

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Poliklinik für Zahnerhaltung  
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. Ott-

**Untersuchungen zur Schneidleistung, zum Instrumentendurchmesser und zur  
Aufbereitungszeit von Hedströmfeilen aus Edelstahl bei mehrfacher Benutzung**

INAUGURAL – DISSERTATION

zur  
Erlangung des doctor medicinae dentium

der Medizinischen Fakultät  
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Fahnenschreiber, Maik

aus Paderborn

2005

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der  
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. H. Jürgens

1. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schäfer

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. A. Wolowski

Tag der mündlichen Prüfung: 24. August 2005

Aus dem Universitätsklinikum Münster  
Klinik und Poliklinik für Zahnerhaltung  
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. Ott-  
Referent: Prof. Dr. E. Schäfer  
Koreferent: Priv.-Doz. Dr. A. Wolowski

## ZUSAMMENFASSUNG

Maik Fahnenschreiber

### **Untersuchungen zur Schneidleistung, zum Instrumentendurchmesser und zur Aufbereitungszeit von Hedströmfeilen aus Edelstahl bei mehrfacher Benutzung**

Gegenstand dieser experimentellen Arbeit war folgende Fragestellung: Gibt es greifbare Qualitätskriterien zur Beurteilung der Effizienz von manuellen Wurzelkanalinstrumenten? Hierzu wurden drei Parameter untersucht: Betrachtet wurde erstens die Anzahl der Instrumentenbenutzung zur Wurzelkanalaufbereitung an extrahierten menschlichen Zähnen. An zweiter Stelle stand die Prüfung des Instrumentendurchmessers vor und nach der Aufbereitung. Als drittes Kriterium wurde die Aufbereitungszeit der Instrumente bei mehrfachen Durchgängen erfasst. Es fanden Hedströmfeilen, Reamer und K-Feilen Eingang in die experimentelle Erhebung. An selektierten Zähnen wurden in verschiedenen Durchläufen eine einmalige Wurzelkanalaufbereitung, sowie dreifache-, fünf- und achtfache Aufbereitungen mit manuellen endodontischen Instrumenten durchgeführt. Die Hersteller der untersuchten Wurzelkanalinstrumente waren: VDW (München, D), Micro Méga (Besançon, F) und FKG (La-Chaux-de-Fonds, CH). Benutzt wurden ausschließlich die ISO-Größen 15, 20 und 35. Der Instrumentenquerschnitt wurde jeweils vor und nach der Aufbereitung aufgezeichnet, die Dauer der Wurzelkanalaufbereitung wurde jeweils nur für das zu bestimmende Instrument erfasst. Der Schwerpunkt der Untersuchung der Schneidleistung lag auf der Beurteilung der Hedströmfeilen. Es ergab sich, dass die Aufbereitungszeit kein adäquates Kriterium zur Qualitätsbestimmung der Schärfe und damit Effizienz einer Feile darstellt. Die Zeit der Aufbereitung blieb nahezu konstant zwischen mehreren Durchläufen. Die Erfassung des Instrumentenquerschnitts ergab, dass es sich hierbei ebenfalls nicht um einen geeigneten Parameter zur Beurteilung der Effizienz handelt. Der Durchmesser eines Instruments veränderte sich auch bei mehreren Aufbereitungen sowohl an der dünneren Spitze des Instrumentes als auch in Schaftnähe nicht. Die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen pro Instrument stellte sich jedoch als geeignetes Kriterium zur Qualitätseinordnung heraus. Eine Hedströmfeile, die fabrikneu benutzt wird, verliert bereits bei ihrer ersten endodontischen Benutzung zur Wurzelkanalaufbereitung einen Großteil ihrer Schärfe. Nach drei Aufbereitungen war das Instrument nicht mehr ausreichend in der Lage, effizient Material abzutragen. Die Anzahl der Aufbereitung pro Instrument stellt einen geeigneten Parameter zur qualitativen Einordnung der Effizienz eines endodontischen Handinstruments dar.

Tag der mündlichen Prüfung: 24. August 2005

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Einführung in die Thematik.....	1
1.2	Historischer Rückblick .....	2
1.3	Grundlagen der Normierung.....	4
1.3.1	Gruppe A: Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahl.....	6
1.3.2	Gruppe B: Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen.....	14
1.3.3	Gruppe C: Wurzelkanalinstrumente aus Titan-Aluminium-Legierungen .. .....	15
1.4	Bezug zur klinischen Anwendung.....	15
1.4.1	Visuelle Beurteilung .....	17
1.4.2	Numerische Markierung .....	18
1.4.3	Taktile Beurteilung .....	18
<b>2</b>	<b>Problemstellungen .....</b>	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>21</b>
3.1	Wurzelkanalinstrumente.....	21
3.1.1	Serie A, VDW .....	22
3.1.2	Serie B, MICRO MÉGA .....	24
3.1.3	Serie C, FKG .....	25
3.2	Art und Ablauf der Wurzelkanalaufbereitung .....	26
3.3	Erfassung der Schneidleistung .....	28
3.4	Prüfgerät und Prüfvorgang für die Bestimmung der Schneidleistung der Hedströmfeilen .....	30
3.5	Erfassung des Instrumentendurchmessers .....	32
3.5.1	Das Prüfgerät zur Bestimmung des Durchmessers .....	32
3.6	Erfassung der Aufbereitungszeit .....	34
3.6.1	Prozentuale Veränderung der Aufbereitungszeit.....	35
3.7	Statistische Auswertung .....	35
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>36</b>
4.1	Erfassungen der Schneidleistung von Hedströmfeilen.....	36
4.1.1	Serie A : VDW Schneidleistung.....	36
4.1.2	Serie B : Micro Méga Schneidleistung.....	39
4.1.3	Serie C : FKG Schneidleistung.....	41
4.1.4	Vergleich der Schneidleistung VDW, Micro Mega und FKG .....	43
4.2	Erfassungen der Instrumentendurchmesser .....	48
4.2.1	Serie A VDW .....	48
4.3	Erfassungen der Aufbereitungszeiten.....	52
4.3.1	Serie A : VDW Aufbereitungszeit.....	53
4.3.2	Serie B : Micro Méga Aufbereitungszeit.....	61
4.3.3	Serie C : FKG Aufbereitungszeit.....	69

<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>77</b>
5.1	Schneidleistung.....	77
5.1.1	Bewertung und Einordnung der Schneidleistung .....	77
5.1.2	Schneidleistung der VDW Hedströmfeilen .....	77
5.1.3	Schneidleistung der Micro Mega Hedströmfeilen.....	78
5.1.4	Schneidleistung der FKG Hedströmfeilen.....	78
5.1.5	Zusammenfassende Betrachtung der Schneidleistung .....	79
5.2	Beurteilung der Instrumentendurchmesser .....	80
5.3	Bewertung der Aufbereitungszeit.....	83
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>85</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>87</b>
<b>8</b>	<b>Lebenslauf .....</b>	<b>91</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung.....</b>	<b>93</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Einführung in die Thematik

Ein großes Teilgebiet der Zahnmedizin beschäftigt sich mit der konservierenden und endodontischen Zahnerhaltung. Das Ziel einer, dieser Lehre folgenden Behandlung ist es, den einzelnen Zahn trotz einer Schädigung in seiner Gesamtheit zu bewahren und seinen Defekt zu versorgen. Eine solche Schädigung kann in unterschiedlichem Ausmaß auftreten; so kann eine kleine kariöse Läsion der Schmelzoberfläche vorliegen, aber auch tiefere anatomische Anteile des Zahnes können geschädigt sein. Als Beispiel sei hier eine, die klinische Krone aushöhlende Karies profunda genannt, welche sich als Defekt bis hin zur Zahnpulpa und Wurzelregion ausdehnen kann. In diesem Pulpakavum und in dem sich nach apikal konisch verjüngenden Wurzelkanal befindet sich neben Blut- und Lymphgefäßen das Pulpagewebe. Kommt es neben anderen möglichen Ursachen zum Beispiel zu einer bakteriellen Infektion oder einer traumatischen Schädigung dieses ansonsten sterilen Hohlraums, die eine irreversible Entzündung unterschiedlichen Verlaufs nach sich zieht, so hat der Zahnarzt mit einer hohen Wahrscheinlichkeit, die Möglichkeit, den Zahn durch eine endodontische Behandlung vor dem sonst drohenden Verlust zu bewahren. Die Endodontie als wesentliches Gebiet in der konservierenden Zahnerhaltung beschäftigt sich somit sowohl mit der mechanischen als auch mit der medikamentösen Behandlung der Pulpa-Dentin-Einheit und den zu ihr gehörigen Dentinkanälchen. Letztere finden sich je nach Zahn in unterschiedlicher Anzahl. An dem der Wurzelspitze zugewandten Ende des Nervkanals befindet sich das apikale Parodont. Ist die Pulpa beispielsweise bakteriell infiziert und muss extirpiert werden, so ist unter anderem eine weitere Reinigung der infizierten Kanalwand notwendig, um eine langfristige Heilung und damit eine gute Prognose für den Zahnerhalt zu gewährleisten. Für diesen Abtrag der bakterienhaltigen Kanalwand und gleichzeitig für eine formgerechte Erweiterung des Durchmessers des Kanallumens im Hinblick auf eine spätere Wurzelkanalfüllung, gibt es den Terminus Aufbereitung. Der Zahnarzt benötigt spezielle endodontische Instrumente, um diesen sehr grazil geformten anatomischen Anteil des Zahnes zu erreichen und im angestrebten

Modus zu präparieren. Seit langer Zeit sind Handinstrumente gebräuchlich, mit deren Hilfe in beschriebener Weise die notwendige Behandlung manuell durchgeführt werden kann. In jüngerer Zeit wurden ebenfalls maschinelle Methoden, die auf dem gleichen Prinzip basieren entwickelt. Auf die herkömmliche manuelle Instrumentierung eines Wurzelkanals soll in dieser Arbeit näher eingegangen werden.

