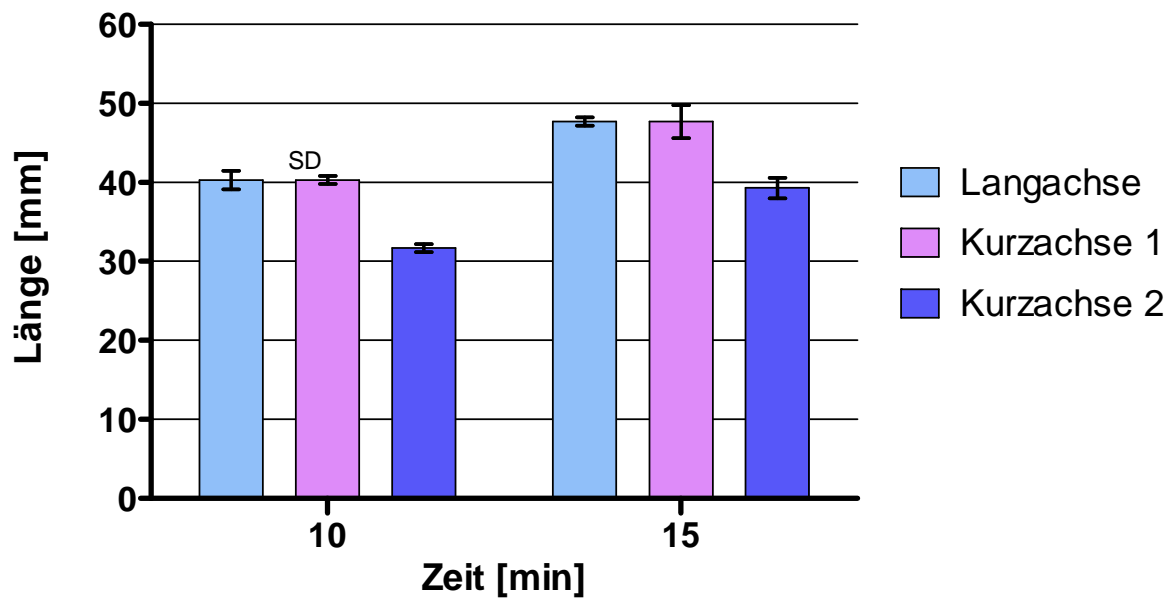
Bei Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 min erreicht die Langachse  $48 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $48 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2b  $39 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $45 \pm 1$  mm, Kurzachse 2c  $31 \pm 1$  mm)

Die Shape Ratio beträgt bei einer Applikationsdauer von 10 min  $1,1 \pm 0,03$  und für 15 min  $1,1 \pm 0,05$ .

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	35	10	42	41	41	32	28	1,15
2			40	40	40	31	27	1,13
3			39	40	39	32	26	1,08
Mean			40,3	40,3	40,0	31,7	27,0	1,1
SD			1,2	0,5	0,8	0,5	0,8	0,03

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	35	15	48	48	44	39	32	1,1
2			47	50	47	41	32	1,03
3			48	45	44	38	29	1,16
Mean			47,7	47,7	45,0	39,3	31,0	1,1
SD			0,5	2,1	1,4	1,3	1,4	0,05

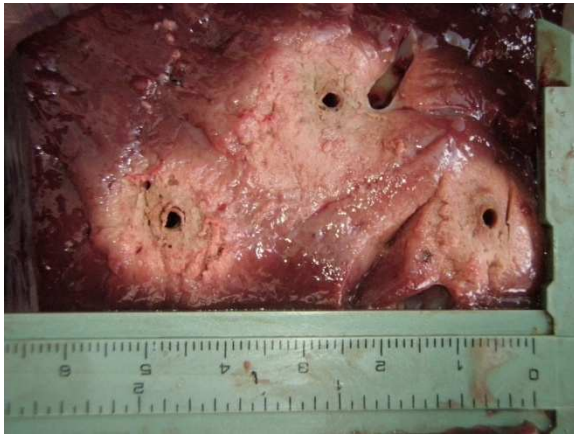
### Konstante: P= 35 Watt





### 3.3.2.2 Ergebnisse mit einer Leistung von 40 W

Für die Versuchsreihe mit einer Applikationsdauer von 5 min entsteht auch keine zusammenhängende Applikationszone.



**Abbildung 26: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 40 Watt, t= 5 min)**

Bei einer Applikationsdauer von 10 min bildet sich eine zusammenhängende Koagulationszone mit einer Langachse von  $42 \pm 1$  mm, einer Kurzachse 1  $45 \pm 3$  mm und einer Kurzachse 2b von  $36 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $45 \pm 0$  mm und Kurzachse 2c  $25 \pm 2$  mm).

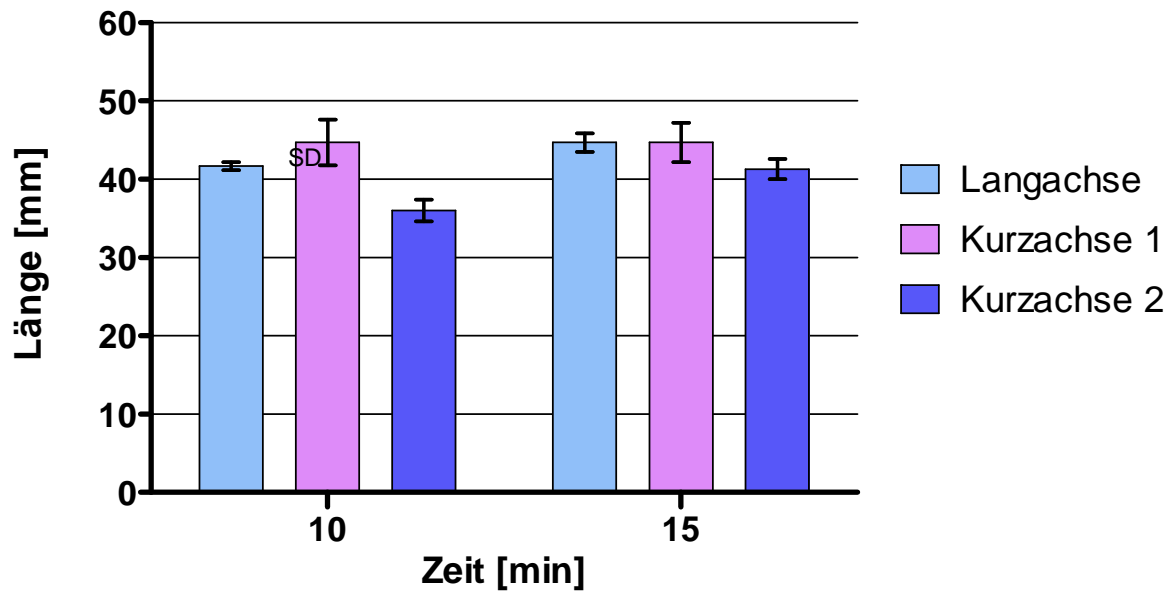
Nach einer Steigerung der Applikationsdauer auf 15 min beträgt die Langachse  $45 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $445 \pm 3$  mm und die Kurzachse 2b  $41 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $46 \pm 4$  mm und Kurzachse 2c  $33 \pm 1$  mm).

Die Shape Ratio beträgt bei beiden Versuchsreihen 1,0, bei einer Applikationsdauer von 10 min  $1,0 \pm 0,04$  und bei 15 min  $1,0 \pm 0,05$ .

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	40	10	42	41	45	37	27	1,08
2			41	45	45	34	23	1,04
3			42	48	45	37	25	0,99
Mean			41,7	44,7	45,0	36,0	25,0	1,0
SD			0,5	2,9	0,0	1,4	1,6	0,04

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	40	15	45	42	44	40	32	1,1
2			43	44	52	43	34	0,99
3			46	48	42	41	35	1,03
Mean			44,7	44,7	46,0	41,3	33,7	1,0
SD			1,2	2,5	4,3	1,3	1,3	0,05

### Konstante: P= 40 Watt



### 3.3.2.3 Ergebnisse mit einer Leistung von 45 W

Für die Versuchsreihe mit einer Applikationsdauer von 5 min entsteht keine zusammenhängende Applikationszone.



**Abbildung 27: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 45 Watt, t= 5 min)**

Nach Erhöhung der Applikationsdauer auf 10 min wird wieder eine zusammenhängende Koagulationszone mit Werte für die Langachse von  $44 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $49 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2b  $35 \pm 1$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $42 \pm 1$  und Kurzachse 2c  $31 \pm 1$  mm) erreicht.

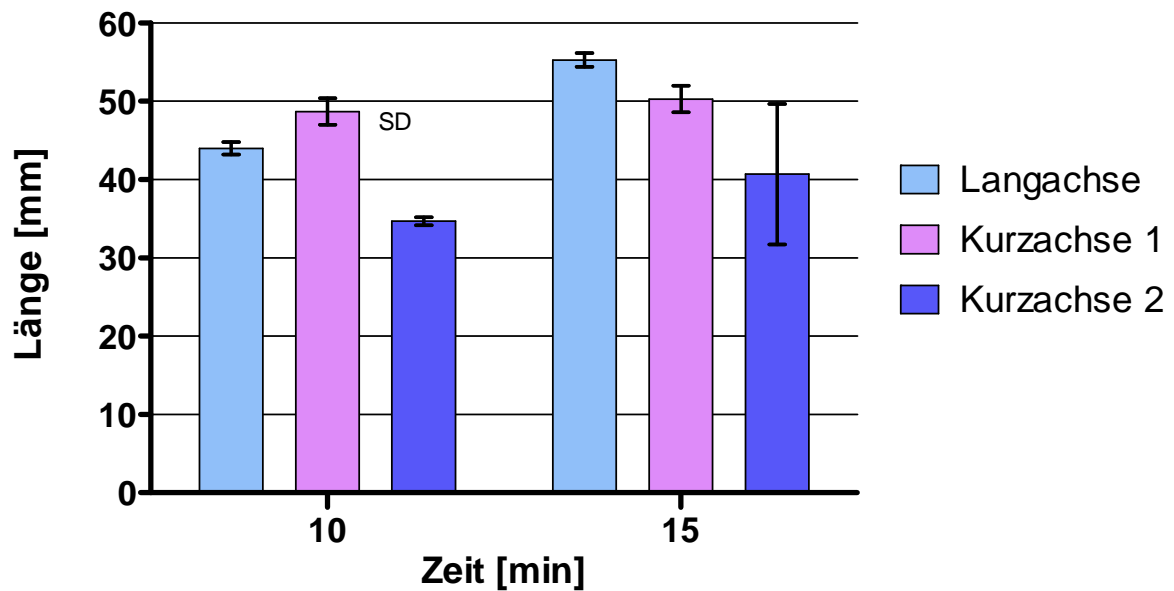
Bei einer Applikationsdauer von 15 min betrug die Langachse  $55 \pm 1$  mm, die Kurzachse 1  $50 \pm 2$  mm und die Kurzachse 2b  $41 \pm 9$  mm (Zusatzmessungen: Kurzachse 2a  $49 \pm 4$  mm und Kurzachse 2c  $29 \pm 2$  mm).

Die Shape Ratio betrug bei einer Applikationsdauer von 10 min  $1,1 \pm 0,07$  und bei 15 min  $1,2 \pm 0,17$ .

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	45	10	43	48	43	35	32	1,22
2			44	47	42	34	31	1,08
3			45	51	42	35	31	1,05
Mean			44,0	48,7	42,3	34,7	31,3	1,1
SD			0,8	1,7	0,5	0,5	0,5	0,07

Versuch	Leistung [Watt]	Dauer [min]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2a [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Kurzachse 2c [mm]	Shape Ratio
1	45	15	56	48	43	28	26	1,47
2			56	51	51	46	30	1,15
3			54	52	53	48	31	1,08
Mean			55,3	50,3	49,0	40,7	29,0	1,2
SD			0,9	1,7	4,3	9,0	2,2	0,17

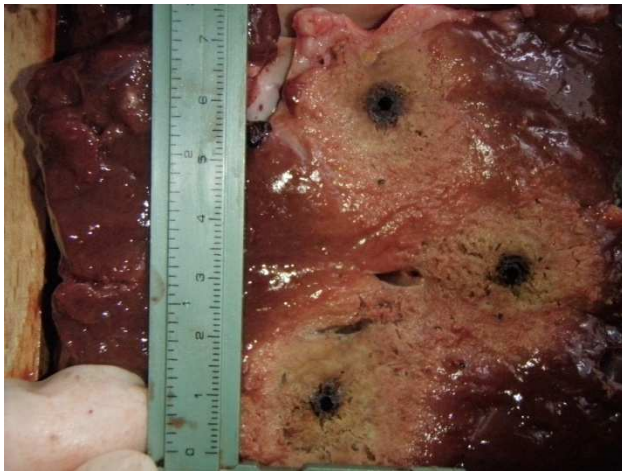
### Konstante: P= 45 Watt



### 3.3.3 Ergebnisse mit dem Abstand 4 cm

Bei dem Versuchsaufbau mit einem Ablationsantennenabstand von 4 cm wird zunächst die höchste Parametereinstellung gewählt. Das heißt, es wird eine Applikationsdauer von 15 min und eine Ablationsleistung von 45 Watt eingestellt.

Es werden vier Versuche mit dieser Parametereinstellung durchgeführt, bei denen es bei keinem zu einer zusammenhängenden Koagulationszone kommt, was mit der Digitalkamera dokumentiert wird.



**Abbildung 28: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 4 cm, P= 45 Watt, t= 15 min)**

Aufgrund der Fehlversuche mit der maximalen Parametereinstellung (15 min, 45 Watt) wird auf die Versuche mit einer niedrigeren Parametereinstellung verzichtet.

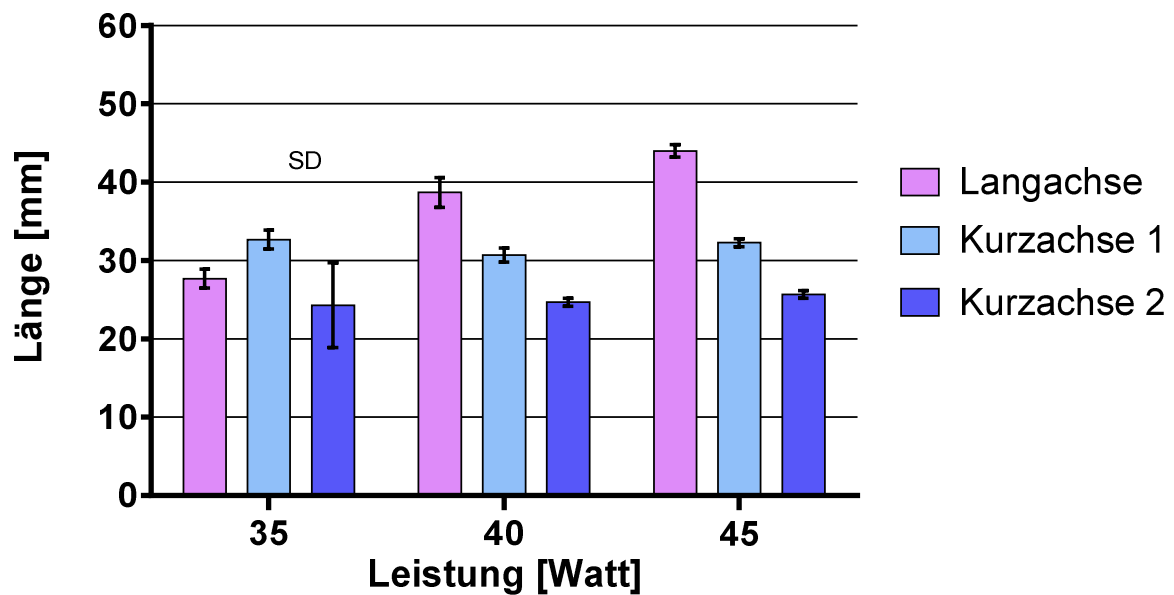
### 3.3.4 Vergleich der Ergebnisse bei unterschiedlichen Konstanten

#### 3.3.4.1 Vergleich der Ergebnisse mit 3 – Sonden (Abstand 2 cm) bei gleicher Versuchsdauer und unterschiedlicher Leistung

a) Versuchsdauer: 5 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	27,7	32,7	24,3	1
40	38,7	30,7	24,7	1,4
45	44	32,3	25,7	1,5