## **1.2 Historischer Rückblick**

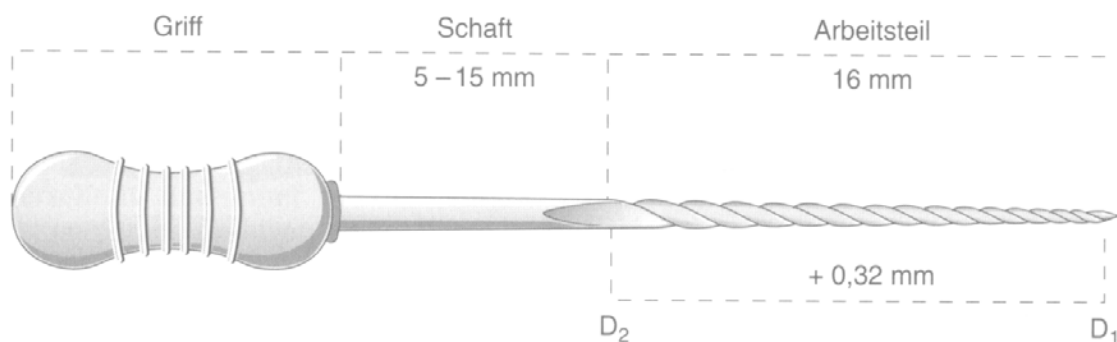
Bereits im Altertum gab es Anfänge endodontischer Therapieversuche. Das älteste uns bekannte „endodontische Instrument“ ist das von HIPPOCRATES (460 – 370 vor Christus) beschriebene Brenneisen, mit dessen Hilfe schmerzende Zähne ausgebrannt wurden (zit. nach LILLEY 1976). Etwa 500 Jahre später empfahl GALEN (131 – 201 nach Christus) zur Behandlung schmerzhafter Zähne, die Eröffnung des Pulpakavums im Sinne einer Trepanation mit einem gedrehten Instrument (zit. nach LILLEY 1976). Viele Jahrhunderte später zeichnete SCHULTETUS im 17. Jahrh. ein endodontisches Instrument – einen manuell einzusetzenden Trepanbohrer (zit. nach LILLEY 1976). In den Anfängen der modernen Zahnheilkunde beschrieb der französische Arzt FAUCHARD in seinem Buch „Le Chirurgien Dentiste“ (FAUCHARD 1728) die Trepanation eines schmerzhaften Zahnes bei anhaltenden Zahnschmerzen (zit. nach CRUSE und BELLIZZI 1980). Als Grund hierfür vermutete er einen „Zahnwurm“, der seiner Meinung nach durch eine Exstirpation mit einem dünnen Stift entfernt werden musste (zit. nach MILAS 1976). Zur Füllung der Wurzelkanäle benutzten BOURDET (1757) und HUDSON (1802) später Gold (zit. nach MILAS 1976; zit. n. CRUSE und BELLIZZI 1980). Ein moderneres, dem heutigen Prinzip ähnliches Wurzelkanalinstrument, wurde erstmals von MAYNARD (1838) hergestellt, indem er eine Uhrfeder entsprechend feilte. Die dünneren Instrumente stellte er aus einem quadratischen, die dickeren aus einem dreieckigen Querschnitt her (zit. nach OSTRANDER 1967; CRUSE und BELLIZZI 1980). ROGER beschrieb 1878 als erster, dass pathogene Keime als Ursache für Pulpaerkrankungen anzusehen sind (zit. nach CRUSE und BELLIZZI 1980), damit war FAUCHARDs Zahnwurm-Theorie nach etwa



150 Jahren überholt. Entscheidend für den Erfolg einer endodontischen Therapie ist noch heute die erstmals von BARNUM 1864 beschriebene Anwendung eines Kofferdams, da mit diesem Hilfsmittel bessere aseptische Bedingungen als je zuvor geschaffen werden konnten (zit. n. WINKLER 1991). Anfang des 20. Jahrhunderts waren die „Rattenschwanzfeilen“ kommerziell erhältlich (zit. n. GROSSMANN 1971, KIMMEL 1994) und seit 1927 die WALKHOFF-Auftreiber sowie die Kanalraspeln nach HEDSTRÖM bekannt (zit. n. HEDSTRÖM 1927; STITZEL 1950). PICHLER postulierte 1930 „als Hauptziel“ eine möglichst vollkommene Ausfüllung des Wurzelkanals. WANNENMACHER ergänzte „die Reinigung und Erweiterung der Kanäle als wichtige Voraussetzung für jede Wurzelkanalbehandlung“ (1954). Die heutige Standardisierung der Wurzelkanalinstrumente verdanken wir im Wesentlichen den Arbeiten von INGLE und LEVINE (INGLE 1955; INGLE 1957; INGLE und LEVINE 1958; INGLE 1961) sowie der Arbeit von GREEN (1957). Basierend auf ihren Arbeiten wurden internationale Normen erarbeitet. 1976 wurde die erste international anerkannte Norm für Wurzelkanalinstrumente im Journal of the American Dental Association als ADA-Spezifikation-Nummer 28 veröffentlicht (SCHÄFER 1998). 1992 wurde die ISO-Norm 3630-1 festgelegt (zit. n. KELLER persönliche Mitteilungen 1993), die für den heute gültigen Standard verbindliche Angaben zu den Identifikationssymbolen der verschiedenen Instrumententypen gibt. Ferner sind Frakturanfälligkeit und Biegeverhalten, Prüfmethodik und Mindestanforderungen festgelegt (SCHÄFER 1998).

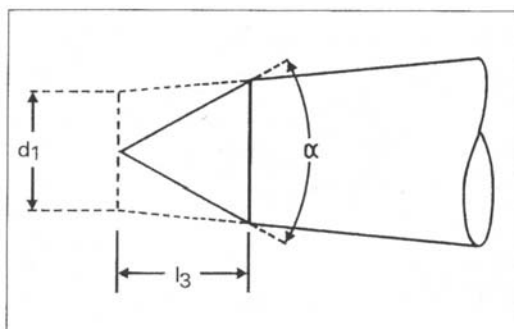
### 1.3 Grundlagen der Normierung

Ein endodontisches Handinstrument lässt sich wie folgt in drei wesentliche Komponenten gliedern: Zum einen in das funktionelle Arbeitsteil, mit den für die Arbeitsweise speziell geformten metallischen Schneiden, zum anderen einen Schaft als verlängernde Verbindung und letztlich einen zumeist aus Kunststoff bestehenden Griff, der auf den manuellen Halt ausgerichtet ist (Abb. 1).



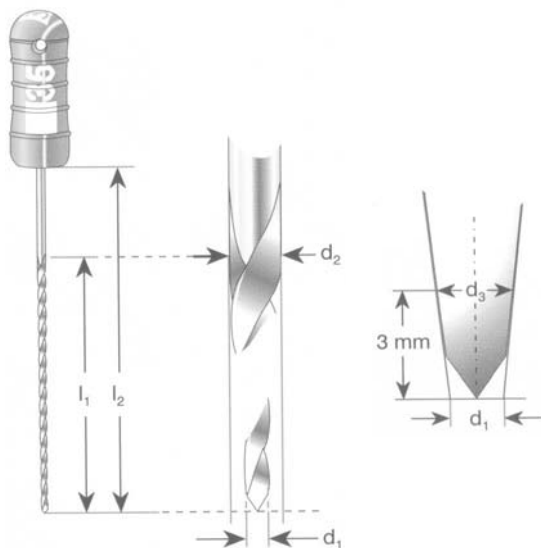
**Abbildung 1:** (entnommen aus: Farbatlanten der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme Verlag 1997) Aufbau und Maße eines standardisierten Wurzelkanalinstruments nach ISO-Norm 3630-1.  $D_1$  = Durchmesser des theoretisch bis zur Spitze verlängerten Kegels des Arbeitsteils. Der Durchmesser bei  $D_1$  entspricht der ISO-Stärke des Instruments in 1/100 mm.  $D_2$  = Durchmesser am Ende des 16 mm langen Arbeitsteils.  $D_2 = D_1 + 0,32$  mm.

Heute sind die Standardeigenschaften und Beschaffenheiten von aktuellen Wurzelkanalinstrumenten in der ISO-Norm 3630-1 vom technischen Komitee ISO TC 106 (Zahnheilkunde) festgelegt (1992). Neben Identifikationssymbolen und einer der ISO-Größe entsprechend zugeordneten Farbkodierung ist festgelegt, dass die Instrumente aus rostfreiem Stahl oder Kohlenstoffstahl bestehen müssen und auch die Dimensionen eines Wurzelkanalinstruments sind genau definiert.



**Abbildung 2:** (entnommen aus: Thieme Verlag. Endodontologie 1997) Vergrößerte schematische Darstellung einer Instrumentenspitze. Der Durchmesser des verlängerten Kegels an der Instrumentenspitze (Messpunkt  $d_1$ ) sowie der Spitzenwinkel ( $\alpha$ ) und die Länge der Instrumentenspitze ( $l_3$ ) sind gekennzeichnet.

Der Durchmesser am Messpunkt  $d_1$  (festgelegt als verlängerter Kegel an der Instrumentenspitze, Abb. 2 und 3) soll der ISO-Größe des jeweiligen Instruments in Hundertstelmmillimetern entsprechen; mit einem Toleranzbereich von  $\pm 0,02$  mm (ISO 3630-1; zit. n. LILLEY 1979; zit. n. SCHÄFER und GÖHRING 1993). Die Zunahme des Durchmessers der vorgeschriebenen Arbeitslänge von 16 mm soll von der Spitze bis zum Schaft pro Millimeter fortlaufend 0,02 mm betragen, mit einem Toleranzbereich von  $\pm 0,02$  mm. Ergänzend zum Messpunkt  $d_1$  sind zwei weitere festgelegt:  $d_3$  in einer Entfernung von 3 mm zur Spitze und  $d_2$  dazu entsprechend in einer Entfernung von 16 mm bis zur Spitze. Das operative Ende, bestehend aus Schneide und Schaft, darf jeweils entweder 21 mm, 25 mm, 28 mm oder 31 mm betragen (ISO-Norm 3630-1; SCHÄFER 1998).



- $l_1$  = Länge des Arbeitsteils
- $l_2$  = Länge des Arbeitsteils mit Schaft
- $d_1$  = Durchmesser der ISO-Größe des Instruments in 1/100 mm
- $d_2$  = größter Durchmesser des Arbeitsteils, entspricht der ISO-Größe des Wurzelkanalinstruments in  $1/100 + 0,32$  mm.
- $d_3$  = Durchmesser des Arbeitsteils in 3 mm Entfernung zur Spitze.

Abbildung 3: (entnommen aus: Farbatlanten der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme Verlag 1997)

Die derzeit kommerziell erhältlichen Instrumente können ausgehend von ihrer Legierungszusammensetzung in drei Gruppen unterteilt werden:

- Gruppe A Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahl
- Gruppe B Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen (NiTi)
- Gruppe C Wurzelkanalinstrumente aus Titan-Aluminium-Legierungen

### **1.3.1 Gruppe A: Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahl**

An Hand des in dieser Arbeit vorrangig behandelten Edelstahl-Instruments, sollen nun die einzelnen Merkmale der verschiedenen Instrumententypen verdeutlicht werden.

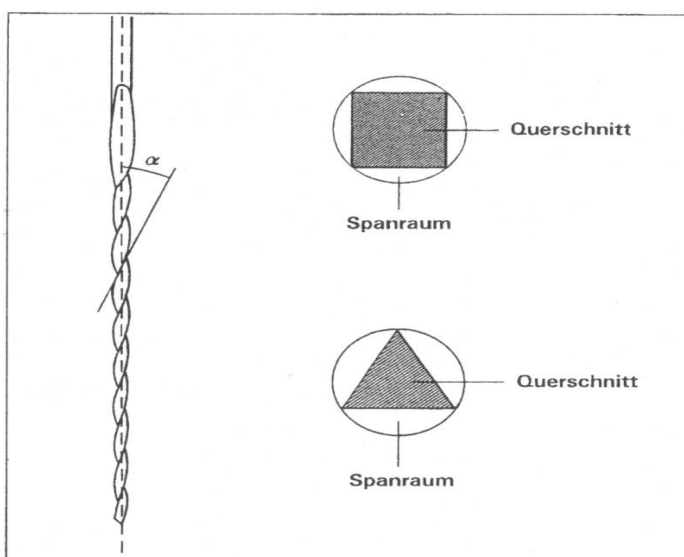
Bei den Edelstahlinstrumenten unterscheidet man grundsätzlich drei Gruppen:

- herkömmliche Instrumente aus Edelstahl
- flexible Instrumente aus Edelstahl
- Instrumente mit verkürztem Arbeitsteil (SCHÄFER 1998)

#### **1.3.1.1 Herkömmliche Instrumente aus Edelstahl**

Im Folgenden werden die drei Grundtypen der in der modernen Endodontie gebräuchlichen Wurzelkanalinstrumente beschrieben, die Hedströmfeile, die K-Feile und der K-Bohrer. Letzterer wird auch Reamer genannt. Die drei Typen unterscheiden sich nicht nur in der geometrischen Form ihrer Schneiden, sondern auch in ihrem Herstellungsprozess. Die eben genannten manuellen Instrumente werden seit ca. 1960 überwiegend aus Edelstählen hergestellt, die etwa 98 m% Eisen, 1,2 m% Kohlenstoff, 0,4 m% Silizium sowie 0,2 m% Magnesium enthalten (ATEN 1993). Die beiden Typen Reamer (= K-Bohrer) und K-Feile werden durch Verdrillung von Rohlingen mit einem

dreieckigen oder quadratischen Querschnitt hergestellt. Die vierkantige Querschnittsform dient häufig den kleinen ISO-Größen als Grundlage, während die dreieckige etwa ab den ISO-Größen 30 und größer verwendet wird (BEER und BAUMANN 1997). Im Gegensatz zu den beiden oben Genannten werden Hedstömfeilen nicht verdrillt, sondern durch Ausfräsen eines Rundstahl-Rohlings produziert. Auf der Grundlage der ISO-Norm 3630-1 von 1992 werden die Hedstömfeilen mit einem Kreissymbol codiert, die Reamer (= K-Bohrer) mit einem Dreieck und die K-Feilen mit einem Quadrat. Diese Symbole beschreiben international einheitlich zugeordnet die drei verschiedenen Typen. Ihr jeweiliges Symbol orientiert sich zwar an der ursprünglich entsprechenden Querschnittsform, gibt aber, wie zuvor beschrieben, nicht zwingend Aufschluss über die zugrunde liegende Querschnittsform. Ebenfalls unterscheiden sich die drei Typen in der geometrischen Form ihrer Schneiden und ihrem Schneidekantenwinkel, über den sich letztlich ihre jeweilige effizienteste Arbeitsweise und damit ihr Einsatzbereich definiert. Der Schneidekantenwinkel befindet sich zwischen Instrumentenlängsachse und der Schneide; in aufsteigender Reihenfolge nehmen die Winkel beim Reamer (ca.  $10^\circ - 30^\circ$ ), über die K-Feile (ca.  $25^\circ - 40^\circ$ ) bis zur Hedströmfeile (ca.  $60^\circ - 65^\circ$ ) zu (Abb. 4). Ableitend aus dem Schneidekantenwinkel ergibt sich als effizienteste Arbeitsweise für die Reamer und K-Feilen die drehend-schabende Abtragsbewegung und für die Hedstömfeilen eine linear-feilende Zugbewegung.



**Abbildung 4:**

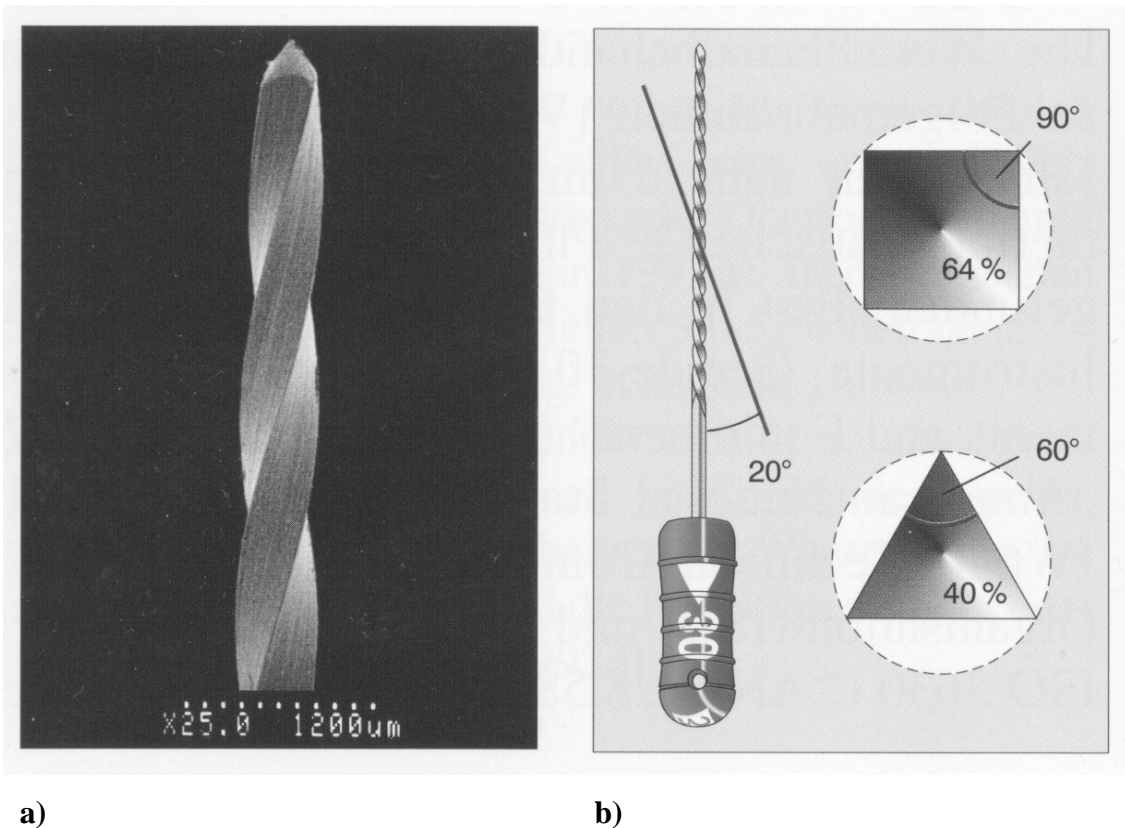
(entnommen aus: Schäfer, E.: **Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz Quintessenz Verlags-GmbH, 1998**).  
Schematische Darstellung des Schneidekantenwinkels ( $\alpha$ ) eines Reamers, d.h. des Winkels, den die Schneidekante mit der Instrumentenlängsachse bildet, eines viereckigen und eines dreieckigen Instrumentenquerschnitts eines Reamers sowie der jeweils resultierenden Spanräume.