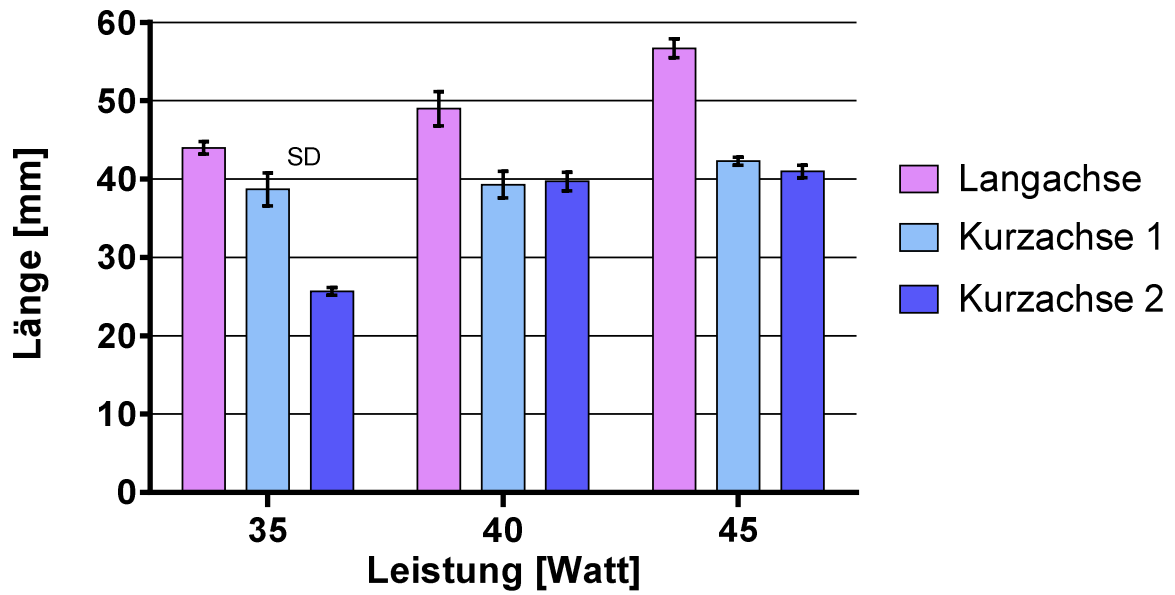
**Konstante: t = 5 min**



b) Versuchsdauer: 10 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	44	38,7	25,7	1,4
40	49	39,3	39,7	1,2
45	56,7	42,3	41	1,4

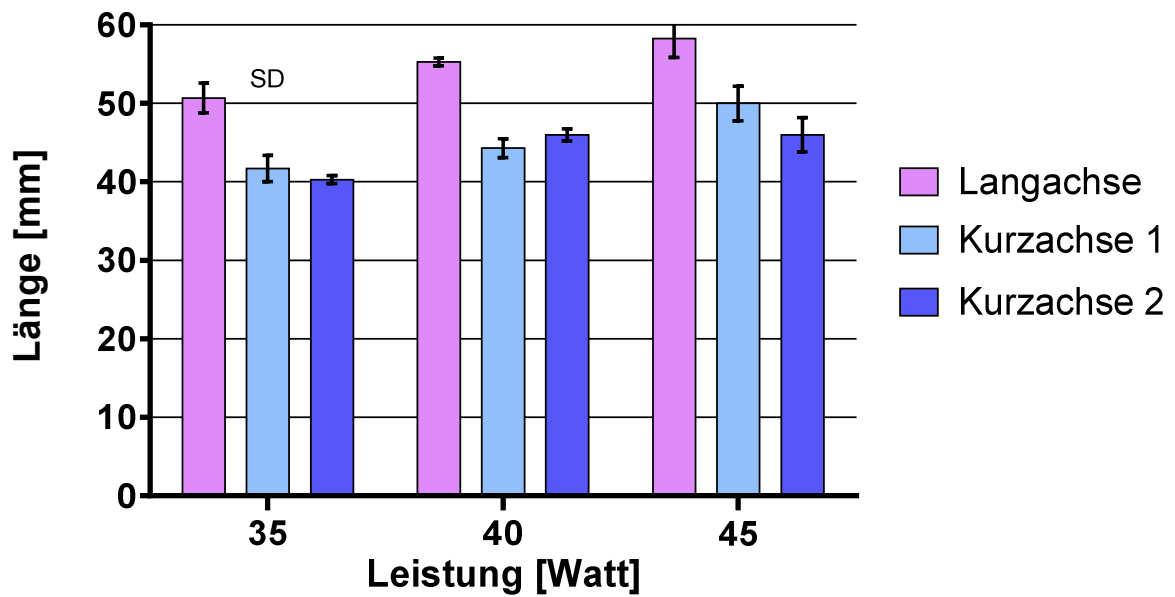
**Konstante: t = 10 min**



c) Versuchsdauer: 15 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	50,7	41,7	40,3	1,2
40	55,3	44,3	46	1,2
45	58,3	50	46	1,2

**Konstante: t = 15 min**

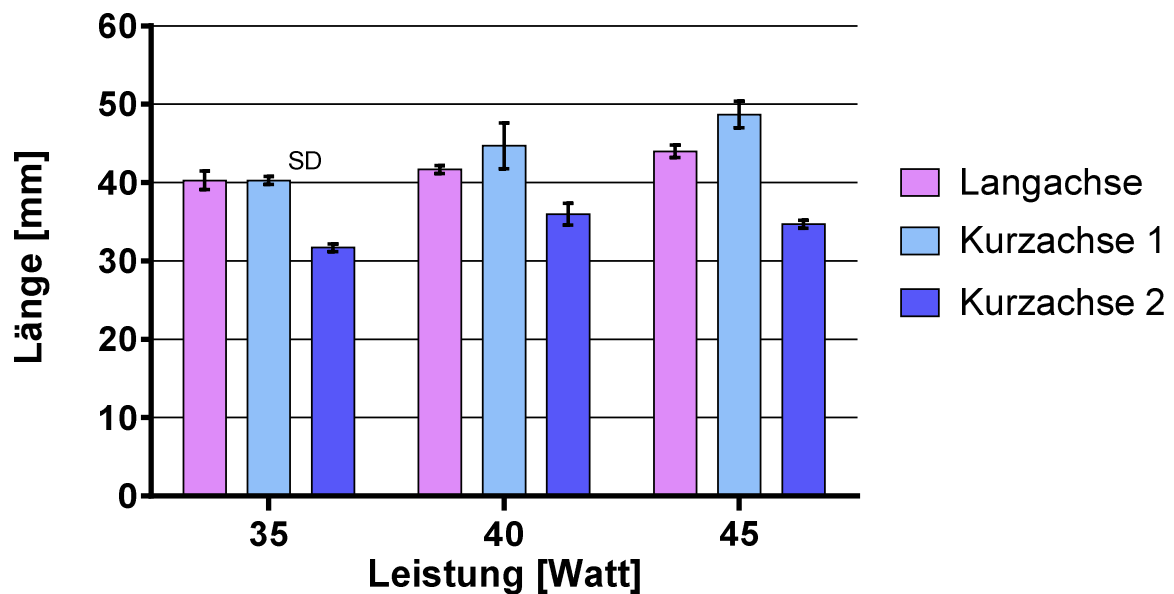


### 3.3.4.2 Vergleich der Ergebnisse mit 3 – Sonden (Abstand 3 cm) bei gleicher Versuchsdauer und unterschiedlicher Leistung

a) Versuchsdauer: 10 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	40,3	40,3	31,7	1,1
40	41,7	44,7	36	1
45	44	48,7	34,7	1,1

**Konstante: t = 10 min**

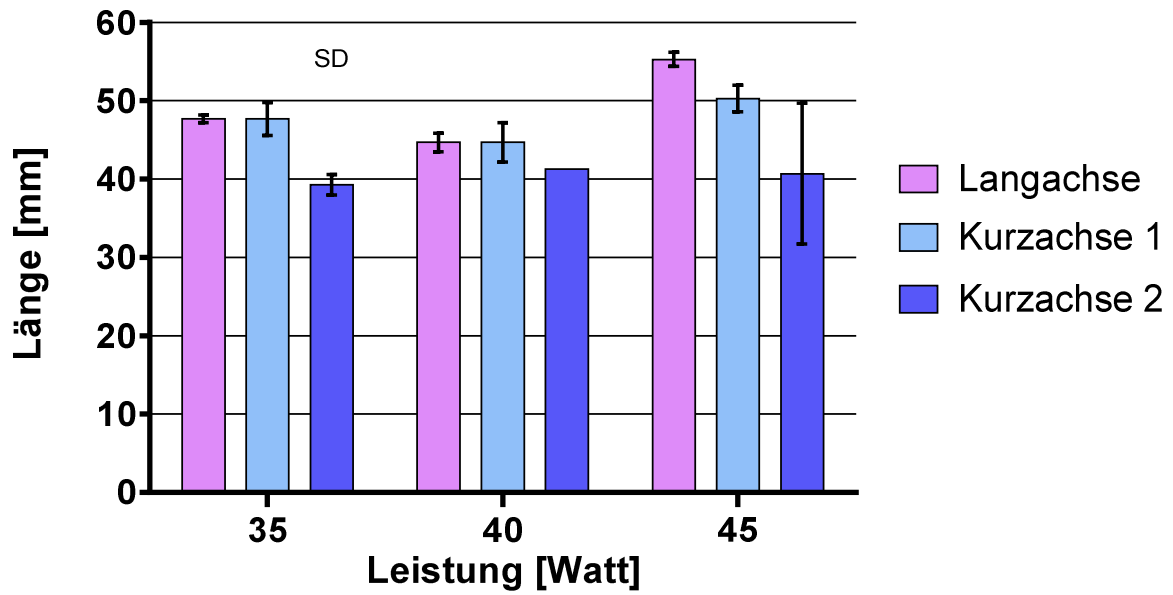


b) Versuchsdauer: 15 min

Leistung [Watt]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
35	47,7	47,7	39,3	1,1
40	44,7	44,7	41,3	1
45	55,3	49	40,7	1,2



**Konstante: t = 15 min**

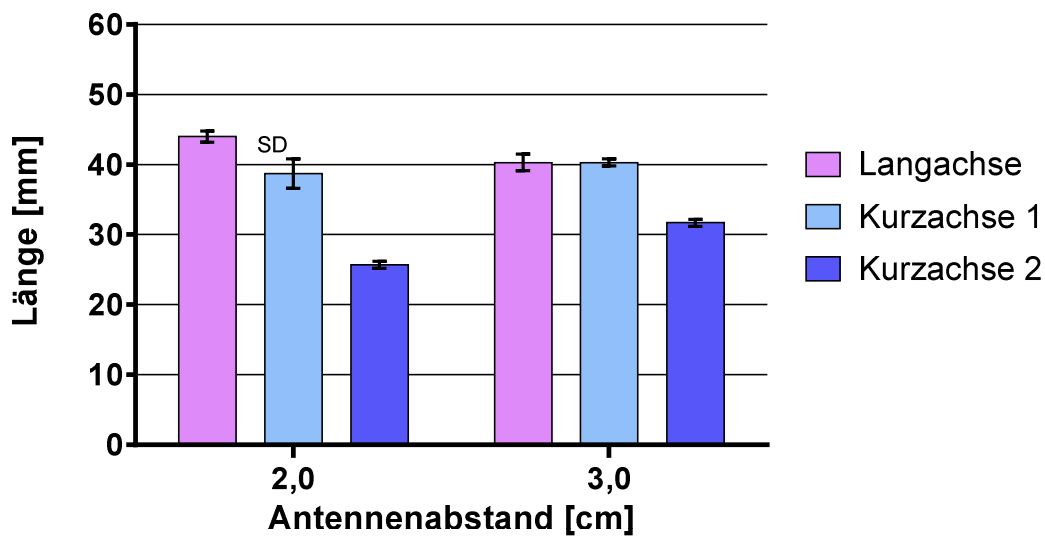


**3.3.4.3 Vergleich der Ergebnisse mit den Konstanten Zeit und Leistung bei unterschiedlichem Antennenabstand**

a) Konstante: Dauer 10 min, Leistung: 35 Watt

Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	44	38,7	25,7	1,4
3	40,3	40,3	31,7	1,1

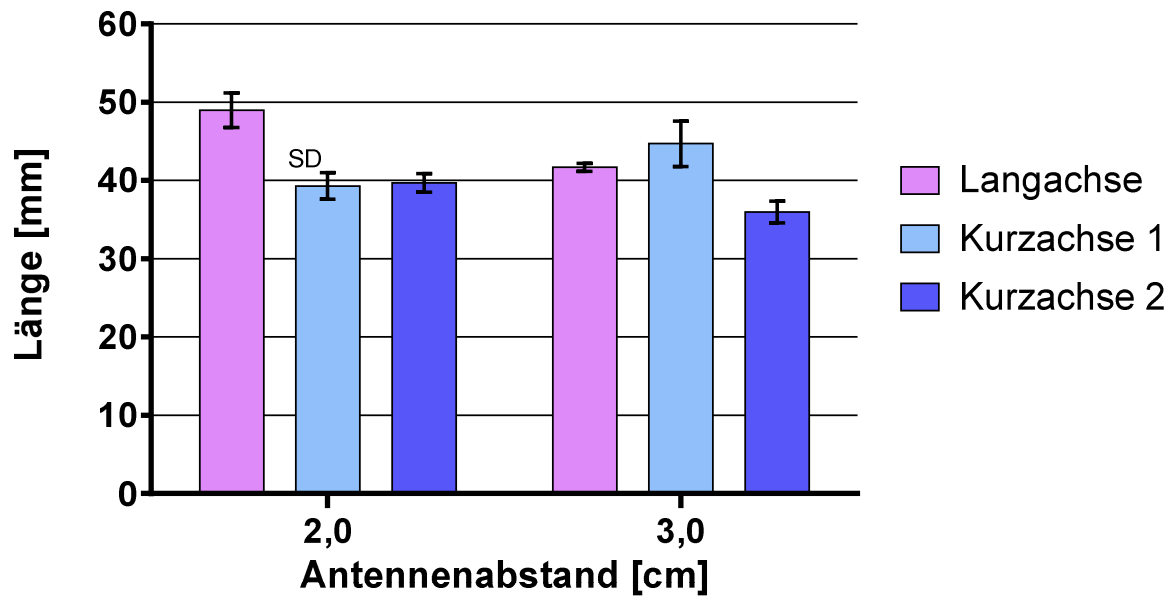
**Konstante: t = 10 min; P = 35W**



b) Konstante: Dauer 10 min, Leistung: 40 Watt

Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	49	39,3	39,7	1,2
3	41,7	40,3	36	1,0

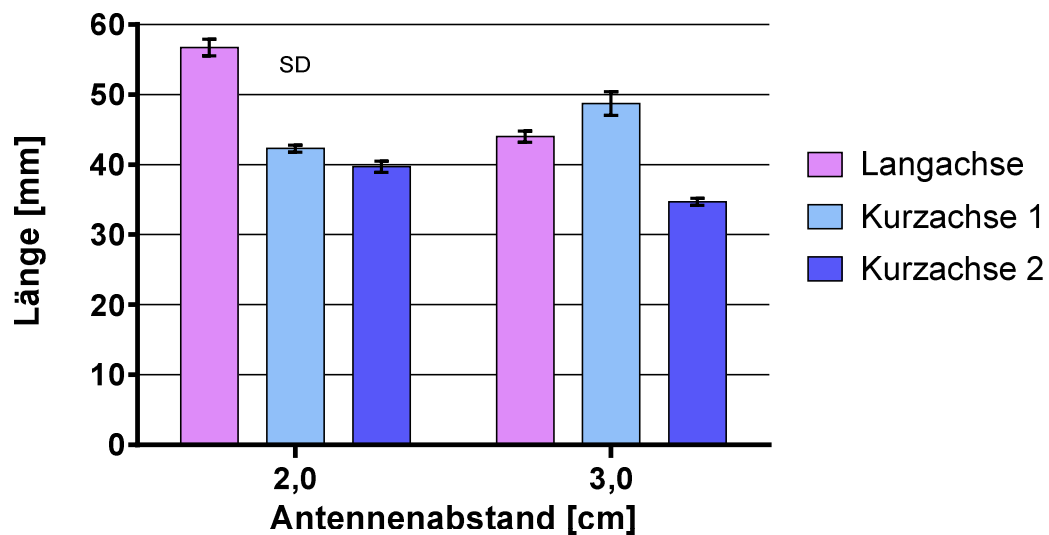
**Konstante: t = 10 min; P = 40W**



c) Konstante: Dauer 10 min, Leistung: 45 Watt

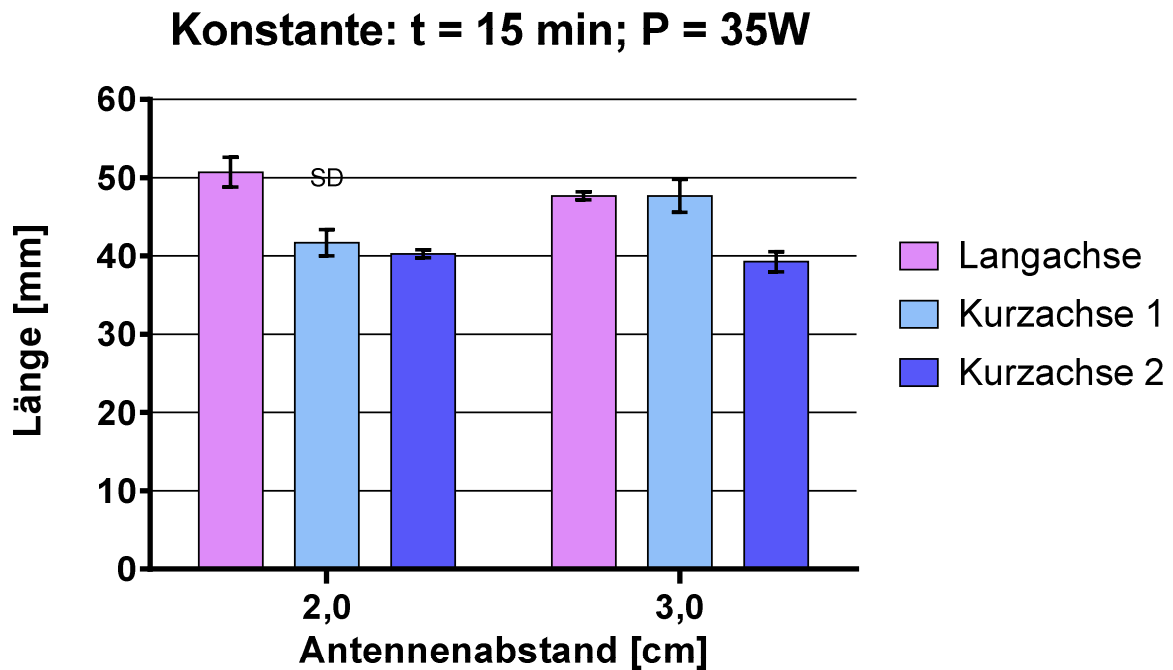
Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	56,7	42,3	41	1,4
3	44	48,7	34,7	1,1

**Konstante: t = 10 min; P = 45W**



d) Konstante: Dauer 15 min, Leistung: 35 Watt

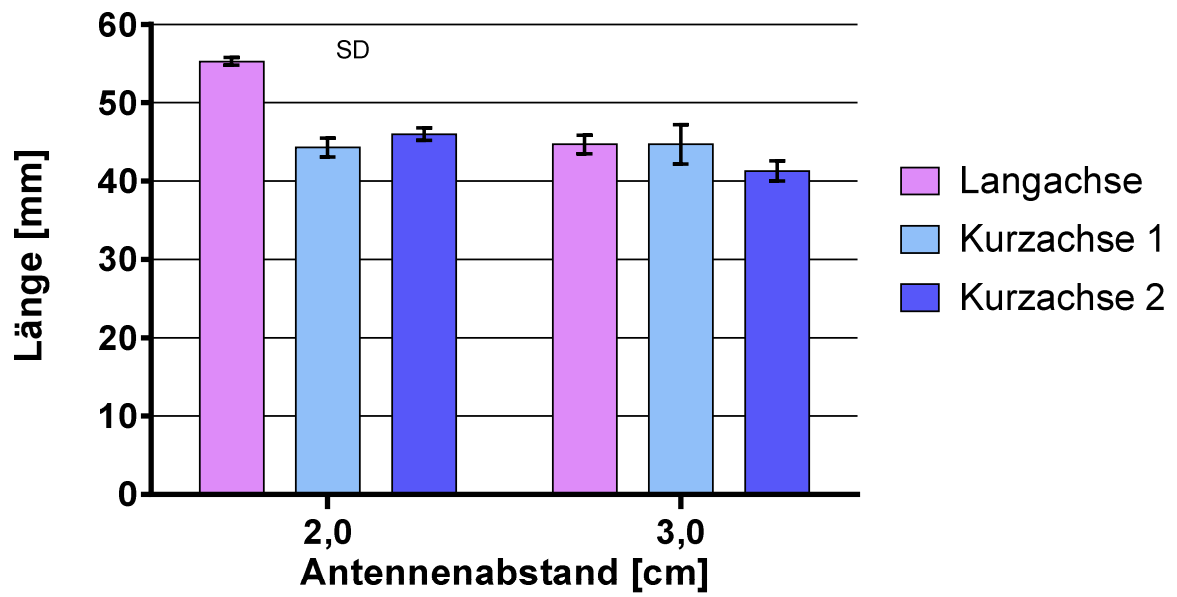
Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	50,7	41,7	40,3	1,2
3	47,7	47,7	39,3	1,1



e) Konstante: Dauer 15 min, Leistung: 40 Watt

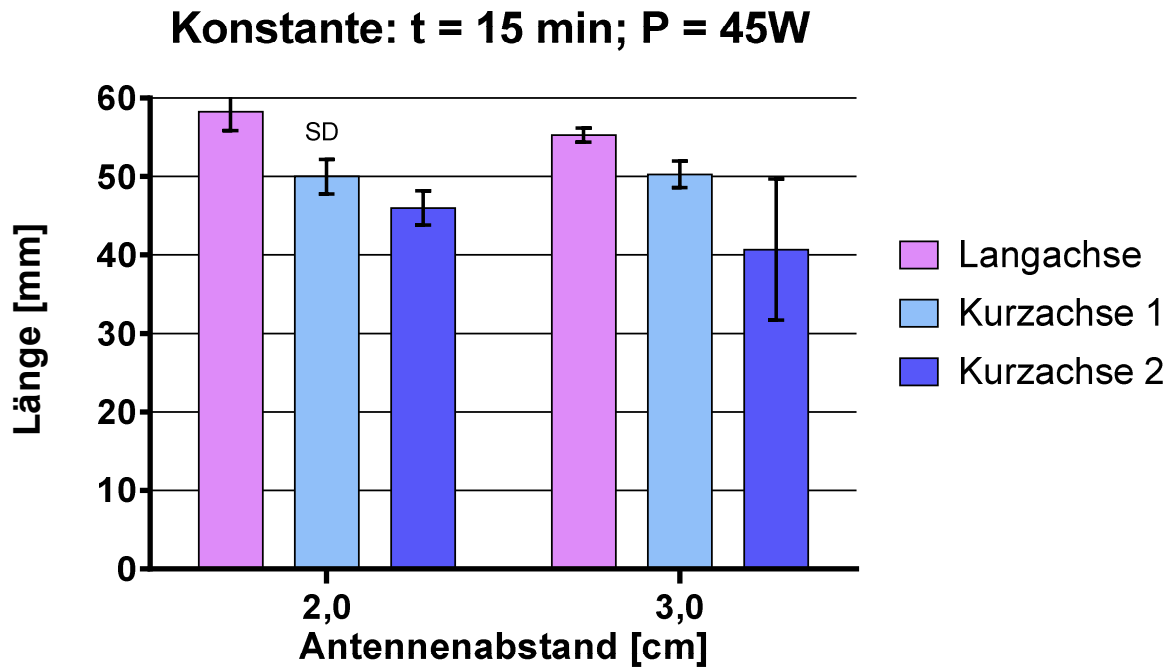
Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	55,3	44,3	46	1,2
3	44,7	44,7	41,3	1,0

Konstante:  $t = 15 \text{ min}$ ;  $P = 40\text{W}$



f) Konstante: Dauer 15 min, Leistung: 45 Watt

Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Shape Ratio
2	58,3	50	46	1,2
3	55,3	50,3	40,7	1,2



### 3.4 Ergebnisse des 2- Sonden Versuchs mit verschiedenen Winkeln

#### 3.4.1 Ergebnisse mit dem Winkel 15 Grad

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Versuchsreihe mit zwei Ablationsantennen, die in einem Winkel von 15 Grad zu einander stehen, zusammengefasst. Die einzelnen Werte sind im Folgenden tabellarisch aufgeführt. Die Langachse erhöht sich von  $36 \pm 1$  mm bei 35 Watt über  $40 \pm 1$  mm bei 40 Watt auf  $42 \pm 1$  mm bei 45 Watt. Die Kurzachse 1 steigert sich von  $20 \pm 1$  mm bei 35 Watt über  $23 \pm 1$  mm bei 40 Watt zu  $25 \pm 1$  mm bei 45 Watt. Die Kurzachse 2 beträgt bei 35 Watt  $35 \pm 2$  mm, bei 40 Watt  $38 \pm 1$  mm und bei 45 Watt  $38 \pm 1$  mm. Die Werte für die Shape Ratio lagen mit  $1,28 \pm 0,07$  bei 35 Watt,  $1,3 \pm 0,03$  bei 40 Watt und  $1,3 \pm 0,3$  bei 45 Watt in einem sehr ähnlichen Bereich.

##### 3.4.1.1 Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 35 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	35	10	34	36	33
2			33	36	34
3			32	35	33
Mean			33,0	35,7	33,3
SD			0,8	0,5	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	35	10	22	21	22
2			22	19	20
3			22	21	21
Mean			22,0	20,3	21,0
SD			0,0	0,9	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	35	10	38	36	26
2			37	33	25
3			40	37	28
Mean			38,3	35,3	26,3
SD			1,2	1,7	1,2

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	35	10		1,26
2				1,38
3				1,21
Mean				1,28
SD				0,07

### 3.4.1.2 Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 40 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	40	10	36	40	37
2			38	40	36
3			37	39	38
Mean			37,0	39,7	37,0
SD			0,8	0,5	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	40	10	26	24	25
2			24	23	25
3			24	22	23
Mean			24,7	23,0	24,3
SD			0,9	0,8	0,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	40	10	42	39	28
2			39	37	29
3			41	37	27
Mean			40,7	37,7	28,0
SD			1,2	0,9	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	40	10		1,27
2				1,33
3				1,32
Mean				1,3
SD				0,03



### 3.4.1.3 Ergebnisse für den Winkel 15 Grad mit 45 W

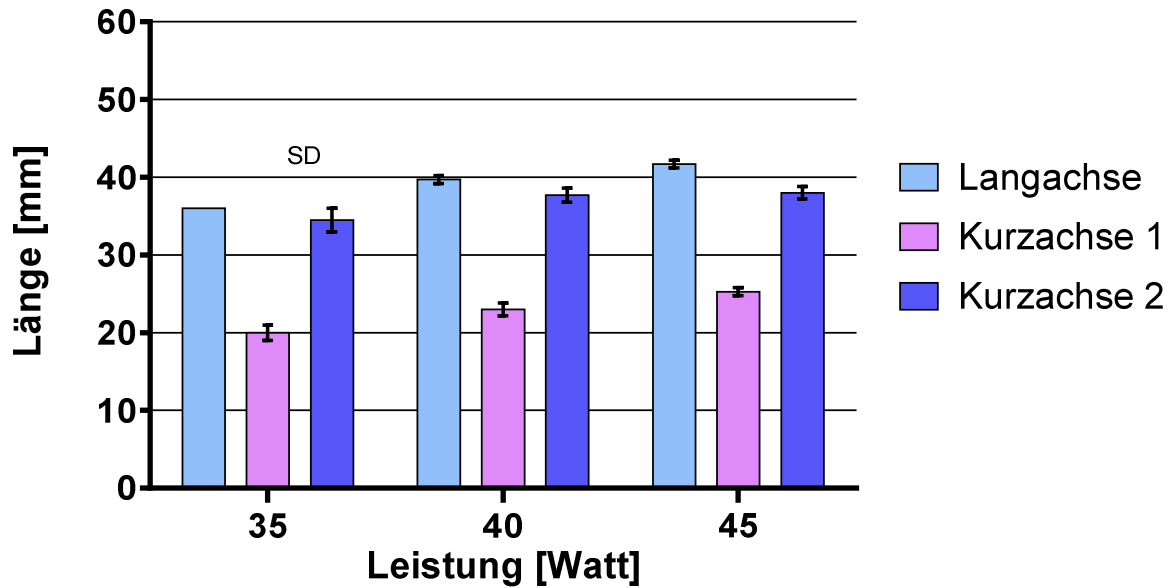
Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	45	10	40	41	39
2			42	42	41
3			40	42	41
Mean			40,7	41,7	40,3
SD			0,9	0,5	0,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	45	10	28	25	26
2			26	25	25
3			27	26	26
Mean			27,0	25,3	25,7
SD			0,8	0,5	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	45	10	45	39	32
2			43	37	31
3			44	38	32
Mean			44,0	38,0	31,7
SD			0,8	0,8	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	45	10		1,28
2				1,35
3				1,31
Mean				1,3
SD				0,03

### Konstante: t= 10min



#### 3.4.2 Ergebnisse mit dem Winkel 30 Grad

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Versuchsreihe mit zwei Ablationsantennen, die in einem Winkel von 30 Grad zu einander stehen, verglichen. Die Werte für die Langachse steigern sich von  $27 \pm 1$  mm bei einer Leistung von 35 Watt über  $33 \pm 5$  mm bei 40 Watt und  $38 \pm 1$  mm bei 45 Watt. Die Kurzachse 1 verlängerte sich von  $11 \pm 1$  mm bei 35 Watt über  $22 \pm 1$  mm bei 40 Watt auf  $24 \pm 1$  mm bei 45 Watt.

Die Werte für die Shape Ratio betragen für die gesamte Versuchsreihe 1,2, die Standardabweichung bei 35 Watt beträgt 0,12, bei 40 Watt 0,14 und bei 45 Watt 0,03.