Nachfolgend werden die Unterschiede der drei Instrumententypen im Einzelnen detailliert vorgestellt:

#### **1.3.1.1.1 Der K-Bohrer (= Reamer)**

Der Reamer, synonym K-Bohrer oder "Räumer", wird produktionstechnisch aus einem Stahlrohling in ein um seine eigene Achse gewendertes Instrument überführt, indem der Rohling, welcher an beiden Enden eingespannt ist, um seine Längsachse verdrillt wird. Durch eine definierte Anzahl an maschinellen Drehungen wird er irreversibel plastisch verformt. Bei dieser Verdrillung bleibt die Integrität weitestgehend intakt, was eine hohe Bruchsicherheit gewährt ist (BAUMANN 1993; TEPEL 1994). Die vorher gerade Kante wird entsprechend seiner Einsatzbestimmung zu einer verwunden aufsteigenden Schneide. Die Reamer besitzen mit 1 bis 1 ½ Verwindungen pro Millimeter des Arbeitsteils weniger Windungen pro Längeneinheit als die K-Feilen (SCHÄFER et al. 1994c). Je nach ISO-Größe und Hersteller hat der Rohling des Instruments eine dreieckige oder eine quadratische Querschnittsfläche. Die viereckige Grundstruktur wird häufig bei kleineren ISO-Größen (kleiner ISO 30) verwandt, damit eine bessere Stabilität für den drehend-schabenden Verwendungszweck gewährleistet werden kann. Ab der ISO-Größe 30 aufwärts liegt eher der dreieckige Querschnitt zugrunde.

Zieht man einen die Kanten berührenden Umkreis, ausgehend vom geometrischen Mittelpunkt des jeweiligen Querschnitts, so ergeben die im Kreis liegenden Flächen außerhalb des Quadrats oder Dreiecks den Spanraum (Abb. 5).

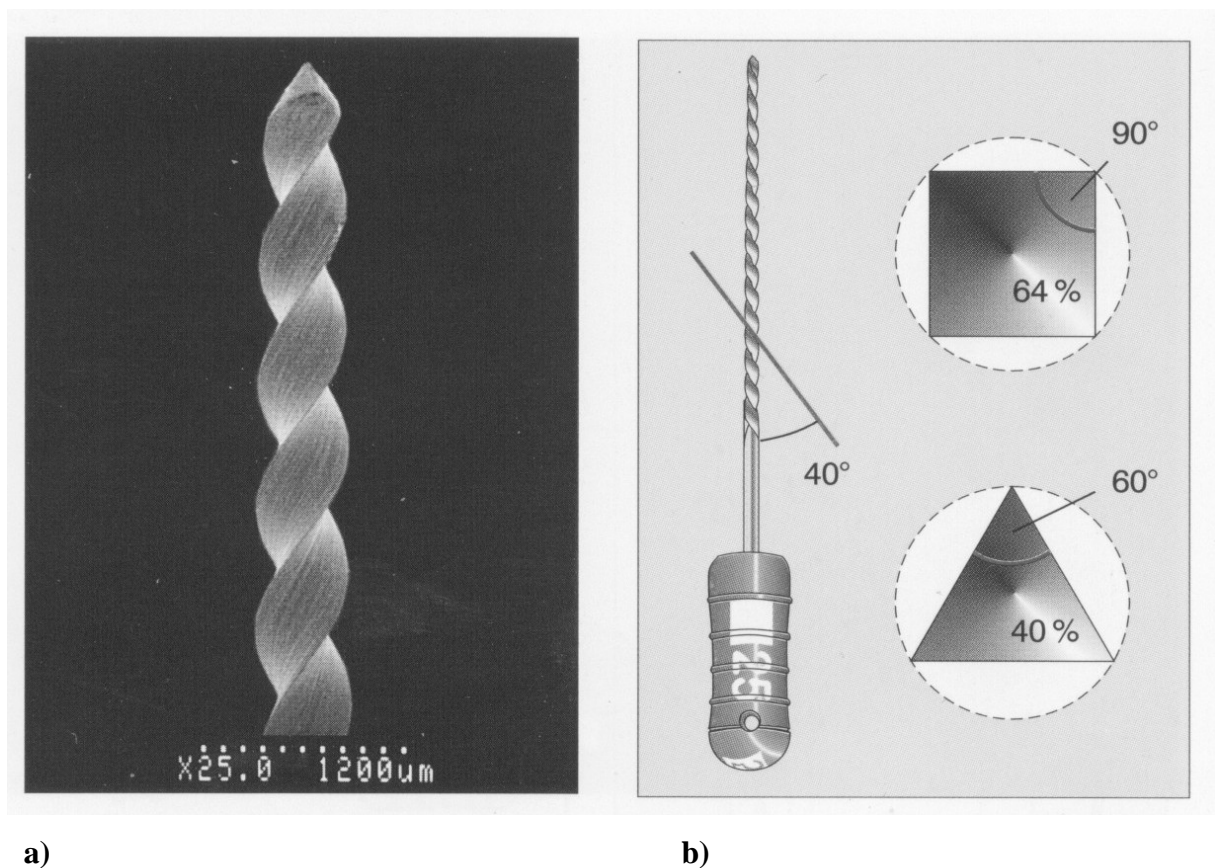


**Abbildung 5:** (entn. aus: Farbatlanten der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme Verlag 1997)  
 a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schneidekanten eines Reamers;  
 b) Schematische Darstellung eines Reamers und seines Schneidekantenwinkels ( $20^\circ$ ),  
 nebenstehend ein Schema des Instrumentenquerschnitts eines viereckigen und eines  
 dreieckigen Instruments. Der Spanraum entspricht dem hellen Umkreis, dunkel  
 dargestellt der Kern des Reamers mit den inneren Winkeln der Schneidenstruktur.

Der Spanraum ist ein Maß für die Abtragsleistung eines Wurzelkanalinstruments sowie für seine Fähigkeit, Dentinwandmaterial aus dem Kanal herauszutransportieren (WEINE 1989; BAUMANN 1993; PLATZER und SEDELMAYER 1993). Je größer der Kerndurchmesser, umso kleiner der Spanraum, umso geringer ist die Flexibilität und umso größer die Bruchsicherheit (PLATZER und SEDELMAYER 1993). Ausschlaggebend für die Effizienz, d. h. die Schneidleistung, des Reamers ist der so genannte Schneidekantenwinkel (HOPPE und HEINSEN 1983). Dieser Winkel liegt zwischen der Instrumentenlängsachse und der Schneidekante. Bei den Reamern ist er mit  $10^\circ - 30^\circ$  am geringsten im Vergleich zu den anderen beiden Typen. Hieraus resultiert, dass die drehend-schabende Arbeitsweise die effizienteste ist (SCHÄFER et al. 1994c).

### 1.3.1.1.2 Die K-Feile

Bereits im Jahr 1915 erhielt die KERR MANUFACTURING CORP. das Patent für alle später so benannten Feilen des K-Typs, wie zum Beispiel die K-Feile. Genau wie auch die Reamer werden sie durch Verdrillung von Stahlrohlingen hergestellt, ebenfalls variierend mit einer entweder dreieckigen oder viereckigen Querschnittsfläche. Mit  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  Windungen pro Millimeter fortlaufender Instrumentenlänge sind sie stärker verdrillt als die Reamer und zwar etwa doppelt so häufig (SCHÄFER et al. 1994d).