### 3.4.2.1 Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 35 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	35	10	31	28	31
2			31	25	30
3			31	28	32
Mean			31,0	27,0	31,0
SD			0,0	1,4	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	35	10	14	9	14
2			15	12	16
3			16	12	15
Mean			15,0	11,0	15,0
SD			0,8	1,4	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	35	10	38	33	28
2			40	36	32
3			37	34	28
Mean			38,3	34,3	29,3
SD			1,2	1,2	1,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	35	10		1,33
2				1,04
3				1,21
Mean				1,2
SD				0,12

### 3.4.2.2 Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 40 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	40	10	40	27	39
2			38	33	38
3			40	38	39
Mean			39,3	32,7	38,7
SD			0,9	4,5	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	40	10	24	22	23
2			23	21	22
3			25	23	24
Mean			24,0	22,0	23,0
SD			0,8	0,8	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	40	10	42	33	28
2			40	36	32
3			37	34	28
Mean			39,7	34,3	29,3
SD			2,1	1,2	1,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	40	10		0,98
2				1,15
3				1,33
Mean				1,2
SD				0,14

### 3.4.2.3 Ergebnisse für den Winkel 30 Grad mit 45 W

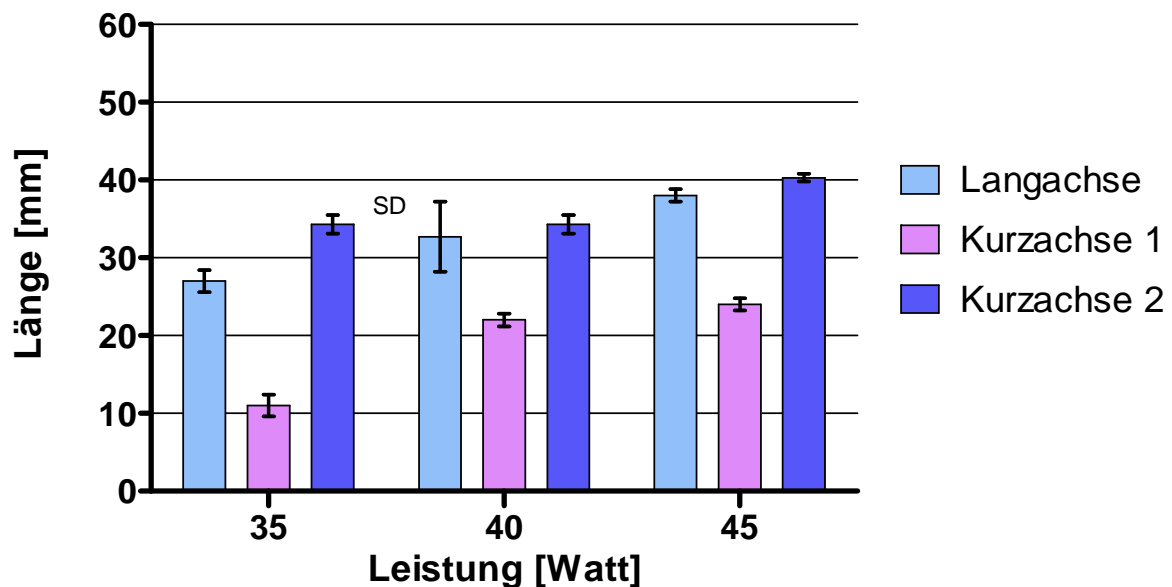
Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	45	10	41	39	40
2			41	38	42
3			41	37	40
Mean			41,0	38,0	40,7
SD			0,0	0,8	0,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	45	10	25	23	26
2			25	24	25
3			26	25	27
Mean			25,3	24,0	26,0
SD			0,5	0,8	0,8

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	45	10	42	41	39
2			41	40	37
3			43	40	35
Mean			42,0	40,3	37,0
SD			0,8	0,5	1,6

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]		Shape Ratio
1	45	10		1,22
2				1,19
3				1,14
Mean				1,2
SD				0,03

**Konstante: t= 10min**



### 3.4.3 Ergebnisse mit dem Winkel 45 Grad

In dieser Versuchsreihe werden zwei Antennen mit einem Winkel von 45 Grad zueinander verwendet. Die Ergebnisse für die Langachse betragen  $30 \pm 1$  mm bei 35 Watt,  $31 \pm 1$  mm bei 40 Watt und 32 mm bei 45 Watt. Die Werte für die Kurzachse 1 betragen bei 35 Watt  $18 \pm 1$  mm, bei 40 Watt  $22 \pm 1$  mm und bei 45 Watt  $20 \pm 2$  mm. Die Kurzachse 2 erreicht einen Wert von  $36 \pm 1,4$  mm bei 35 Watt,  $42 \pm 1$  mm und  $42 \pm 1$  mm bei 45 Watt. Die Werte für die Strecke a verringern sich von  $10 \pm 1$  mm bei 35 Watt über  $8 \pm 1$  bei 40 Watt auf  $6 \pm 1$  mm bei 45 Watt.

Die Shape Ratio betrug bei 35 Watt  $1,1 \pm 0,14$ , bei 40 Watt  $0,97 \pm 0,03$  und bei 45 Watt  $1,04 \pm 0,05$ .

Die zusätzlich gemessenen Werte wurden in den folgenden Kapiteln tabellarisch aufgeführt.

### 3.4.3.1 Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 35 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	35	10	34	30	34
2			35	32	34
3			34	29	32
Mean			34,3	30,3	33,3
SD			0,5	1,2	0,9

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	35	10	21	18	20
2			21	19	20
3			21	18	20
Mean			21,0	18,3	20,0
SD			0,0	0,5	0,0

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	35	10	40	37	30
2			37	34	30
3			40	37	30
Mean			39,0	36,0	30,0
SD			1,4	1,4	0,0

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Strecke a [mm]	Shape Ratio
1	35	10	10	1,09
2			11	1,21
3			10	0,88
Mean			10,3	1,1
SD			0,5	0,14

### 3.4.3.2 Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 40 W

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	40	10	35	30	34
2			35	32	34
3			35	31	34
Mean			35,0	31,0	34,0
SD			0,0	0,8	0,0

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	40	10	24	22	23
2			25	22	23
3			24	21	24
Mean			24,3	21,7	23,3
SD			0,5	0,5	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	40	10	47	43	33
2			48	42	32
3			47	42	33
Mean			47,3	42,3	32,7
SD			0,5	0,5	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Strecke a [mm]	Shape Ratio
1	40	10	8	0,92
2			8	1
3			7	0,98
Mean			7,7	0,97
SD			0,5	0,03



### 3.4.3.3 Ergebnisse für den Winkel 45 Grad mit 45 W

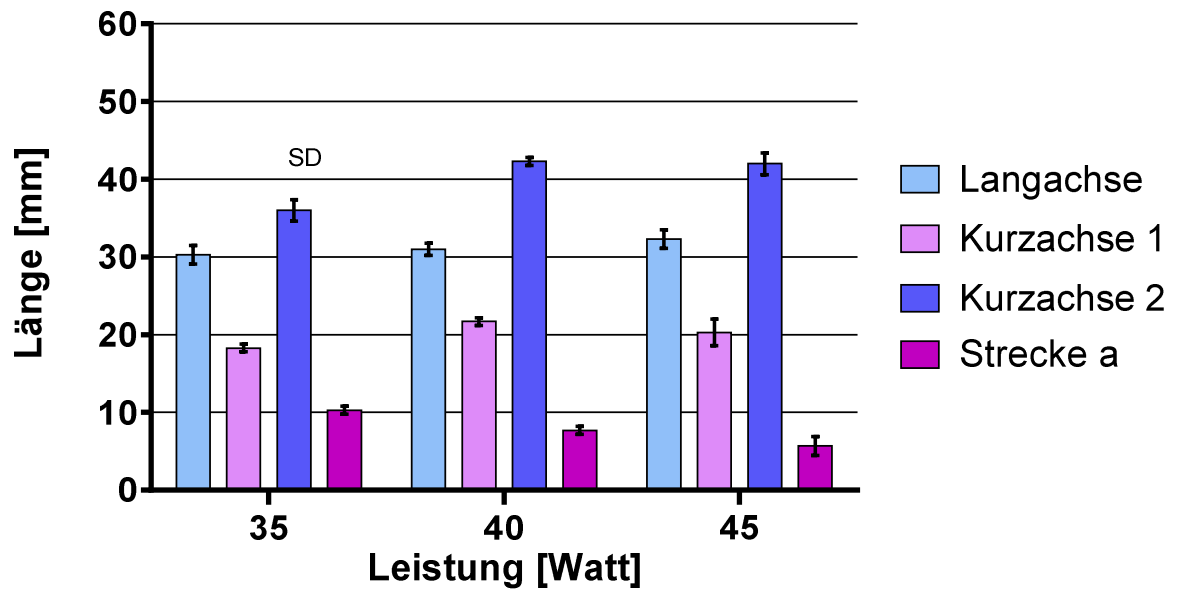
Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse a [mm]	Langachse b [mm]	Langachse c [mm]
1	45	10	36	32	35
2			35	31	35
3			38	34	38
Mean			36,3	32,3	36,0
SD			1,2	1,2	1,4

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 1 a [mm]	Kurzachse 1 b [mm]	Kurzachse 1 c [mm]
1	45	10	25	18	23
2			25	21	24
3			24	22	24
Mean			24,7	20,3	23,7
SD			0,5	1,7	0,5

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Kurzachse 2 a [mm]	Kurzachse 2 b [mm]	Kurzachse 2 c [mm]
1	45	10	50	40	32
2			48	43	31
3			51	43	34
Mean			49,7	42,0	32,3
SD			1,2	1,4	1,2

Versuch	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Strecke a [mm]	Shape Ratio
1	45	10	4	1,1
2			6	0,97
3			7	1,05
Mean			5,7	1,04
SD			1,2	0,05

Konstante:  $t = 10\text{min}$

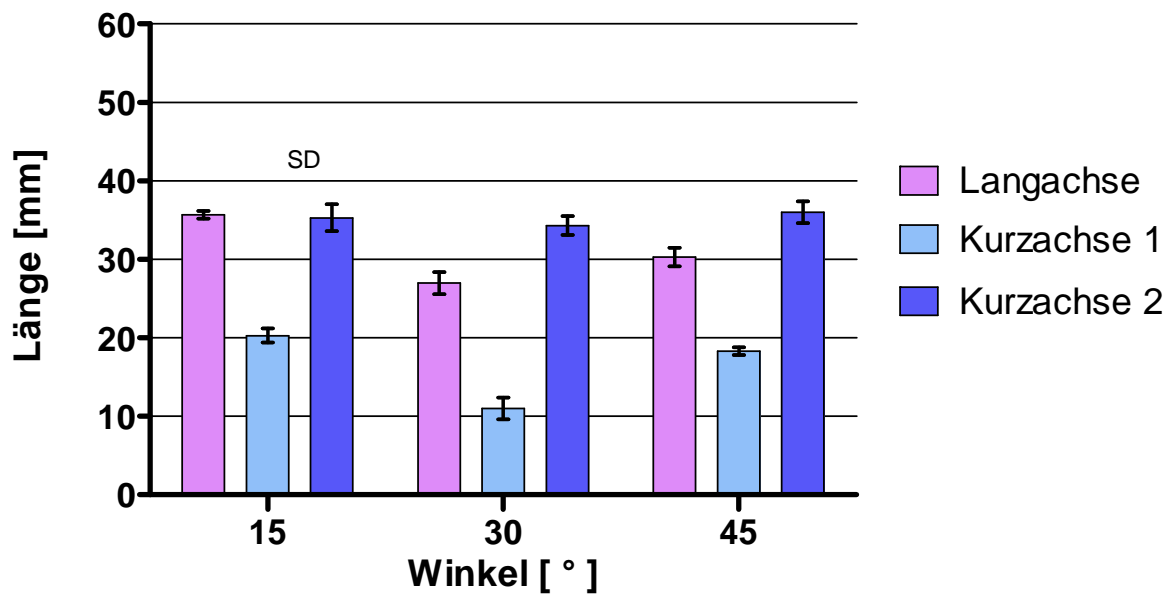


### 3.4.4 Vergleich der Ergebnisse gleicher Ablationsleistung und unterschiedlichen Winkel

a) Konstante: Ablationsleistung 35 Watt

Winkel [ ° ]	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse b [mm]	Kurzachse 1b [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Shape Ratio
15	35	10	35,7	20,3	35,3	1,28
30			27	11	34,3	1,2
45			30,3	18,3	36	1,04

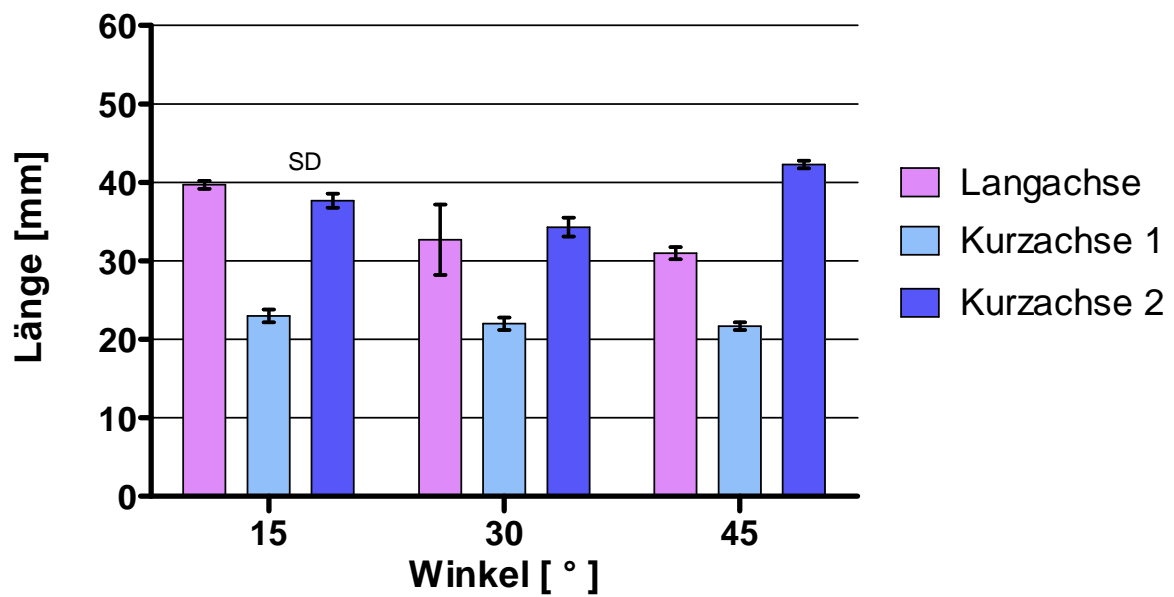
#### Konstante: Leistung 35 Watt



b) Konstante: Ablationsleistung 40 Watt

Winkel [ ° ]	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse b [mm]	Kurzachse 1b [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Shape Ratio
15	40	10	39,7	23,0	37,7	1,3
30			32,7	22,0	34,3	1,2
45			31,0	21,7	42,3	0,97

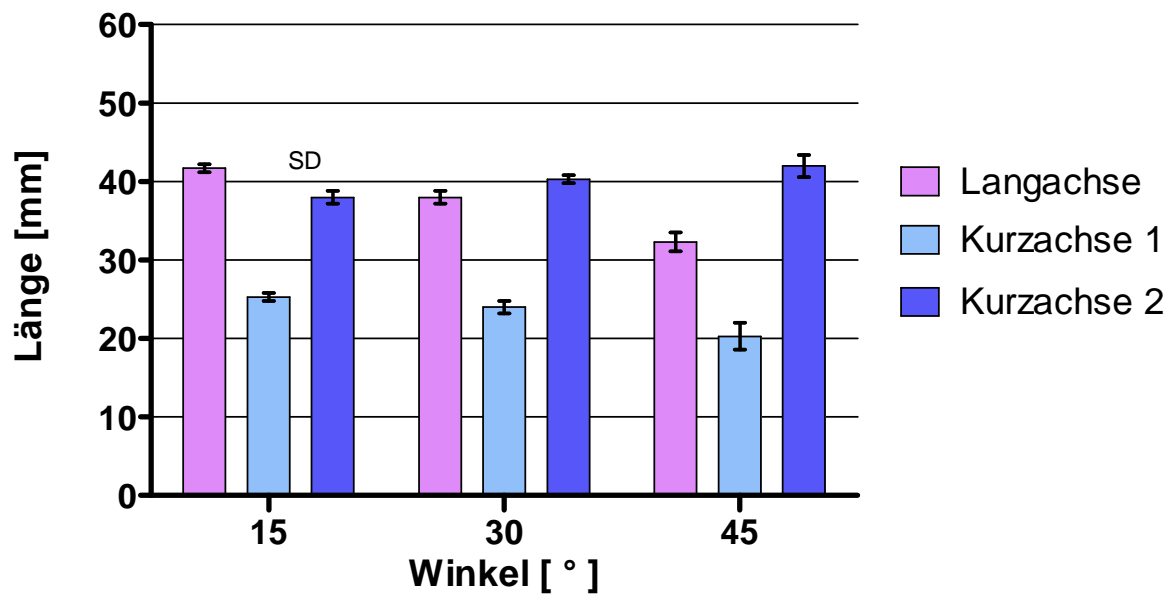
### Konstante: Leistung 40 Watt



c) Konstante: Ablationsleistung 45 Watt

Winkel [ ° ]	Leistung [Watt]	Zeit [min]	Langachse b [mm]	Kurzachse 1b [mm]	Kurzachse 2b [mm]	Shape Ratio
15	45	10	41,7	25,3	38	1,3
30			38	24	40,3	1,2
45			32,3	20,3	42	1,04

### Konstante: Leistung 45 Watt

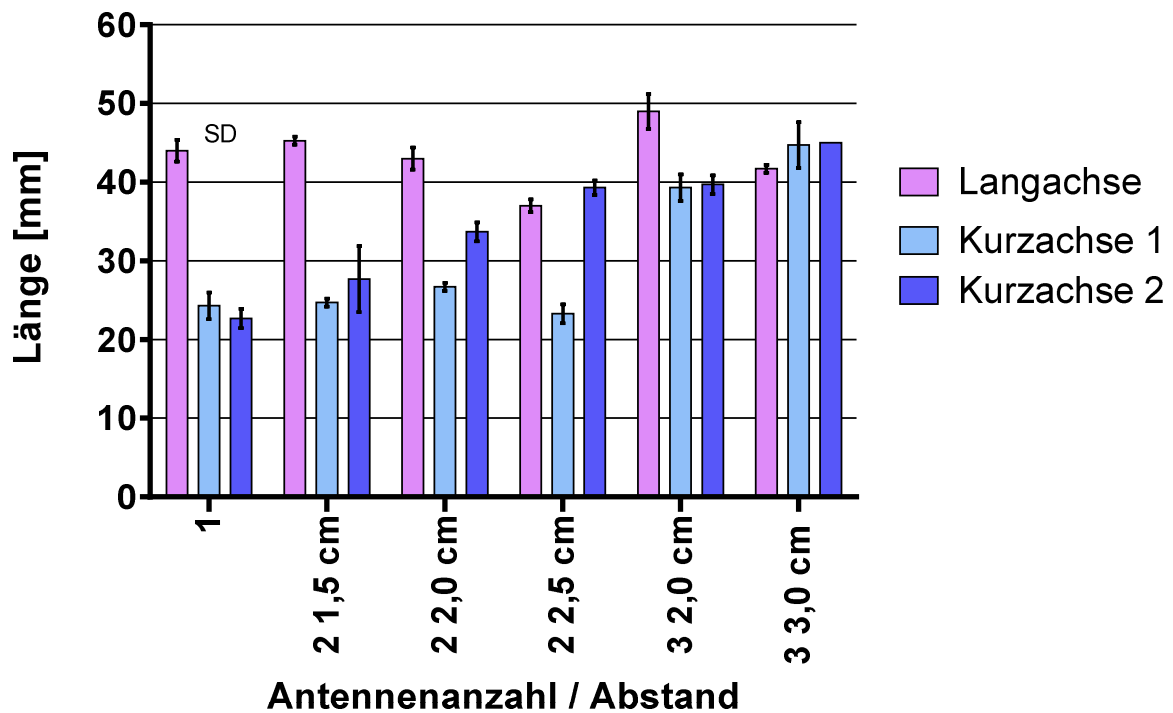


### 3.5 Vergleich der Ergebnisse mit gleicher Applikationsdauer und -leistung bei unterschiedlicher Antennenanzahl/ -abstand

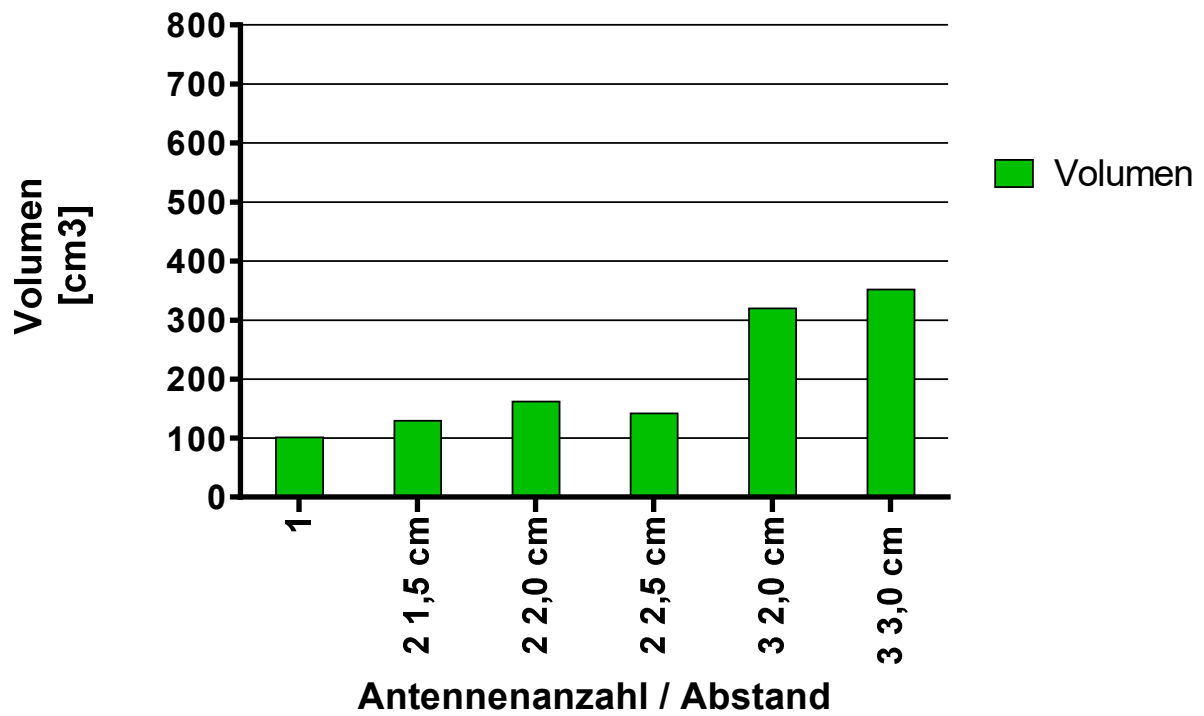
a) Konstante: Leistung 40 Watt; Applikationsdauer 10 min

Antennen-Anzahl	Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Shape Ratio
1		44,0	24,3	22,7	101,7	1,88
2	1,5	45,3	24,7	27,7	129,8	1,73
2	2,0	43	26,7	33,7	162,1	1,42
2	2,5	37	23,3	39,3	141,9	1,18
3	2,0	49	39,3	39,7	320,2	1,2
3	3,0	41,7	44,7	45	351,4	1,0

**Konstante: t = 10 min; P = 40W**



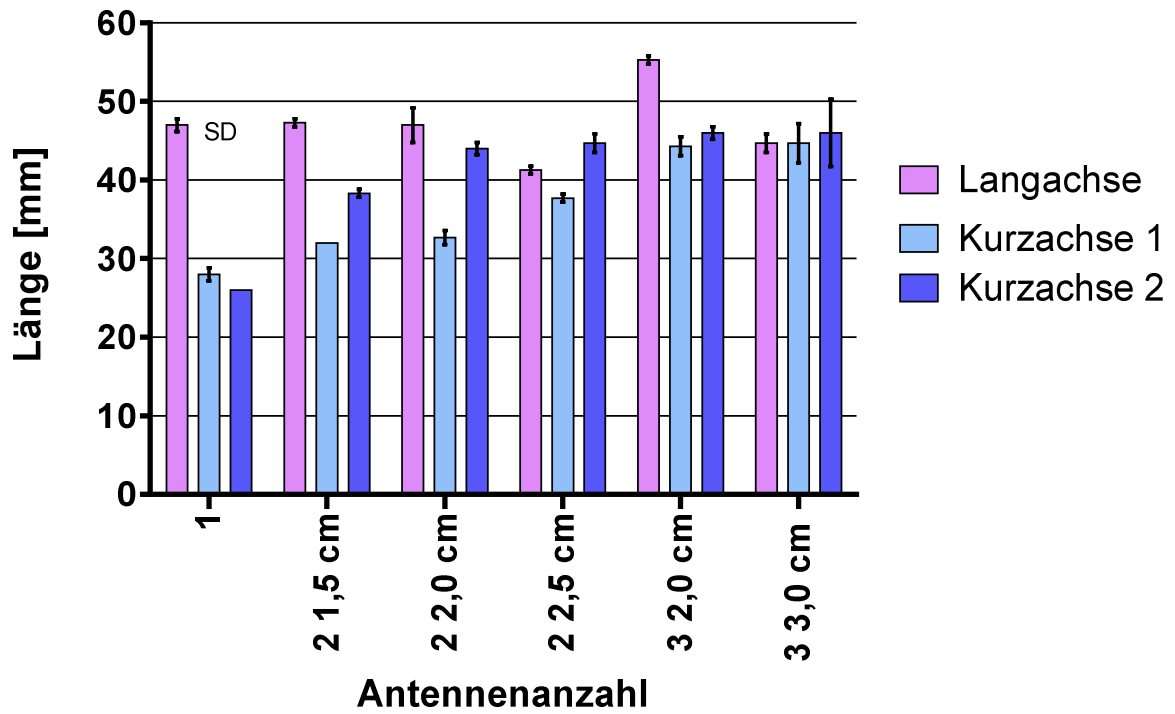
Konstante: t = 10 min; P = 40 W



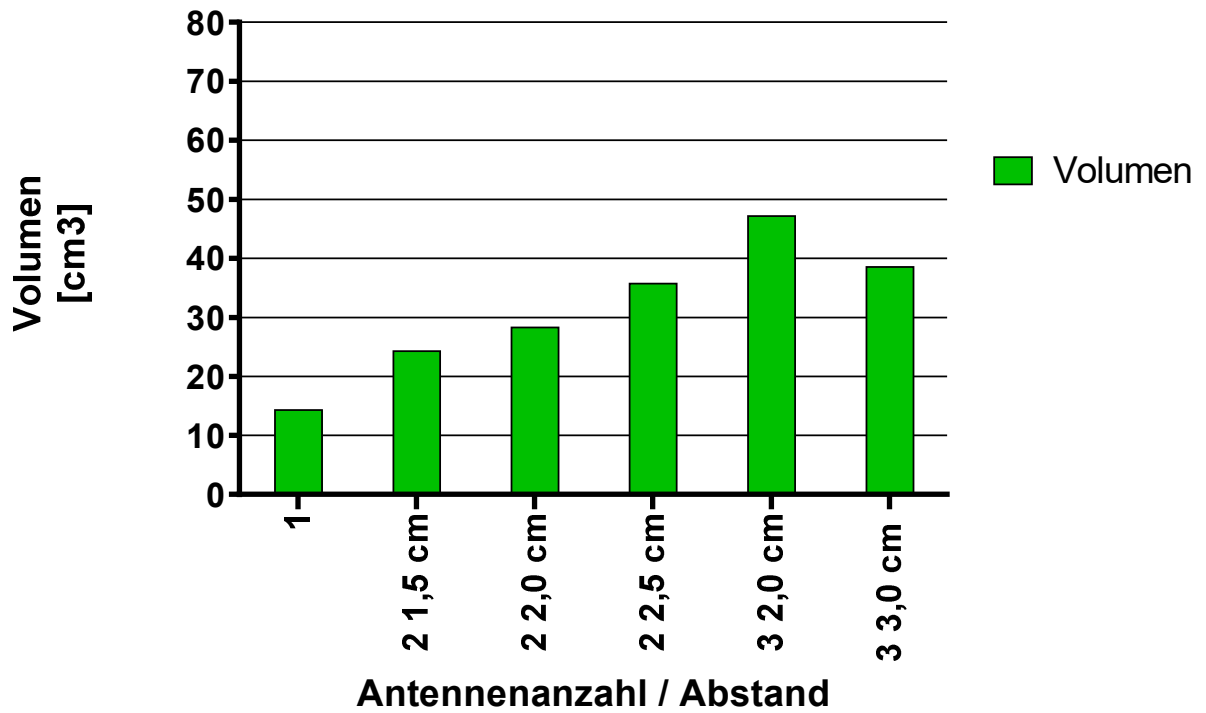
b) Konstante: Leistung 40 Watt; Applikationsdauer 15 min

Antennen-Anzahl	Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Shape Ratio
1		47,0	28	26	14	1,74
2	1,5	47,3	32	38,3	24	1,34
2	2,0	47	32,7	44	28	1,22
2	2,5	54,7	37,7	41,3	36	1,05
3	2,0	55,3	44,3	46	47	1,2
3	3,0	44,7	44,7	46	39	1,0

Konstante: t = 15 min; P = 40W



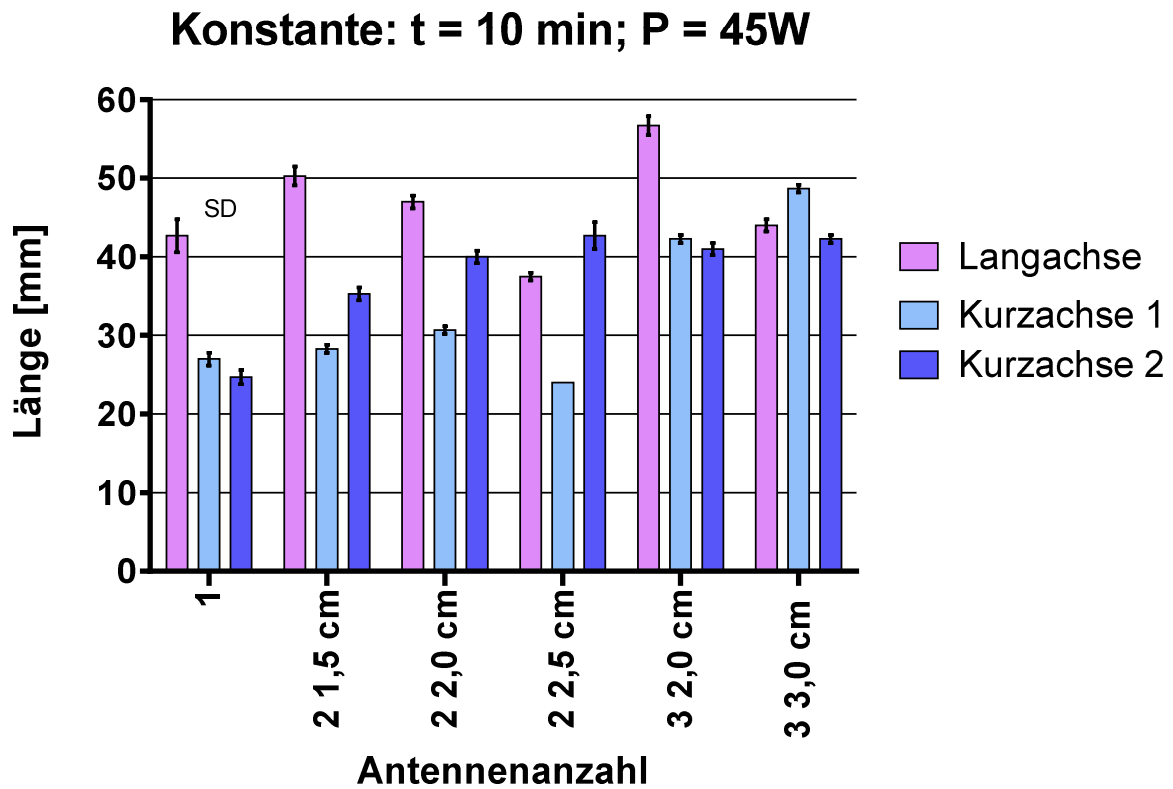
Konstante: t = 15 min; P = 40W



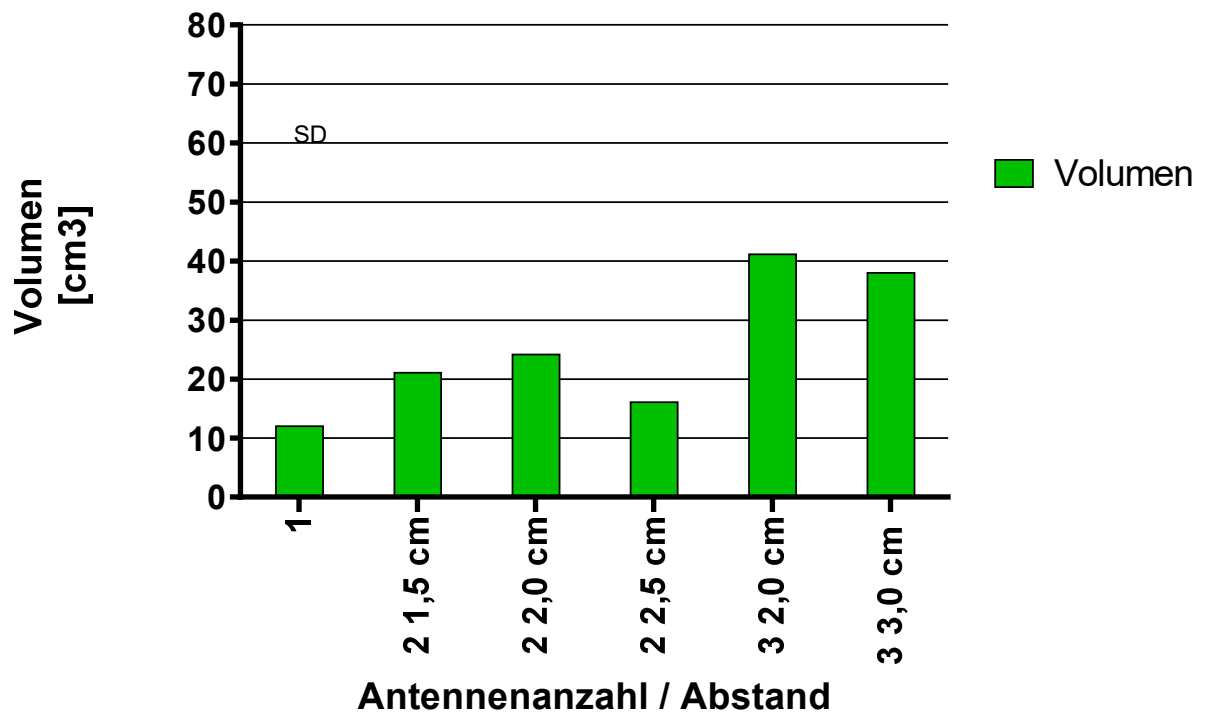


c) Konstante: Leistung 45 Watt; Applikationsdauer 10 min

Antennen-Anzahl	Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Shape Ratio
1		42,7	27	24,7	11,9	1,65
2	1,5	50,3	28,3	35,3	21,1	1,73
2	2,0	47	30,7	40	24,2	1,42
2	2,5	37,5	24	42,7	16,1	1,16
3	2,0	56,7	42,3	41	41,2	1,2
3	3,0	44	48,7	42,3	38,0	1,1