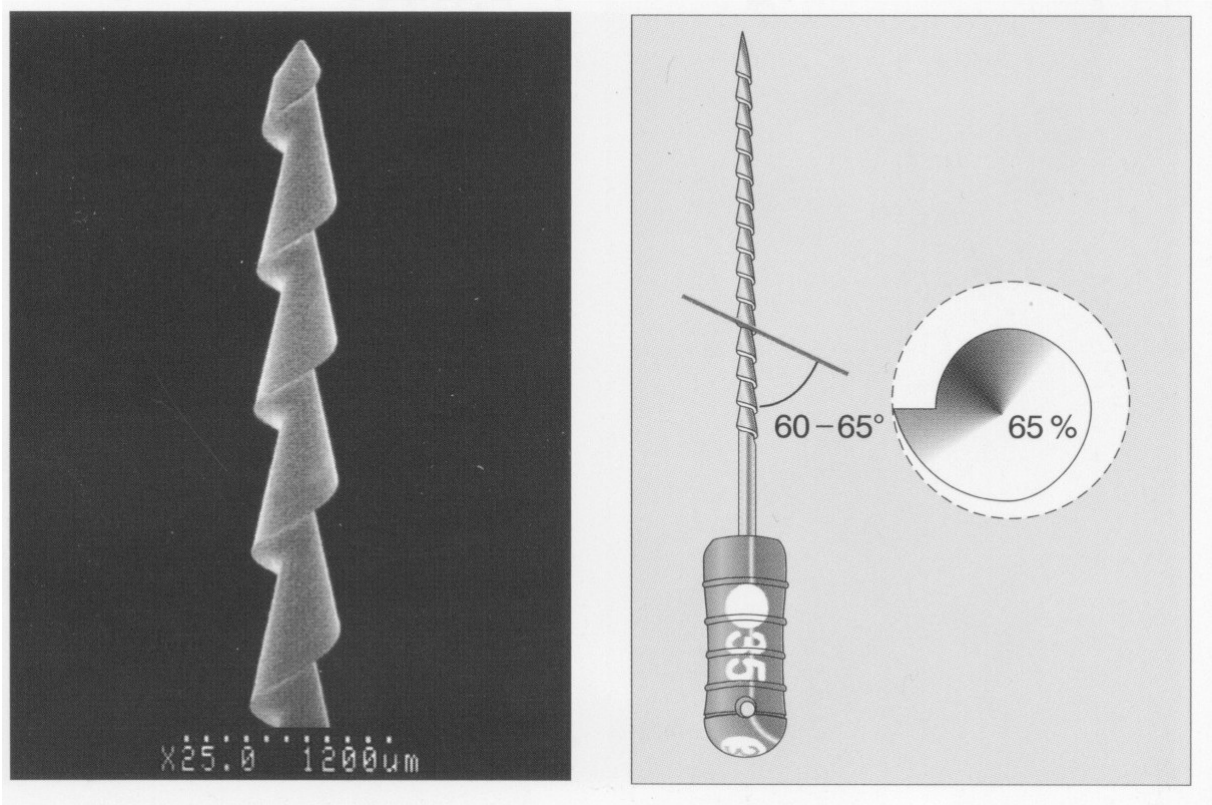
**Abbildung 6:** (entn. aus: Farbatlanten der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme Verlag 1997)  
a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schneidekanten einer K-Feile;  
b) Schematische Darstellung einer K-Feile und ihres Schneidekantenwinkels ( $40^\circ$ ),  
nebenstehend ein Schema des Instrumentenquerschnitts eines viereckigen und eines  
dreieckigen Instruments. Der Spanraum entspricht dem hellen Umkreis, dunkel  
dargestellt der Kern der K-Feile mit den inneren Winkeln der Schneidenstruktur.



Ihr Schneidekantenwinkel ist ebenfalls größer und liegt zwischen  $25^\circ$  und  $40^\circ$ , woraus sich ähnlich wie bei den Reamern (Abb. 6), eine drehend-schabende Arbeitsweise als effizienteste Arbeitsbewegung dieser Instrumente ergibt (SCHÄFER et al. 1994d und e). Allerdings wird auch hier von einigen Autoren eine feilende, also lineare Arbeitsweise diskutiert.

#### **1.3.1.1.3 Die Hedströmfeile**

Dieser Typus unterscheidet sich in mancher Hinsicht deutlich von den Reamern und den K-Feilen, denn die Hedströmfeile wird nicht wie die anderen durch plastische Verformung zum schneidenden Instrument überführt, sondern aus einem Rundstahlrohling durch maschinelle Einwirkung zur Schneide gefräst. Variationen sind die S- und U-Feile, welchen eine etwas andere Querschnittsform, eine sigmoidale Form, zugrunde liegt. Die Querschnittsform der Hedströmfeile ist ein annähernd runder Kreis mit spiralförmigen Einschnitt (STÄDTLER 1994). Diese spiralförmig umlaufende Schneide hat eine zunehmende Steigung, wobei einerseits die Abstände und die Tiefe der Schneidekanten zur Instrumentenspitze hin abnehmen und andererseits die Anzahl der Schneidekanten zur Spitze hin zunehmen (BEER und BAUMANN 1994). Der Schneidekantenwinkel ist bei der Hedströmfeile gegenüber Reamer und K-Feile mit Abstand am größten. Dieser liegt zwischen  $60^\circ$  und  $65^\circ$ , woraus die lineare feilende Arbeitsweise als effizienteste resultiert (WEINE 1989; PLATZER und SEDELMAYER 1993).



a)

b)

**Abbildung 7:** (entn. aus: Farbatlanten der Zahnmedizin. Endodontologie. Thieme Verlag 1997)  
 a) Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Schneidekanten einer Hedstroemfeile  
 b) Schematische Darstellung einer Hedstroemfeile und ihres Schneidekantenwinkels ( $60^\circ - 65^\circ$ ), nebenstehend ein Schema des Instrumentenquerschnitts. Der Spanraum entspricht dem hellen Umkreis, dunkel dargestellt der Kern einer Hedstroemfeile mit den inneren Winkeln der Schneidenstruktur.

Ihre Schneidekante ist zum Instrumentengriff hin ausgerichtet, daher ergibt sich ein Zug als gerichteter Kraftvektor der Arbeitsweise. Die Schneidekante selbst ist herstellungsbedingt besonders scharf, da sie in den Rohling gefräst wird (WEINE 1989). Hedströmfeilen weisen bei linearer Arbeitsweise eindeutig die größte Schneidleistung aller Instrumente aus Edelstahl auf und sind somit bei der Abtragung von Kanalwanddentin allen anderen Instrumenten bei feilender Arbeitsweise überlegen (TEPEL und SCHÄFER 1995). Der Spanraum der Hedströmfeilen ist vergleichsweise groß, woraus sich ebenfalls eine hohe Effizienz dieser Instrumente ableitet (BEER und BAUMANN 1994, PLATZER und SEDELMAYER 1993). Dies bedeutet aber andererseits bei einem großen Spanraum auch, dass der, durch Ausfräsung gewonnene

Kerndurchmesser, verkleinert ist. Daher sind die Hedströmfeilen deutlich bruchgefährdeter und erreichen geringere Verdrehwinkel als die verdrehten Reamer und K-Feilen (BEER und BAUMANN 1994; TEPEL 1994). Instrumente des H-Typs sind deshalb zur Aufbereitung von engen und gekrümmten Kanälen auch aufgrund ihres Frakturrisikos nicht geeignet (PLATZER und SEDELMAYER 1994; TEPEL 1994). Die Hedströmfeile wird weitestgehend übereinstimmend zur effizientesten Aufbereitung gerader Kanäle sowie zur Erweiterung des nicht gekrümmten koronalen Kanalabschnitts empfohlen (u. a. HOPPE und HEINSEN 1983; STÄDTLER 1994).

### **1.3.1.2 Flexible Instrumente aus Edelstahl**

Weiterentwicklungen der herkömmlichen Edelstahlinstrumente äußern sich in Variationen der Legierungsbestandteile. So entwickelte man flexiblere Instrumente mit einem kleineren Biegemoment, mit dem Ziel, den häufig gekrümmten Kanalverlauf besser instrumentieren zu können. Diese Flexibilität ermöglicht dem Zahnarzt auch, Zähne mit stark gekrümmten Kanälen unter Beibehaltung des originären Kanalverlaufs aufzubereiten und den unerwünschten Effekt der Kanalbegradigung möglichst zu vermeiden. Die Flexibilität ist auch schon oft im Namen der Instrumente wiedergegeben, so zum Beispiel Flexicut (Antaeos), Flexoreamer (Maillefer) oder K-Flexofeile (Maillefer). Ihnen gemeinsam ist ein in der Regel dreieckiger oder rhombischer Querschnitt. Daher haben die Instrumente einen kleineren Kerndurchmesser und somit einen großen Spanraum, was zu einer größeren Flexibilität und darüber hinaus zu einer erhöhten Effizienz, also Schneidleistung führt (SCHÄFER et al. 1992; BEER und BAUMANN 1994; TEPEL 1995). Die Verdrehwinkel, also die Gradzahl der möglichen Drehung bis zur Fraktur, entsprechen in etwa denen der herkömmlichen Instrumente; allerdings sind ihre Bruchfestigkeiten geringer (TEPEL 1994; TEPEL und SCHÄFER 1996). Bezüglich der Schneidleistung der flexiblen Instrumente stellte SCHÄFER fest, dass von ihm untersuchte flexible Instrumente aus Edelstahl ausnahmslos signifikant größere Schneidleistungen bei drehend-schabender Arbeitsweise erzielten als alle anderen untersuchten Wurzelkanalinstrumente (SCHÄFER et al. 1992). Bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit flexiblen

Instrumenten aus Edelstahl im Vergleich zu herkömmlichen Instrumenten, resultierten deutlich geringer ausgeprägte unerwünschte Abweichungen vom originären Kanalverlauf (SCHÄFER und TEPEL 1993).