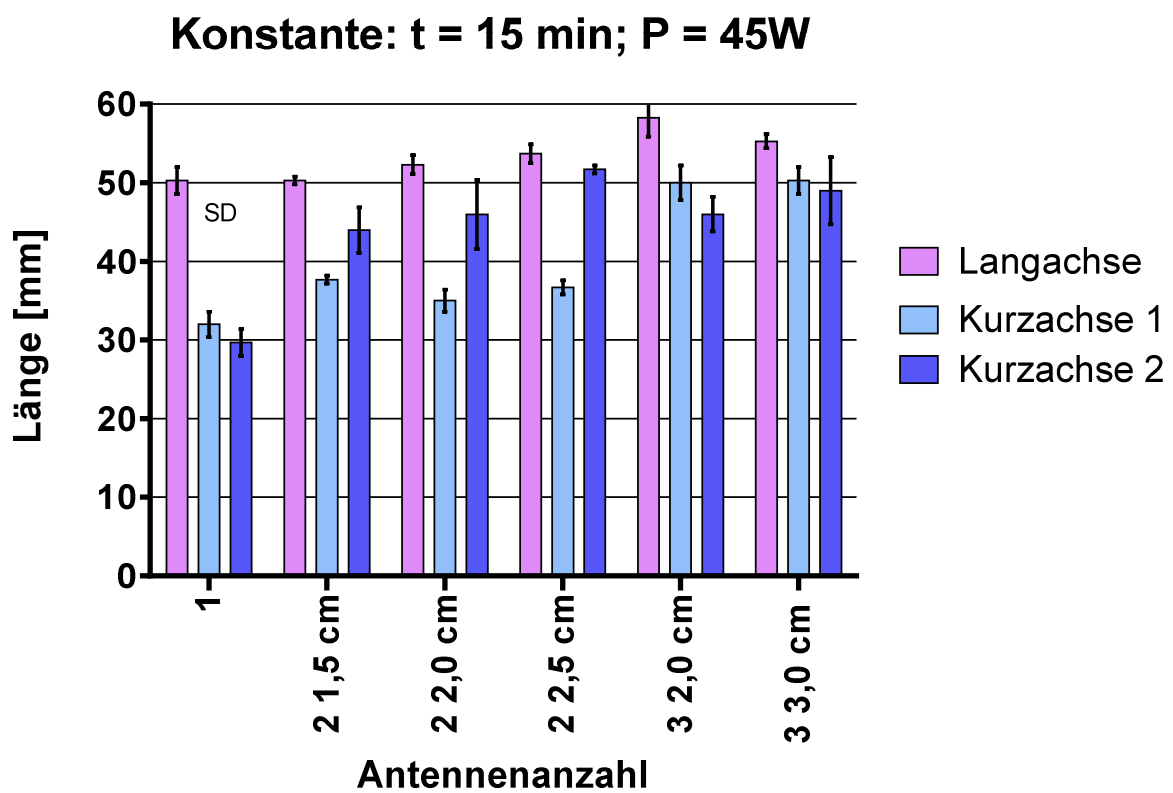


Konstante:  $t = 10 \text{ min}$ ;  $P = 45 \text{ W}$

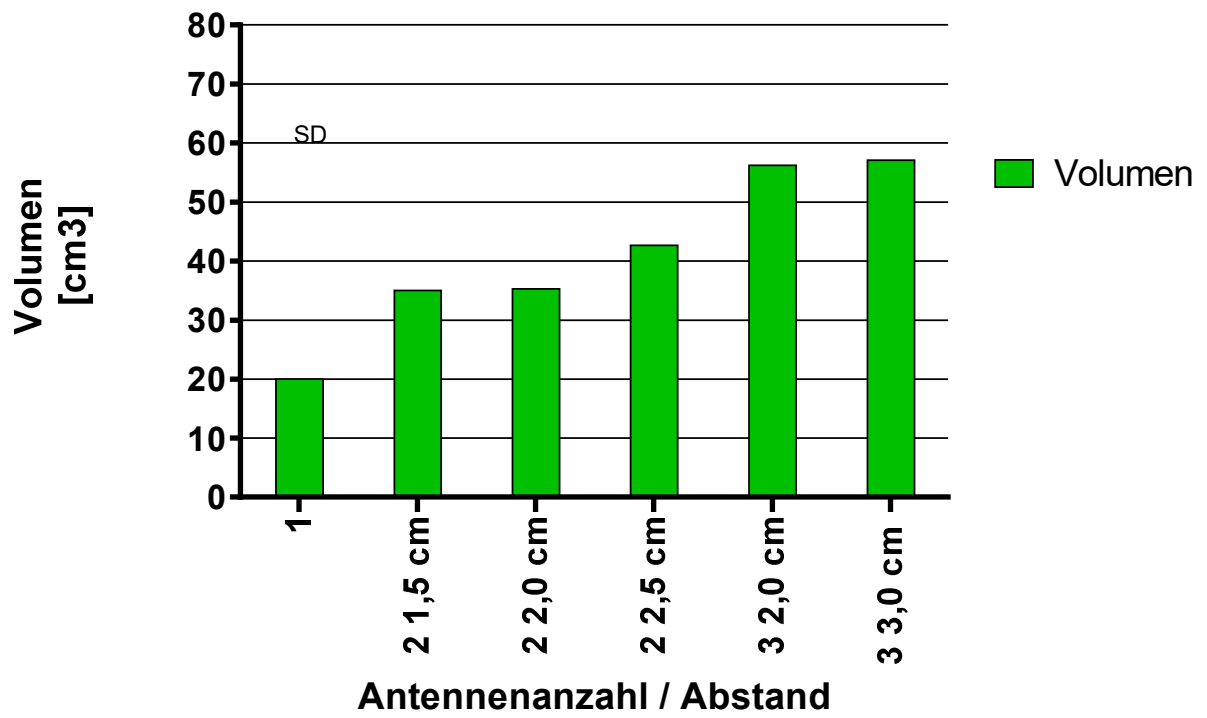


d) Konstante: Leistung 45 Watt; Applikationsdauer 15 min

Antennen-Anzahl	Abstand [cm]	Langachse [mm]	Kurzachse 1 [mm]	Kurzachse 2 [mm]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]	Shape Ratio
1		50,3	32	29,7	20,0	1,64
2	1,5	50,3	37,7	44	35,0	1,23
2	2,0	52,3	35	46	35,3	1,29
2	2,5	53,7	36,7	51,7	42,7	1,21
3	2,0	58,3	50	46	56,2	1,2
3	3,0	55,3	50,3	49	57,1	1,2



Konstante:  $t = 15 \text{ min}$ ;  $P = 45 \text{ W}$



## **4. Diskussion**

### **4.1 Einleitung und Ziele der Arbeit**

Nachdem sich die Radiofrequenzablation im klinischen Alltag bei der Behandlung primärer und sekundärer Lebertumoren wie auch in anderen Organen zunehmend etabliert hat, war es Ziel dieser Dissertation, die Anwendung neuer Generationen von Mikrowellen- Ablationssystemen als alternatives Ablationsverfahren zu evaluieren.

Ein Ablationsverfahren sollte so konzipiert sein, dass es folgende Kriterien erfüllt. Die Ablation sollte zum einen eine kurze Dauer haben, zum anderen die Ausdehnung und Form der induzierten Koagulationsnekrose reproduzierbar sein. Außerdem sollten sie unabhängig von der Perfusion des Gewebes sein und möglichst große, insbesondere sphärische Koagulationszonen erzeugen. Ein weiteres Ziel sollte sein, dass möglichst nur ein Applikator verwendet wird, um so die Eingriffsdauer zu senken, das Blutungsrisiko zu minimieren und die Kosten zu senken.

### **4.2 Ergebnisse**

#### **4.2.1 1 – Sondenversuche**

Der Versuchsaufbau mit einer Applikationssonde ist prinzipiell der Versuchsaufbau der Wahl, weil hier die geringsten Kosten und die höchste Effektivität entstehen.

Wenn man von einem Mindestsicherheitsabstand zum tumorösen Gewebe von jeweils mindestens 10 mm, also insgesamt 20 mm ausgehen sollte, sind die Versuchsaufbauten mit einer Koagulationszeit von 5 Minuten allesamt nicht praxistauglich, da hier die Kurzachsen 1 und 2 maximal 20 mm betragen und somit nicht über den Mindestsicherheitsabstand hinausgehen.

Die Shape Ratio reduziert sich bei steigender Applikationsleistung von 2,4 über 2,13 auf 2,1. Die Form der des Applikationsvolumens ist ellipsoid.

Die Versuchsreihe mit einer Dauer  $t = 10$  min sind die Ergebnisse für die klinische Anwendung geeigneter, jedoch nur bei einer Leistung von 40 und 45 Watt. Hier könnten bei einem Sicherheitsabstand von jeweils 10 mm kleine Tumore von bis zu 3 bzw. 5 mm mit einer singulären Energieapplikation koaguliert werden.

Die Shape Ratio reduziert sich bei einer Applikationsdauer von 10 min von 2,0 über 1,88 auf 1,65. Es zeigt sich weiterhin ein ellipsoidförmiges Koagulationsvolumen.

Bei der Versuchsreihe mit einer Dauer von  $t = 15$  min wird mit jeder der getesteten Applikationsleistungen der Mindestdurchmesser von 20 mm erreicht. Hier können Tumore von 3 mm bei 35 Watt, von 6 mm bei 40 Watt und von 10 mm bei 45 Watt koaguliert werden. Weil man jedoch eine möglichst kurze Dauer präferiert, ist eine Leistung von 35 Watt nicht zu bevorzugen, da die Koagulationsfläche auch bei den Versuchen mit 10min und einer Leistung von 40 bzw. 45 Watt erreicht wird.

Die Shape Ration reduziert sich bei einer Applikationsdauer von 15 min von 1,9 über 1,74 auf 1,64.

Insgesamt lässt sich daraus schließen, dass ein zunehmend sphärisches Koagulationsvolumen bei steigender Leistung und Applikationsdauer erreicht wird.

#### **4.2.2 2 – Sondenversuche**

Zunächst wird der Versuchsaufbau mit einem Sondenabstand von 15 mm bewertet. Bei allen Versuchen ist die Kurzachse 2 der limitierende Faktor, weswegen vor allem auf diese ein besonderes Augenmerk gelegt wird.

Hier zeigen sich erneut die Versuche mit einer Applikationsdauer von 5 Minuten als wenig praxistauglich, weil vor allem die Kurzachse 2 mit einer Länge von 20 bzw. 21 mm bei 40 bzw. 45 Watt den Mindestsicherheitsabstand nur erreicht bzw. nur um einen Millimeter übertrifft.

Die Shape Ratio zeigt sich während der Versuche nahezu konstant.

Bei einer Applikationsdauer von 10 min können Tumore von der Größe 5 mm bei 35 und 40 Watt, bzw. von 8,3 mm bei 45 Watt behandelt werden. Die maximale erreichte Größe ist jedoch geringer als bei dem Versuchsaufbau mit einer Sonde unter der Einstellung  $P = 45$  Watt und  $t = 15$  min.

Bei einer Applikationsdauer von 15 Minuten ist die Kurzachse 2 bei 35 Watt kleiner als bei dem 1 – Sondenversuch und empfiehlt sich aus diesem Grund ebenfalls nicht für die klinische Anwendung. Mit einer Leistung von 40 bzw. 45 Watt könnten mit einer singulären Anwendung des Systems Tumore bis zu 12 mm bzw. 18 mm behandelt werden.

Die Shape Ratio sinkt bei zunehmender Leistung von 1,42 auf 1,23, was auf eine günstiger werdende Koagulationsform hinweist.

Bei dem Versuchsaufbau mit einem Sondenabstand von 20 mm und einer Applikationsdauer von 5 Minuten erreicht keine der gewählten Applikationsleistungen den Mindestsicherheitsabstand von 20 mm. Außerdem zeigt sich die Langachse im Vergleich zu den 1 – Sondenversuchen verringert, so dass davon ausgegangen werden muss, dass sich die einzelnen Koagulationsflächen nur schneiden und sich nicht gegenseitig verstärken.

Bei einer Applikationszeit von 10 Minuten können Tumore von 6 mm, 7 mm und 11 mm bei steigender Applikationsleistung behandelt werden. Hier wird die maximale Koagulationsgröße von 10 mm des 1 – Sondenversuches nur knapp übertroffen.

Die Shape Ratio erreicht Werte zwischen 1,25 und 1,42.

Bei einer Applikationsdauer von 15 Minuten können Tumore von 11 mm, 13 mm und 15 mm behandelt werden. Die Shape Ratio schwankt minimal zwischen 1,34 und 1,22. Hier zeigt sich die Verwendung von zwei Sonden der Verwendung von einer Sonde deutlich überlegen.

Im Weiteren werden die Versuche mit zwei Sonden mit einem Abstand von 25mm diskutiert. Hier zeigt sich bei den Versuchen mit 5 Minuten und einer Leistung von 35 bzw., 40 Watt keine zusammenhängende Koagulationszone, was die praktische Anwendbarkeit ausschließt. Die Versuche mit 45 Watt erreicht eine Kurzachse 2 von 17 mm, diese erreicht bei einem geforderten Mindestsicherheitsabstand von jeweils 10 mm ebenfalls auch keine praktische Relevanz.

Bei einer Applikationsdauer von 10 Minuten erreicht die Kurzachse 2 bei 40 und 45 Watt mit 23 und 24 mm die Mindestanforderung, jedoch werden diese auch nur knapp übertroffen, so dass Tumore mit 3 bzw. 4 mm Diameter koaguliert werden können.

Bei einer Applikationsdauer von 15 Minuten können Tumore mit einer Größe 10 bis 18 mm koaguliert werden. Die Langachse bei 35 Watt Leistung zeigt sich mit 35 mm Länge als sehr kurz, so dass wieder von einer Fläche ausgegangen werden muss, bei der sich die einzelnen Koagulationsflächen schneiden und sich nicht ergänzen.

Bei den Versuchen mit 2 Applikationssonden zeigt sich die Langachse bei den Versuchen mit 10 Minuten bei steigendem Abstand abnehmend. Dies lässt sich damit begründen, dass die sich die einzelnen Ablationszonen nur schneiden. Bei den Versuchen mit 15 Minuten zeigt sich hingegen eine Steigerung der Langachse bei Vergrößerung des Abstandes der Ablationssonden, hier scheinen sich die Ablationseffekte beider Sonden positiv zu verstärken.

### 4.2.3 3 – Sondenversuche

Die Versuche mit drei Koagulationssonden wurden in Abständen von zwei, drei und vier Zentimeter durchgeführt. Bei einem gewählten Abstand von vier Zentimetern war jedoch selbst bei höchster Applikationsleistung und – zeit keine zusammenhängende Koagulationsfläche mehr erreichbar, so dass diese Versuchsanordnung als ungeeignet gelten muss.

Zunächst wird die Versuchsreihe mit einem Sondenabstand von jeweils 2 cm betrachtet.

Bei den Versuchen mit einer Koagulationsdauer von fünf Minuten zeigt sich die Kurzachse 2 als limitierender Faktor. Es könnten nur Tumore von einer Größe von 4 bis 6 mm behandelt werden, was den Einsatz von drei Sonden nicht rechtfertigt.

Bei den Versuchen mit  $t = 10$  min zeigen sich bei 40 und 45 Watt Koagulationsleistung annähernd runde Koagulationsflächen und es können Tumore von 19 bis 21mm koaguliert werden. Die Versuche mit 35 Watt zeigt sich die Kurzachse 2 als limitierender Faktor.

Bei 15 Minuten Koagulationsdauer könnten Tumore bis 26 mm koaguliert werden.

Betrachtet man die Versuche mit einem Applikationssondenabstand von 3,0 cm können auch hier bei  $t = 5$  min keine zusammenhängenden Koagulationsflächen erreicht werden. Bei einer Applikationsdauer von 10 Minuten können Tumore zwischen 12 und 16 mm Diameter koaguliert werden.

Bei den Versuchen mit  $t = 15$  Minuten können Tumore zwischen 19 und 21 mm Diameter koaguliert werden.

Auch bei den Versuchen mit drei Ablationsantennen sinkt die Länge der Langachse bei zunehmendem Abstand der Ablationsantennen bei gleicher Applikationsdauer von 57 auf 55 mm bei 45 Watt Leistung und einer Dauer von 15 Minuten. Noch stärker ausgeprägt zeigt sich die bei 10-minütiger Applikationsdauer. Hier reduziert sich die Langachse bei 45 Watt Leistung von 57 mm auf 44 mm.

Bei einem Antennenabstand von 3 cm zeigt sich sowohl eine geringere Langachse als auch ein geringeres Ablationsvolum als bei einem Antennenabstand von 2 cm. Die Langachse wird im Zentrum der drei Ablationsantennen gemessen. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Schnittmenge der drei einzelnen Ablationszonen jeder Antenne insgesamt kleiner ist und somit die gemessene Langachse kürzer ist als die



Langachse der einzelnen Ablationsantennen. Die Koagulationsform wird so insgesamt weniger sphärisch.

Zusammenfassend ist festzustellen bei Tumoren über 2 cm Diameter eher drei Sonden verwendet werden sollten, wenn auf eine Umpositionierung der Antennen verzichtet werden soll, da bei einer Verwendung von nur zwei Antennen eine der Kurzachsen limitiert bleibt.

#### **4.2.4 2 – Sondenversuche mit unterschiedlichen Winkeln**

In dieser Versuchsreihe wurden mögliche Hindernisse, wie z.B. Rippen oder größere Gefäße simuliert, was die Platzierung der Applikatoren im klinischen Alltag erschweren kann.

Bei den Versuchen mit unterschiedlichen Winkeln zeigt sich, dass bei zunehmendem Winkel sich die Langachse und Kurzachse 1 eher verkürzt, sich die Kurzachse 2 eher verlängert.

Bei  $t = 10$  min und  $P = 35$  Watt können keine praxisrelevanten Ergebnisse erzielt werden.

Bei einer Leistung von 45 Watt können bei einem Winkel von  $15^\circ$  Tumore von 5 mm sicher entfernt werden, bei  $45^\circ$  werden keine für eine Ablation suffizienten Ergebnisse erzielt.

### **4.3 Geometrische Form der Koagulationen**

Die Versuche mit einer Koagulationssonde zeigen insbesondere bei kurzer Anwendungsdauer eine stark ellipsoide Form.

Bei den Versuchen mit zwei Sonden zeigen sich entweder breitere ellipsoide Formen oder die Form von zweier sich schneidender Ellipsoiden. Bei den Versuchen mit drei Sonden können sphärische Ablationszonen erzielt werden. Jedoch sank das Volumen der „effektiven“ (zusammenhängenden) Koagulation bei Erhöhung des Abstandes der Ablationsantenne von 2 auf 3 cm.

Die Versuche mit unterschiedlichen Winkeln bilden zum Teil „herzförmige“ Koagulationsvolumen. Dies lässt sich an der sich verkürzenden Längsachse (bei  $t=10$ min und  $P=45$  Watt sinkt die Langachse von 41,7 über 38,0 zu 32,3 bei einer Erhöhung des Winkels um jeweils  $15^\circ$ ) zeigen.

#### 4.4 Limitierungen der Studie

An dieser Stelle müssen noch einige Limitierungen der Studie benannt werden.

Die Sonden sind in der klinischen Anwendung aufgrund der Hygiene und der Patientensicherheit nur für den einmaligen Gebrauch ausgelegt und zugelassen. Für diese Ex-vivo-Studie wurden die Antennen mehrfach eingesetzt, vor allem um Kosten zu senken. Die Antennen wurden bis zum Defekt eingesetzt. In der Regel brach die Antennenspitze nach ca. 15-20 Anwendungen ab. Diese Versuche wurden daraufhin wiederholt. Hierbei kann es theoretisch zu einer Verminderung der Ablationsleistung gekommen sein.

Des Weiteren wurde die Rinderlebern in der Regel am Vortag der jeweiligen Versuchsreihe vom Metzger abgeholt und dann am nächsten Tag eingesetzt. Auch hier kann es zu geringfügig unterschiedlichen Temperaturen der eingesetzten Leber gekommen sein, was zu abweichenden Ergebnissen führen kann.

Die erzielten Ergebnisse basieren auf ex-vivo Experimenten, wobei bedeutende Unterschiede zur in-vivo Behandlung möglich sind. Im perfundierten Gewebe, bei dem es durch die Mikro- und Makroperfusion zu einem Wärmeabtransport durch den Blutfluss kommt, werden bei in vivo Versuchsreihen früherer Studien kleinere Ablationsvolumina erreicht.<sup>42 43</sup> Durch den bereits oben beschriebenen Heat-Sink Effekt kommt es zu einem relevanten Wärmeabtransport durch eine konstante Kühlung der Ablationszone durch die vorhandenen großen Lebergefäße. Dabei gibt es Studien, die diesem im Fall der Mikrowelle für weniger relevant als bei der RFA halten.

Weiterhin herrscht eine niedrigere Temperatur in der ex-vivo Leber (Raumtemperatur ca. 20°C) im Vergleich zur Gewebstemperatur von 36°C.

Bei dieser Studie wurde mit avitalem Gewebe gearbeitet, wobei trotz Kühlung postmortale Gewebsveränderungen zu einer Beeinflussung der Versuchsergebnisse geführt haben können.

Letztendlich muss noch angeführt werden, dass es sich bei dem koagulierten Gewebe um gesundes Leberparenchym tierischen Ursprungs handelt und nicht um

Tumorgewebe, eine direkte Übertragung der Ergebnisse ist also nicht möglich. Es wurde jedoch in früheren Studien gezeigt, dass sich Tumorgewebe deutlich anfälliger auf Hitzeeinwirkungen zeigt.<sup>44</sup> Dies kann sich positiv auf das Verhalten der MWA in klinischen Einsatz auswirken.

#### **4.5 Vergleiche mit der Literatur**

In der Studie Comparison of Four Microwave Ablation Devices: An Experimental Study in ex Vivo Bovine Liver<sup>45</sup> wurden 4 verschiedene Mikrowellensysteme von verschiedenen Herstellern miteinander verglichen.

Es handelt sich um folgende Systeme:

1. Acculis Sils Vp an Accu2i der Firma Microsulis Medical Limited
2. HS Amica-Gen an APK14160T19V4 der Firma HS Hospital Service
3. Den hier in dieser Arbeit verwendeten Generator von Valleylab
4. Avecure Microwave Generator and 14-15-LH-35 der Firma Medwaves

Als vergleichenden Parameter wird die Kurzachse betrachtet. Das Generator der Firma Microsulis Medical Limited erzeugt die höchste Leistung mit 180Watt, das der Firma HS Hospital Service 140 Watt. Es handelt sich hier um Hochenergiesysteme mit einer Frequenz von 2,45 GHz. Hier können in kürzerer Zeit deutlich höhere Koagulationsvolumina erreicht werden.

Das System der Firma Medwaves erzeugt eine Leistung von 40 Watt. Es muss jedoch nicht gekühlt werden. Hierdurch kommt es zu einem höheren Koagulationsvolumen im Vergleich zu dem System von Valleylab mit einer Systemleistung von 60 Watt.

Als Schlussfolgerung kommt der Autor zu dem Ergebnis, dass die größten Ablationszonen mit dem System 2 und 3 (mit 3 Antennen) mit der maximal empfohlenen Ablationsdauer erreicht werden kann. Die größte Ablationszone in der kürzesten Zeit konnte mit dem System 1 erreicht werden, hier zeigt ein bedeutender Vorteil des Hochenergiesystems. Die kugelförmigste Ablation konnte mit dem System 3, welches in dieser Dissertation zum Einsatz kam, unter der Verwendung von drei Antennen erreicht werden.

Der größte Durchmesser erreicht das System mit 3 Applikationssonden des Generators der Firma Valleylab mit  $51 \pm 1$  mm, der höchste Wert in der hier vorliegenden Arbeit beträgt  $50 \pm 2$  mm. Dies wird jedoch erst mit einer Applikationsdauer von 15 Minuten

erreicht, im Vergleich mit den 10 Minuten in der Studie von Hofmann et al. Hier zeigt sich ein signifikanter Unterschied in den Ergebnissen.

In dem Paper „The current role of minimally invasive therapies in the management of liver tumors“<sup>46</sup> wurden verschiedene Systeme der RFA und der Mikrowellenablation verglichen. Es wurden jeweils nur Ein- Antennen- Systeme untersucht.

Zum einem kam ein System mit einem Wasser gekühlter RFA Einsatz. Die Leistung betrug 200 Watt (Maximalleistung) (Cool-tip, Covidien, Dublin, Irland). Außerdem ein mit Gas gekühltes RFA- System mit unterschiedlicher Stromstärke (1200mA, 1400mA, und 1600mA) (VIO300D, ERBE, Tübingen, Deutschland) und ein gasgekühltes Mikrowellensystem (915 MHz) (VivaWave, Vivant, Portola Valley, CA, USA).

Ablationsdauer war für alle Systeme 15 Minuten.

Verglichen wurden die Kurzachse, das Koagulationsvolumen und die Shape Ratio. Die größte Kurzachse wurde von dem gasgekühlten System mit einer Stromstärke von 1600mA mit  $35 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  erreicht. Die wassergekühlte Variante der RFA erreichte eine signifikant kleinere Kurzachse von  $25 \pm 4 \text{ mm}$ . Die Gasgekühlte MWA erreichte  $29 \pm 10 \text{ mm}$ .

Die maximal in dieser Studie erreichte Kurzachse mit einer Sonde betrug  $30 \pm 2 \text{ mm}$ . Hier zeigt sich im Vergleich ein signifikanter Vorteil der Gasgekühlten Variante der RFA im Vergleich zur Wassergekühlten Variante der RFA und beider Systeme der MWA bei einer singulären Anwendung.

Das in dieser Arbeit verwendete Ablationssystem zeigt bei einer singulären Anwendung eine signifikant kürzere Kurzachse mit  $30 \text{ mm}$  im Vergleich mit  $34 \text{ mm}$  der gasgekühlten RFA bei höchster Leistung. Bei einer parallelen Anwendung von drei Sonden zeigt sich dieses System den anderen Systemen jedoch mit einer Kurzachse von  $50 \pm 2 \text{ mm}$ .

Ein Vergleich mit dem gasgekühlten Mikrowellensystem zeigt nahezu identische Ergebnisse der Kurzachse, mit  $30 \pm 2$  zu  $29 \pm 1 \text{ mm}$ . Hier zeigt sich kein signifikanter Unterschied bei der Wahl der Kühlung bei identischer Frequenz der Systeme.

#### **4.6 Schlussfolgerung**

Ziel einer klinisch relevanten Mikrowellenablation sollte eine sphärische Form, möglichst große Durchmesser in möglich kurzer Zeit sein.

In der hier durchgeführten Arbeit zeigt sich, dass mit dem neuen MW-Gerät der Fa. Valleylab auf unterschiedliche Methoden klinisch relevante Ablationsvolumina zu erreichen sind. Man muss bei der Planung eines Eingriffes jedoch bestimmte Parameter beachten, welche im Folgenden erläutert werden.

Durch den Einsatz der Mikrowellenablation lassen sich in relativ kurzer Zeit große Ablationsvolumina erreichen. Bei Tumoren über 2 cm Diameter kann eine ausreichende Ablation mit einer einzelnen Applikationsantenne dieses Systems nicht erreicht werden. Ab einem Tumordiameter von über 2 cm wird der Einsatz von drei Applikationssonden empfohlen. Die größten Ablationsvolumina werden mit drei Applikationssonden bei höchster Leistung bei 15 Minuten Applikationsdauer erreicht. Die Zentimeter Abstand zeigen hier keine signifikanten Unterschiede (Kurzachse 1: 50 zu 50 mm und Kurzachse 2: 46 zu 49 mm), bei geringen Unterschieden der Langachse. Eine weitere Versuchsaufbauten mit jeweils zwei und drei Vergrößerung der Sondenabstände über 3 cm erzielte bei einer Anwendungsdauer von 15 Minuten keine zusammenhängende Koagulationszone mehr.

In der von der Firma Valleylab vorgegeben maximalen Koagulationsdauer von 10 Minuten sinkt die Langachse bei einer Verlängerung der Abstände von 2 auf 3 cm noch deutlicher ab. Bei einer Leistung von 45 Watt reduziert sich hier die Langachse von 57 auf 44mm.

Auch bei den Versuchen mit zwei Applikationssonden zeigt sich eine Verringerung der Langachse bei steigendem Abstand der Sonden. Erst bei einer Erhöhung der Applikationsdauer auf 15 Minuten sieht ergibt sich eine leicht steigende Langachse bei relativ konstanter Kurzachse.

Der größte mit einer Sonde erreichte Diameter beträgt 30 mm bei einer Leistung von 45 Watt und einer Applikationsdauer von 15 min.

In der Versuchsreihe mit unterschiedlichen Winkeln wurden Hindernisse beim klinischen Alltag, wie zum hinter Rippen oder größeren Gefäßen gelegen Tumore, simuliert.

Hier zeigt sich bei größer werdenden Winkeln eine eingeschränkte Praxistauglichkeit, weil sich hier die Ablationsflächen proximal auseinanderbewegen und sich somit die Form des Koagulationsvolumens nicht mehr als ellipsoid, sondern sich am ehesten mit einer dreidimensionalen Herzform beschreiben lässt.

Abschließend erfolgt eine Empfehlung für das hier getesteten MWA Systems bzgl. des praktischen Einsatzes.

Bei Verwendung einer Ablationssonde zeigen sich ellipsoide Koagulationsvolumina und es können Diameter von 30 mm erreicht werden. Hier wird nur der, für die Ablation wichtigste kürzeste Diameter, angegeben.

Bei Verwendung von zweier Ablationssonden zeigen sich verbreiterte ellipsoide Koagulationsvolumina und es können Diameter von 38 mm erreicht werden.

Bei dem Einsatz von drei Ablationssonden zeigen sich sphärische Koagulationsvolumina. Der maximale Diameter beträgt 46 mm.

Für alle Ergebnisse zeigt sich eine hohe Reproduzierbarkeit, was sich insgesamt an den niedrigen Werten für die Standardabweichung ablesen lässt.