### **1.3.1.3 Instrumente mit verkürztem Arbeitsteil**

Es gibt als dritte Gruppe der Edelstahlinstrumente solche mit verkürztem Arbeitsteil. Laut der ISO-Norm 3630-1 von 1992 ist das Arbeitsteil eines endodontischen Instruments in seiner Länge auf ein Minimum von 16 mm festgelegt. Die folgenden Instrumente unterschreiten diese Standard-Längenanforderung deutlich, so zum Beispiel Canalmaster U (Brasseler USA), Flexogates (Maillefer) und Heliapikal (Micro Méga). Alle drei haben eine nicht-schneidende Spitze. Sie sind hauptsächlich zur Aufbereitung gekrümmter Kanäle konzipiert (SCHÄFER 1998), konnten sich aber in der täglichen endodontischen Praxis nicht durchsetzen.

### **1.3.2 Gruppe B: Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen**

Abweichend von den ursprünglich produzierten Instrumenten aus Kohlenstoffstählen und später Edelstählen gibt es seit etwa Mitte des letzten Jahrhunderts Neuentwicklungen in der elementaren Legierungszusammensetzung, mit dem Ziel, die endodontische Behandlung zu verbessern und effizienter zu gestalten. Bei der Weiterentwicklung, welche sich durchsetzen konnte, konzentriert man sich vor allem auf die Zulegierung des Elementes Titan. Hier gilt es grundsätzlich zwischen Nickel-Titan-Legierungen und Titan-Aluminium-Legierungen zu unterscheiden (SCHÄFER und HOPPE 1995; SCHÄFER 1995). Seit einigen Jahren produzieren Dentalfirmen Handinstrumente und für den maschinellen Betrieb ausgerichtete Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen. So sind K-Feilen, S-Feilen und Hedströmfeilen kommerziell erhältlich. Anlässlich der 26. internationalen Dentalschau in Köln 1995 wurde ferner eine X-Feile vorgestellt. Die Legierung dieser Instrumente besteht zu 55 m% aus Nickel

sowie 45 m% aus Titan (SCHÄFER 1995). Der Elastizitätsmodul der Legierung beträgt lediglich 1/5 des entsprechenden Wertes für Chrom-Nickel-Stahl (WALIA et al. 1988; SERENE et al. 1995). Die Biegemomente der Instrumente sind deutlich geringer als jene entsprechender Instrumente aus Edelstahl.

### **1.3.3 Gruppe C: Wurzelkanalinstrumente aus Titan-Aluminium-Legierungen**

Eine andere Entwicklung der letzten Jahre brachte eine weitere Variation in der Legierungszusammensetzung hervor. Hier seien die Microtitan-Instrumente der Firma Micro Méga genannt, die in allen drei Grundtypen erhältlich sind. Die neuartigen Legierungen besteht im Wesentlichen aus ca. 95 m% Titan und ca. 5 m% Aluminium (SCHÄFER 1995; SCHÄFER und HOPPE 1995). Im Vergleich zu Edelstahlinstrumenten weisen sie eine größere Flexibilität sowie eine annähernd gleiche Frakturfestigkeit auf (GAMBARINI und DE LUCA 1994). SCHÄFER stellte fest, dass die Schneidleistungen der Microtitan-Instrumente denen der jeweils korrespondierenden Instrumententypen aus Edelstahl entsprechen, aber bei der Aufbereitung gekrümmter Kanalabschnitte nicht zu besseren Aufbereitungsergebnissen führten (1995).

## **1.4 Bezug zur klinischen Anwendung**

Hinsichtlich der endodontischen Behandlung in der zahnärztlichen Praxis ist zwischen drei verschiedenen Methoden zu unterscheiden: Die erste Behandlungsmethode ist die manuelle Instrumentierung der Kanäle mit Hilfe von Handinstrumenten, die der Zahnarzt in der Regel mit zwei oder drei Fingern führt. Die zweite, seltener angewandte Behandlungsmöglichkeit ist die maschinell angetriebene Aufbereitung mit Hilfe eines speziellen Winkelstücks. Diese Methode soll nach Vorstellung der Hersteller den Kraft- und Zeitaufwand verringern und dem Zahnarzt auch für schwer zugängliche endodontische Kavitäten eine einfachere Behandlung ermöglichen. Eine dritte Alternative ist eine kombinierte manuelle und maschinelle Behandlungsweise zur

Erzielung eines bestmöglichen Ergebnisses. Hier ist die mechanisch angetriebene Arbeitsweise als Ergänzung anzusehen. Die wohl am meisten verbreitete und am häufigsten in der Zahnarztpraxis angewandte Arbeitsweise ist nach wie vor die manuelle Aufbereitung, die vor etwa einem Jahrhundert Einzug in die Praxis gehalten hat. Allerdings sei hier erwähnt, dass die endodontische Behandlung zur Erhaltung eines geschädigten Zahnes erst in den letzten Jahrzehnten zugenommen hat und heute ein Standard in der Therapie darstellt. Hierzu haben die Weiterentwicklung der Instrumente und die industrielle Serienproduktion sowie die kommerzielle Erhältlichkeit von Wurzelkanalinstrumenten erheblich beigetragen. Edelmetallinstrumente kommen in der alltäglichen Behandlung bevorzugt zum Einsatz. Sie werden deshalb vorrangig angewandt, da ihre Vorteile gegenüber den anderen Instrumenten zur Zeit noch überwiegen, sie also eine ausreichende Flexibilität bei genügender Starrheit und damit Bruchfestigkeit besitzen. Die Schärfe der Edelmetall-Schneidekanten ist gut und die Anwendung dieser Instrumente hinsichtlich ihrer Anschaffungskosten wirtschaftlich. Die bereits angesprochene Effizienz der Schneidekanten ist unter anderem Gegenstand der Untersuchung dieser Arbeit und konzentriert sich aus den oben genannten Gründen auf die Überprüfung von Edelmetallinstrumenten. Die Wirksamkeit eines endodontischen Instruments hängt von der Schärfe und Geometrie seiner Schneiden ab. Doch ein fabrikneues scharfes Instrument unterliegt einem durch Einsatz und Sterilisation bedingten Alterungsprozess oder auch Verschleiß mit den beiden daraus resultierenden nachteiligen Folgen: Abstumpfung und Erhöhung des Instrumentenfrakturrisikos. Beides bedeutet für die Behandlung über kurz oder lang ein Scheitern: Sollte infektiöses Dentin im Kanal verbleiben, so kommt es voraussichtlich zu einem Rezidiv der apikalen Parodontitis. Bei einer Instrumentenfraktur in ungünstiger Lage im Wurzelkanal ohne Möglichkeit der Entfernung kommt es eventuell zu einem Verlust des betreffenden Zahnes.

Es stellt sich die Frage, welche Optionen der Zahnarzt hat, um die Effizienz eines bereits benutzten Instruments beziehungsweise sein Frakturrisiko zu beurteilen. Die ISO-Norm 3630-1 von 1992 schreibt zwar Mindestanforderungen vor und gibt Auflagen für die Grundqualität eines fabrikneuen Produktes, aber die aktuell gegebene Qualität und Schärfe des bei einer beliebigen Behandlung gewählten Instruments, kann gegenwärtig nicht standardisiert und reproduzierbar beurteilt werden. Es gibt also klare

Kriterien und Ansprüche an den Hersteller in der fabrikneuen Qualitätskontrolle, also für den `Erst-Einsatz` eines Instruments, aber keine fest determinierte Vorgabe für den Zeitpunkt des `Letzt-Einsatzes` durch den Zahnarzt. Die Bruchfestigkeitsspanne bis zur Fraktur ist zwar in vitro kalkulierbar, aber zu welchem Zeitpunkt in vivo das Stadium der reversiblen Deformation überschritten ist, kann nicht immer mit Sicherheit erkannt werden, wenn das Instrument nicht makroskopisch sichtbar plastisch deformiert ist. Gleiches gilt für die Schärfe einer Feile oder eines endodontischen Bohrers: Stumpf gewordene Schneiden sind ineffizient, weil sie kein oder nicht ausreichend genug infiziertes Material abtragen. Man ist noch auf der Suche nach verlässlichen Kriterien, um den finalen Einsatz eines Instruments zu bestimmen zu können; also den Zeitpunkt zu finden, an dem ein endodontisches Instrument auszusortieren ist.

Auf folgende Kriterien kann der Zahnarzt in der klinischen Anwendung der Wurzelkanalinstrumente zurückgreifen, um die negativen Anzeichen eines Instrumentenverschleißes und damit eine fehlende Effizienz festzustellen:

#### **1.4.1 Visuelle Beurteilung**

Eine Möglichkeit ist die optische Kontrolle der Instrumente. So kann zum Beispiel eine K-Feile entgegen ihrer produktionstechnisch bedingten Windung „aufgedrillt“ sein oder eine Hedströmfeile eine inhomogene Kegelanzordnung ihrer Schneiden im Profil aufweisen. Ist also eine solche Verformung klar erkennbar, so sollte das beschädigte Instrument sofort aussortiert werden. Allerdings ist eine punktuelle Verdrehung, also eine deutliche Veränderung des mikroskopischen Metallgefüges, nicht immer makroskopisch erkennbar, so dass bei scheinbar intakter Form trotzdem ein Instrument nur knapp vor der Fraktur stehen kann. Kommt dieses Instrument dann über den eventuell nur minimalen entfernten Punkt des maximalen Verdrehwinkels hinaus, so verliert es seine Integrität im Metallgefüge und bricht im Wurzelkanal ab. Die Abstumpfung des Wurzelkanalinstruments lässt sich nicht visuell erfassen. Außer vielleicht der durch die Arbeitsbewegung des Instruments entstehende Materialabtrag der Dentinwand, ob deutlich sichtbar vorhanden oder auch geringfügig, als Hinweis zu.