## 5. Zusammenfassung

Die Mikrowellenablation hat sich neben der Radiofrequenzablation zu einer Alternative, bzw. zu einer ergänzenden Therapieoption zur Operation bei der Behandlung von tumorösen Erkrankungen der Leber, Nieren und Lunge entwickelt. Haupteinsatzgebiet als minimalinvasive Alternative stellen vor allem kleine tumoröse Läsionen, meist kleiner als 3 cm dar, bzw. Läsionen<sup>47</sup>. Bei größeren Tumoren besteht die Gefahr, dass aufgrund der geringen Ablationsvolumina vitales Tumorgewebe nicht vollständig behandelt wird.

Die Ablationssysteme wurden in den letzten Jahren ständig weiterentwickelt um die Limitierungen, wie z.B. dem Heat-Sink Effekt zu reduzieren. Hier zeigt sich im Vergleich mit anderen Ablationssystemen die MWA im Vorteil.

In dieser Arbeit wurden verschiedene Versuchsaufbauten mit dem MWA System der Firma Valleylab unter ex vivo Bedingungen untersucht.

Die Variablen bestanden Anzahl der Ablationsantennen, Ablationsdauer, Ablationsleistung, Abstand der Ablationsantennen im Mehrsondenversuch und Winkel im 2- Sondenversuch zu einander.

Die größten gemessenen Kurzachsen werden mit drei Ablationsantennen mit einem Abstand von jeweils drei Zentimeter zueinander bei höchster Leistung und längster Versuchsdauer erreicht. (Langachse 58 mm, Kurzachsen 50 mm und 46 mm) Ein weiterer Abstand der Ablationsantennen ergab keine zusammenhängende Ablationszone und gefährdet somit den Therapieerfolg.

Ein Vorteil in der Verwendung dreier Ablationsantennen ist die sphärische Form der Koagulationsvolumina. Hierbei zeigt sich die Verwendung von lediglich zwei Sonden als nachteilig.

Bei den Versuchen mit unterschiedlichen angulierten Antennen, zeigte sich v.a. bei großen Winkeln ab 30° eine als herzförmig zu beschreibende Koagulationszone, was sich als Nachteil am basisnahen Bereich darstellt. Hier können zwar große Koagulationsvolumina erreicht werden, jedoch sind die sich überschneidenden Volumina eher gering, was sich auch an der wenig sphärischen Form zeigt.

Es konnte in dieser Arbeit auch gezeigt werden, dass eine Verringerung der Leistung sich signifikant negativ auf die Kurzachsen auswirkt und somit im praktischen Alltag nur zur gezielten Komplikationsvermeidung zur Verwendungen kommen sollte. Eine Verkürzung der Ablationsdauer auf 5 Minuten zeigt signifikant schlechtere Ergebnisse als die Versuche mit 10 und 15 Minuten und gefährdet somit den Therapieerfolg.

Weiterhin zeigt sich, dass der Abstand der Ablationsantennen im Zwei- bzw. Dreisondenversuch nicht zu groß gewählt werden darf. Hier zeigt sich bei steigendem Abstand eine sich verringernde Langachse. Dies ist ein Anzeichen dafür, dass sich die Koagulationsvolumina sich nicht mehr ergänzen, sondern nur schneiden und es so im proximalen und distalen Bereich der Ablationszone zu Bereichen kommen kann, bei den Tumorgewebe nicht sicher ablatiert werden kann.



## 6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2: Skizze Abstandshalter 2- Sondenversuch .....	18
Abbildung 3: Skizze Abstandshalter 3- Sondenversuch .....	19
Abbildung 4: Originalfoto Abstandshalter 3- Sondenversuch .....	19
Abbildung 5: Skizze Rampe für die Winkelversuche .....	20
Abbildung 6: Originalfoto der Rampe (15°) für die Winkelversuche.....	20
Abbildung 7: Originalfoto der Rampe (45°) für die Winkelversuche.....	21
Abbildung 8: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit einer Ablationssonde .....	23
Abbildung 9: Skizze des Längsschnitts der Versuchsanordnung mit einer Ablationssonde .....	23
Abbildung 10: Originalfoto des Querschnitts eines 1- Sondenversuchs .....	23
Abbildung 11: Originalfoto des Längsschnitts eines 1- Sondenversuchs .....	24
Abbildung 12: Skizze des Querschnitt der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden .....	24
Abbildung 13: Originalfoto des Querschnitts eines 2- Sondenversuchs .....	25
Abbildung 14: Skizze des Längsschnitts der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden .....	25
Abbildung 15: Originalfoto des Längsschnitts eines 2- Sondenversuchs .....	25
Abbildung 16: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit drei Ablationssonden .....	26
Abbildung 17: Originalfoto des Querschnitts eines 3- Sondenversuchs .....	26
Abbildung 18: Skizze des Längsschnitt der Versuchsanordnung mit drei Ablationssonden .....	27
Abbildung 19: Originalfoto des Längsschnitts eines 3- Sondenversuchs .....	27
Abbildung 20: Skizze des Querschnittes der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln.....	28
Abbildung 21: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von der Seite) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln .....	29
Abbildung 22: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von oben) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit unterschiedlichen Winkeln.....	29
Abbildung 23: Skizze des Längsschnitts (Ansicht von oben) der Versuchsanordnung mit zwei Ablationssonden mit dem Winkel von 45° .....	30

Abbildung 24: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 2 Sonden (Abstand 2,5cm, P= 45 Watt, t= 5 min) .....	52
Abbildung 25: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 2 Sonden (Abstand 2,5cm, P= 40 Watt, t= 5 min) .....	55
Abbildung 26: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 35 Watt, t= 5 min) .....	71
Abbildung 27: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 40 Watt, t= 5 min) .....	73
Abbildung 28: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 3 cm, P= 45 Watt, t= 5 min) .....	75
Abbildung 29: Originalfoto des Versuchsaufbaus mit 3 Sonden (Abstand 4 cm, P= 45 Watt, t= 15 min) .....	77

## 7. Literaturverzeichnis

---

<sup>1</sup> Statistisches Bundesamt, Fachserie 12, Reihe 4, 2010 p. 1.

<sup>2</sup> Ramses Wassef, Faculty Of Medicine Surgery, H. S. L. *New Techniques in Liver Surgery*. Réal Lapointe, MD FRCSC Unité de Chirurgie Hépato- Biliaire et Pancréatique Département de Chirurgie Université de Montréal. Public Forum held November 17, 2004 in Montréal.

<sup>3</sup> Abrams, H.L., R. Spiro, and N. Goldstein, *Metastases in carcinoma; analysis of 1000 autopsied cases*. *Cancer*, 1950. 3(1): p. 74-85.

<sup>4</sup> Karhunen, P.J., *Benign hepatic tumours and tumour like conditions in men*. *J Clin Pathol*, 1986. 39(2): p. 183-8.

<sup>5</sup> FongY, Cohen AM, Fortner JG, Enker WE. *Liver resection for colorectal metastases*. *J Clin Oncol* 1997:938-944

<sup>6</sup> Scheele J, Stagl R, Altendorf-Hofmann A, Paul M, Hohenberger Wm Stagl R, Schmidt K. *Resektion kolorektaler Lebermetastasen. Welche Prognosefaktoren bestimmen die Patientenselektion?* *Chirurg* 2001:72:547-560.

<sup>7</sup> Ahmedin Jemal; Freddie Bray, Melissa M. Center, Global Cancer Statistics 2011, CA *CANCER J CLIN* 2011;61:69–90

<sup>8</sup> Renz-Polster H., K.S., Braun J., ed. *Basislehrbuch Innere Medizin* 3. Auflage ed. 2006, Elsevier (Urban & Fischer). 688.

<sup>9</sup> Pereira P.L., D.M., Helmberger T., Lubienski A., Tacke J. *Perkutane bildgesteuerte Leber-Tumorthérapie mittels Radiofrequenz-Ablation (RFA)*.2002;Availablefrom:  
<http://www.degir.de/site/leitlinien?PHPSESSID=tqb31a8a412r8iak5tr90d81sen9rkek>.

---

<sup>10</sup> Bechstein, W.O. and M. Golling, *Standard surgical resection of colorectal liver metastases*. Chirurg, 2005. 76(6): p. 543-51.

<sup>11</sup> Bown SG. *Phototherapy of tumors*. World Surg 1983; 7; 700-709

<sup>12</sup> Hiele M, Penninckx F, Gevers AM, van Eyken P, Geboes K, et al. (1993): *Interstitial thermotherapy for liver tumors: Studies of different fibers and radiation characteristics*. Laser Med Science 8: 121-126.

<sup>13</sup> Pfeifer B, P.J., Unger C, ed. *Onkologie integrative: Konventionelle und komplementäre Therapie*. 2006, Elsevier Urban & Fischer Verlag. 152-153.

<sup>14</sup> Pfeifer B, P.J., Unger C, ed. *Onkologie integrative: Konventionelle und komplementäre Therapie*. 2006, Elsevier Urban & Fischer Verlag. 152-153.

<sup>15</sup> Ritz JP, Roggan A, Germer CT, Isbert Müller G, Buhr HJ. *Continuous changes in optical properties of liver tissue during laser- induced interstitial thermotherapy*. Laser Surg Med 2001;28: 307-312

<sup>16</sup> Korpan, N.N., *Hepatic cryosurgery for liver metastases. Long-term follow-up*. Ann Surg, 1997. 225(2): p. 193-201.

<sup>17</sup> Ravikumar, T.S., et al., *A 5-year study of cryosurgery in the treatment of liver tumors*. Arch Surg, 1991. 126(12): p. 1520-3; discussion 1523-4.

<sup>18</sup> Weaver, M.L., J.G. Ashton, and R. Zemel, *Treatment of colorectal liver metastases by cryotherapy*. Semin Surg Oncol, 1998. 14(2): p. 163-70.

<sup>19</sup> Lee, F.T., Jr., et al., *Hepatic cryosurgery with intraoperative US guidance*. Radiology, 1997. 202(3): p. 624-32.

<sup>20</sup> Pfeifer B, P.J., Unger C, ed. *Onkologie integrative: Konventionelle und komplementäre Therapie*. 2006, Elsevier Urban & Fischer Verlag. 152-

<sup>21</sup> Pearson, A.S., et al., *Intraoperative radiofrequency ablation or cryoablation for hepatic malignancies*. Am J Surg, 1999. 178(6): p. 592-9.

<sup>22</sup> Sturm, J.W., et al., *Locally ablative therapies of hepatocellular carcinoma*. Onkologie, 2001. 24 Suppl 5: p. 35-45.

<sup>23</sup> Clasen, S. and P.L. Pereira, *Magnetic resonance guidance for radiofrequency ablation of liver tumors*. J Magn Reson Imaging, 2008. 27(2): p. 421-33.

<sup>24</sup> Livraghi, Solbiati T. and L., *Percutaneous treatment: radiofrequency ablation of hepatic metastases in colorectal cancer*. Tumori, 2001. 87(1 Suppl 1): p. 69.

<sup>25</sup> Rhim, H., et al., *Essential techniques for successful radio-frequency thermal ablation of malignant hepatic tumors*. Radiographics, 2001. 21 Spec No: p. S17-35; discussion S36-9.

<sup>26</sup>

T.J. Vogl, C. Lee, N.E. Nour-Eldin, P. Farshid, M.G. Mack<sup>1</sup>, J. Balzer, *Onkologie 2010* · 16:1086–1094

<sup>27</sup> K. Tabuse *Basic knowledge of a microwave tissue coagulator and its clinical applications*, J Hep Bil pancr Surg (1998) 5:165-172

<sup>28</sup> Lu DS, Raman SS, Limanond P et al (2003) *Influence of large peritumoral vessels on outcome of radiofrequency ablation of liver tumors*. J Vasc Interv Radiol 14:1267–1274

<sup>29</sup> Awad MM, Devgan L, Kamel IR et al (2007) *Microwave ablation in a hepatic porcine model: correlation of CT and histopathologic findings*. HPB (Oxford) 9:357–362

<sup>30</sup> Laeseke PF, Lee FT Jr, Sampson LA et al (2009) *Microwave ablation versus radiofrequency ablation in the kidney: high-power triaxial antennas create larger*  
125

---

ablation zones than similarly sized internally cooled electrodes. *J Vasc Interv Radiol* 20:1224–1229

<sup>31</sup> Kennedy, J.E., G.R. Ter Haar, and D. Cranston, *High intensity focused ultrasound: surgery of the future?* *Br J Radiol*, 2003. 76(909): p. 590-9.

<sup>32</sup> Thuroff, S. and C. Chaussy, [*HIFU in urological oncology*]. *Urologe A*, 2008. 47(4): p. 431-2, 434-8, 440.

<sup>33</sup> EDAP-TMS. *High Intensity Focused Ultrasound technology (HIFU)*. 2008; Available from: [http://www.edap-tms.com/en\\_US/productsservices/ablatherm-hifu/hifu-technology.html](http://www.edap-tms.com/en_US/productsservices/ablatherm-hifu/hifu-technology.html).

<sup>34</sup> Faroja M et al (2013) *Irreversible electroporation ablation: is all the damage nonthermal?* *Radiology*. 2013 Feb; 266(2):462-70

<sup>35</sup> Kasivisvanathan V, Thaper A, Oskrochi Y et al (2012) *Irreversible electroporation for focal ablation at the porta hepatis*. *Cardiovasc Intervent Radiol* 35(6):1531–1534

<sup>36</sup> O. Kosiek ·K. Strach ·J. Ricke ·M. Pech *Irreversible Elektroporation – „a new kid on the Block?“* *Radiologe* 2012 · 52:38–43

<sup>37</sup> Iat Applebaum et al., *Irreversible Electroporation Ablation: Creation of Large-Volume Ablation Zones in in Vivo Porcine Liver with Four-Electrode Arrays*. *Radiology* Feb; 270(2):416-24

<sup>38</sup> Llovet, J.M., C. Bru, and J. Bruix, *Prognosis of hepatocellular carcinoma: the BCLC staging classification*. *Semin Liver Dis*, 1999. 19(3): p. 329-38.

<sup>39</sup> Bruix, J. and M. Sherman, *Management of hepatocellular carcinoma: an update*. *Hepatology*, 2011. 53(3): p. 1020-2

<sup>40</sup> <http://www.nature.com/nrclinonc/journal/v11/n9/images/nrclinonc.2014.122-f1.jpg>

---

Forner, A. *et al.* (2014) Treatment of intermediate-stage hepatocellular carcinoma  
*Nat. Rev. Clin. Oncol.* doi:10.1038/nrclinonc.2014.122

<sup>41</sup> Carrafiello G, Laganà D, Pellegrino C *et al* (2009) *Percutaneous imaging-guided ablation therapies in the treatment of symptomatic bone metastases: preliminary experience.* *Radiol Med* 114:608–625

<sup>42</sup> Goldberg, S.N., *et al.*, *Percutaneous radiofrequency tissue ablation: does perfusion-mediated tissue cooling limit coagulation necrosis?* *J Vasc Interv Radiol*, 1998. 9(1): p. 101-11.

<sup>43</sup> Hamazoe, R., *et al.*, *Heating efficiency of radiofrequency capacitive hyperthermia for treatment of deep-seated tumors in the peritoneal cavity.* *J Surg Oncol*, 1991. 48(3): p. 176-9.

<sup>44</sup> Strom, R., *et al.*, *The biochemical mechanism of selective heat sensitivity of cancer cells. IV. Inhibition of RNA synthesis.* *Eur J Cancer*, 1973. 9(2): p. 103-12.

<sup>45</sup> Hofmann R. *et al.*, *Comparison of Four Microwave Ablation Devices: An Experimental Study in ex Vivo Bovine Liver*<sup>4</sup>. *Radiology*: Vol. 268: No. 1, July 2013: p. 89- 97

<sup>46</sup> Remp H. *et al.*, *The current role of minimally invasive therapies in the management of liver tumors.* *Eur J Radiol*, 2013 82: p350- 355

<sup>47</sup>Rempp H, Voigtländer M, Clasen S, Kempf S, Neugebauer a, Schraml C, Schmidt D, Claussen CD, Enderle MD, Goldberg SN, Pereira PL (2009): *Increased Ablation Zones Using a Cryo-Based Internally Cooled Bipolar RF Applicator in Ex Vivo Bovine Liver.* *Invest Radiology*