Eine Einordnung der Abstumpfung der Schneiden ist aber so nicht möglich. Dies zeigt also, dass die visuelle Beurteilung zwar eine Möglichkeit der Bewertung ist, aber kaum einen verlässlichen Maßstab für die vorliegende Qualität der Instrumente darstellt.

#### **1.4.2 Numerische Markierung**

Eine radikale und kostenintensive Möglichkeit wäre es, jedes endodontische Instrument als Einmalartikel zu benutzen und es nach dem Einsatz auszusortieren. Einige Autoren in der einschlägigen Literatur geben eben diese Empfehlung, insbesondere für Nickel-Titan-Instrumente. Dies ist für die durchschnittliche zahnärztliche Praxis jedoch unwirtschaftlich, da die Materialkosten für die notwendigen Instrumentierungen immens wären. Setzt der Zahnarzt ein Instrument nicht nur als Einweg-Artikel ein, bleibt ihm noch die Möglichkeit, es für abgezählte Einsätze zu kennzeichnen, beispielsweise es zu markieren oder in gesonderte Instrumentenhalter einzuordnen. Auf diese Weise kann er die Lebensdauer einer Feile auf z. B. drei Anwendungen limitieren. Diese Möglichkeit gibt jedoch nicht zwingend Aufschluss über die Abnutzung der Schneiden und damit über das Ausmaß des Rückgangs ihrer Effizienz oder die erfahrene Drehbeanspruchung des Arbeitsteils. Es ist keine allgemeingültige Methode zur Beurteilung der Qualität des ausgewählten Instruments.

#### **1.4.3 Taktile Beurteilung**

Eine sehr fragliche Möglichkeit stellt die „gefühlsmäßige“ Schneidleistung im Wurzelkanal dar. Das bedeutet, dass der Zahnarzt bei der Aufbereitung taktile feststellt, ob die Menge des Materialabtrags der Dentinwand sehr gering ist, sich das Instrument also bei seiner Arbeitsweise quasi `stumpf` anfühlt. Diese Möglichkeit ist aber keinesfalls generell aussagekräftig, da sie von stark schwankenden Dentinhärten über viele andere Variablen bis hin zur endodontisch taktilen Erfahrung und Befähigung des



behandelnden Arztes abhängig ist. Diese Möglichkeit nicht nachvollziehbar. Sie mag in Einzelfällen gelegentlich funktionieren, stellt aber keine repräsentative Methode dar.

Aus den genannten Gründen geht hervor, dass es nach wie vor keine allgemeingültigen und gleichzeitig sicheren Kriterien gibt, die darüber Auskunft geben, wann ein Wurzelkanalinstrument ausgesondert werden sollte. Eine einheitliche und jederzeit nachvollziehbare Methode der Qualitätskontrolle sowohl zur Erkennung frakturgefährdeter als auch stumpf gewordener Instrumente existiert derzeit nicht.

## 2 Problemstellungen

In der vorliegenden Arbeit wurden die drei Grundtypen von Wurzelkanalinstrumenten hinsichtlich ihres Verlustes der Schneidleistung bei mehrfachem Einsatz untersucht. In serieller Aufbereitung von extrahierten menschlichen Zähnen wurden endodontische Handinstrumente aus Edelstahl mehrfach benutzt und erfuhren so vermutlich eine Verringerung ihrer Schneidleistung.

Der Schwerpunkt in der vorliegenden Arbeit bildete die aufbereitungsbedingte Veränderung der Schneidleistung von Hedströmfeilen. Es galt die Veränderung der Effizienz zwischen fabrikneuen und benutzten Instrumenten zu erfassen und dabei auch Begleitparameter wie die Einsatzzeit und die mögliche Veränderung des Instrumentendurchmessers zu bewerten. Da es wie oben erwähnt, zur Zeit kein standardisiertes Kriterium zur Beurteilung der Abnutzung von bereits eingesetzten Wurzelkanalinstrumenten gibt, sollten die Zeitmessung und die Durchmessererfassung einen Versuch darstellen, evtl. derartige Kriterien festzustellen. Es ergaben sich also drei Grundfragen für den Gegenstand dieser Untersuchung:

- Frage 1: Gibt es bei mehrfachem Einsatz manuell einzusetzender Wurzelkanalinstrumente einen messbaren Verlust der Schneidleistung und wie groß ist dieser jeweils für die verschiedenen Instrumentengrößen?
- Frage 2: Gibt es eine messbare Veränderung des Durchmessers endodontischer Instrumente nach mehrfachem Einsatz im Wurzelkanal und kann ein veränderter Durchmesser ein repräsentatives Kriterium für den Zeitpunkt des Aussortierens sein?
- Frage 3: Kann die Erfassung der Aufbereitungszeit für ein bestimmtes Instrument Aussage über seinen Verschleiß geben? Ist also ein Wurzelkanalinstrument, mit dem die Aufbereitung länger andauert, nach einer bestimmten Zeitspanne auszusortieren?

### **3 Material und Methoden**

Gegenstand der Untersuchung war die Schneidleistung von fabrikneuen und von mehrfach eingesetzten Hedströmfeilen. Bewertet wurden:

- Schneidleistung neuer und mehrfach benutzter Instrumente
- Aufbereitungsbedingte Veränderungen des Instrumentendurchmessers
- Aufbereitungszeit

#### **3.1 Wurzelkanalinstrumente**

Es wurden Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamer aus Edelstahl von folgenden drei Herstellern untersucht:

- VDW, Vereinigte Dentalwerke München - Deutschland
- Micro Méga, Besançon - Frankreich
- FKG, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz

Entsprechend den drei Herstellern wurden drei Serien erstellt, in denen jeweils unterschiedliche ISO-Größen eingesetzt wurden.

### **3.1.1 Serie A, VDW**

Von den Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamern des Herstellers VDW (Vereinigte Dentalwerke, München, Deutschland) lagen drei verschiedene ISO-Größen zur Untersuchung vor: ISO 15, ISO 20 und ISO 35. Von jeder ISO-Größe wurden jeweils 10 Instrumente für unterschiedliche Aufbereitungsanzahlen eingesetzt und überprüft. Benutzt wurden diese Instrumente für 1 Aufbereitung, 3, 5 und 8 Aufbereitungen. Für jede Aufbereitungsanzahl wurden jeweils 10 Hedströmfeilen eingesetzt. Demzufolge wurden bei 40 Hedströmfeilen pro ISO-Größe insgesamt also 120 Instrumente dieses Herstellers für die Aufbereitung benutzt. Nach demselben Schema wurde mit 40 K-Feilen und mit 40 Reamern verfahren, entsprechend jeweils 120 Instrumenten dieses Herstellers in drei ISO-Größen. Dabei wurden insgesamt 1530 Wurzelkanalaufbereitungen durchgeführt. Von jedem Instrumententyp und jeder ISO-Größe wurden jeweils 10 fabrikneue, scharfe Wurzelkanalinstrumente zurückgelegt, die nicht an menschlichen Zähnen eingesetzt wurden. Diese dienten später als Kontrollgruppe, um die Schneidleistung ohne Verschleiß durch Benutzung festzustellen.

<b>Hedströmfeilen VDW</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	10	10	10

**Tabelle 1: Verteilung der Aufbereitungen mit Hedströmfeilen (VDW).**

<b>K-Feile VDW</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	10	10	10

**Tabelle 2: Verteilung der Aufbereitungen mit K-Feilen (VDW).**

<b>Reamer (K-Bohrer) VDW</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	10	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	10	10	10

**Tabelle 3: Verteilung der Aufbereitungen mit Reamern (VDW).**

### 3.1.2 Serie B, MICRO MÉGA

Von den Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamern des Herstellers MICRO MÉGA (Besançon – Frankreich) lagen jeweils zwei verschiedene ISO-Größen zur Untersuchung vor: ISO 20 und ISO 35. Von jeder ISO-Größe und von jedem der drei Instrumententypen wurden jeweils 10 Instrumente für unterschiedliche Aufbereitungsanzahlen eingesetzt und untersucht. Die Anzahl der Aufbereitungen pro Einzelinstrument ist identisch mit der oben aufgeführten Staffelung. Mit den 80 Hedströmfeilen des Herstellers MICRO MÉGA wurden insgesamt 1020 Wurzelkanalaufbereitungen durchgeführt. Von jedem Instrumententyp und jeder ISO-Größe wurden auch hier 10 fabrikneue, scharfe Wurzelkanalinstrumente zurückgelegt, die nicht an menschlichen Zähnen eingesetzt wurden, um ebenfalls als Kontrollgruppe dienen zu können.

<b>Hedströmfeilen Micro Méga</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 4: Verteilung der Aufbereitungen mit Hedströmfeilen (Micro Méga).**

<b>K-Feile Micro Méga</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 5: Verteilung der Aufbereitungen mit K-Feilen (Micro Méga).**

<b>Reamer (K-Bohrer) Micro Méga</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 6: Verteilung der Aufbereitungen mit Reamern (Micro Méga).**

### **3.1.3 Serie C, FKG**

Von den Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamern des Herstellers FKG lagen jeweils zwei verschiedene ISO-Größen zur Untersuchung vor: ISO 20 und ISO 35. Von jeder ISO-Größe und von jedem der drei Instrumententypen wurden jeweils 10 Instrumente für unterschiedliche Aufbereitungsanzahlen eingesetzt und untersucht. Die Anzahl der Aufbereitungen pro Einzelinstrument ist identisch zu dem bereits oben erläuterten Schema der Serien der anderen Hersteller. Mit Hedströmfeilen des Herstellers FKG wurden 1020 Wurzelkanalaufbereitungen durchgeführt. Auch in dieser Serie wurden von jedem Instrumententyp und jeder ISO-Größe jeweils 10 fabrikneue scharfe Wurzelkanalinstrumente zurückgelegt, die nicht an menschlichen Zähnen eingesetzt wurden um die entsprechende Kontrollgruppe bilden zu können.

<b>Hedströmfeilen FKG</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 7: Verteilung der Aufbereitungen mit Hedströmfeilen (FKG).**

<b>K-Feile FKG</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 8: Verteilung der Aufbereitungen mit K-Feilen (FKG).**

<b>Reamer (K-Bohrer) FKG</b>	<b>Anzahl ISO 15</b>	<b>Anzahl ISO 20</b>	<b>Anzahl ISO 35</b>
<b>1x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>3x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>5x eingesetzt</b>	-	10	10
<b>8x eingesetzt</b>	-	10	10

**Tabelle 9: Verteilung der Aufbereitungen mit Reamern (FKG).**

### **3.2 Art und Ablauf der Wurzelkanalaufbereitung**

Die experimentelle Untersuchung der Effizienz, sprich Schneidleistung, von manuell einzusetzenden Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamern erfolgte in zwei Teilschritten. Zunächst wurden fabrikneue Instrumente an extrahierten menschlichen Zähnen einmalig oder in einem bestimmten Muster mehrmalig zur Aufbereitung eingesetzt. Später erfolgte dann die Beurteilung ihrer verbliebenen Schneidleistung an standardisierten Kunststoffprobekörpern. Alle Wurzelkanalaufbereitungen erfolgten, der klinischen Anwendung entsprechend, an extrahierten menschlichen Zähnen. Zur Anwendung kamen ausschließlich Zähne mit geradem Wurzelverlauf und nur einer Wurzel. Dies sind nach GULDNER (1989) Kriterien, die nur in etwa 10 % aller Zähne vorkommen. Daher kamen in der Regel obere sowie untere Schneide- und Eckzähne und in

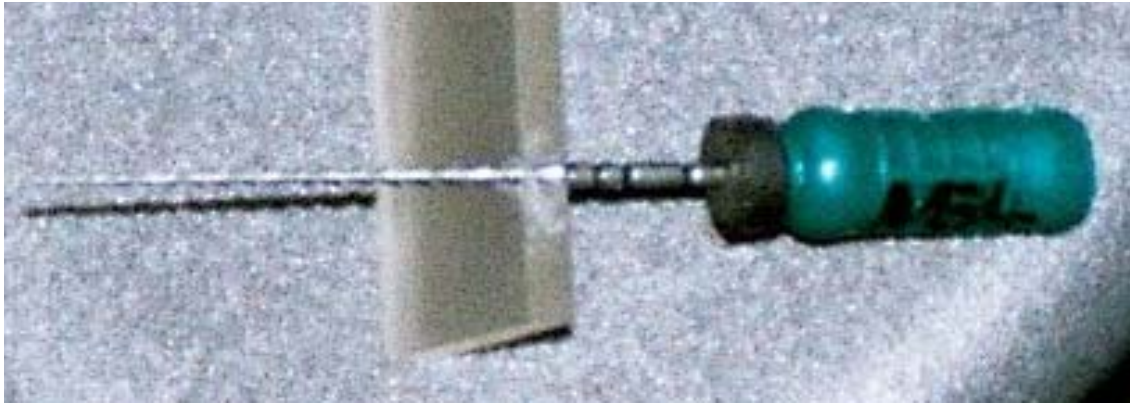


geringerem Anteil auch obere sowie untere Prämolaren zum Einsatz. Einwurzelige Zähne mit geradem Wurzelkanalverlauf wurden deshalb ausgewählt, weil hier ein gleichmäßiger, zirkumferenter Abtrag des Kanalwanddentins mit Hilfe von Hedströmfeilen bei linear feilender Arbeitsweise gewährleistet werden konnte. Das Risiko, dass eine stärkere Krümmung des Kanalverlaufs eine ungleichmäßige Beanspruchung der Schneidekanten verursacht, welches das Ergebnis verfälschen könnte, wurde auf diese Weise ausgeschlossen. Nach dieser Selektion der extrahierten menschlichen Zähne, die in 70% Ethanol gelagert wurden, wurden diese mittels einer zahnärztlichen Turbine trepaniert. Bedingung für die zu untersuchenden ISO-Größen 15, 20 und 35 war, dass sie im apikalen Kanalabschnitt klemmten, also engen Wandkontakt aufwiesen. So konnte eine gleichmäßige über die gesamte Arbeitslänge verteilte Beanspruchung der Schneiden der Hedströmfeile erfolgen. War dieser enge, klemmende Wandkontakt beispielsweise für ein Instrument mit der ISO-Größe 15 nicht gegeben, so wurde der betreffende Zahn für die gewünschte Aufbereitungsgröße aussortiert. Lag ein zu enges Kanallumen für beispielsweise die ISO-Größe 15 vor, so wurde dieses erst mit kleineren ISO-Größen (ISO 08, ISO 10) aufbereitet, bevor die eigentliche Hedströmfeile zur Anwendung kam. Während der gesamten Aufbereitung wurden die Wurzelkanäle nach jeder Größe mit einer endodontischen Spülung mit 0,3%iger Natriumhypochloritlösung gespült, um abgetragene Dentinspäne zu entfernen. Frakturierten Instrumente bei der Aufbereitung, so wurden sowohl der Zahn als auch die Hedströmfeile ausgesondert. Die Instrumentierung erfolgte im Kanal so lange bis die zu untersuchende ISO-Größe gut gängig war und bis die zuvor gemessene Arbeitslänge erreicht wurde. Dann wurde die Hedströmfeile, K-Feile oder der Reamer mit der Anzahl der erfahrenen Aufbereitungsgänge gekennzeichnet (1 x, 3x, 5x oder 8 x) und zur späteren Beurteilung der Schneidleistung aufbewahrt. Jedes Instrument erfuhr jeweils nur eine definierte Anzahl an Aufbereitungen der extrahierten menschlichen Zähne und wurde dann nicht weiter eingesetzt.

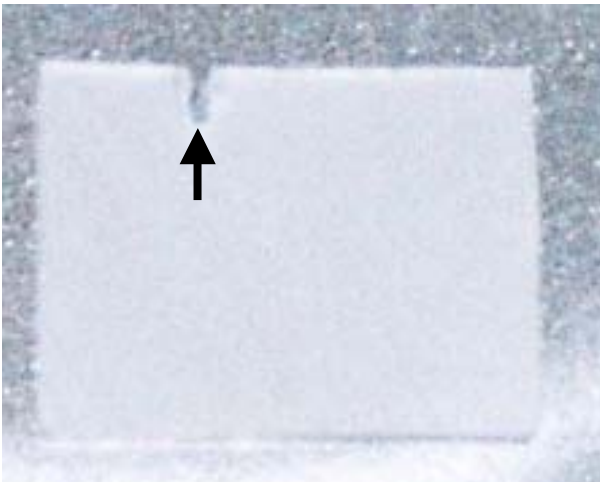
### 3.3 Erfassung der Schneidleistung

Die Untersuchung der Schneidleistung konzentrierte sich auf einen der drei Grundtypen, es handelt sich dabei um die Effizienz von Hedströmfeilen. Die Bestimmung der Effizienz der K-Feilen und Reamer ist Gegenstand einer später folgenden Dissertation, die diese ergänzt. Die hier beschriebene Erfassung der Schneidleistung erfolgte an planparallelen Kunststoffblöckchen, die speziell für diesen Zweck hergestellt wurden. Diese Kunststoffprobekörper bestanden aus Polyesterharz (Apolit  $\mu$ P 004; Hoechst) mit einem homogen vermischten Anteil von 5 m% Quarzfeinmehl (Korngröße  $<63\mu\text{m}$ ), um eine dentinähnliche VICKERS-Härte zu erhalten. In der Literatur wird die durchschnittliche VICKERS-Härte von menschlichem Dentin mit etwa 55 HV bis ca. 70 HV angegeben (WÖRNER 1974; MARXKORS und MEINERS 1988; etc.). CRAIG et al. ordneten 1959 die Härte des Wurzelkanalwanddentins bei 52% der Härte des Dentins im Abstand von etwa 1,5 mm von der Wurzelkanalwand ein, welche damit bei etwa 28 HV – 35 HV liegt. HEINSEN (1983) gibt ebenfalls eine gute Übereinstimmung zwischen menschlichem Wurzelkanaldentin und Kunststoffprobekörpern, die einen Quarzmehlzusatz aufweisen, an. Aus diesem, der Härte menschlichen Dentins in etwa entsprechenden Kunststoff wurden planparallele rechteckige Probekörper mit der Abmessung 1 cm x 1,5 cm erstellt. Die Stärke dieses Probekörpers beträgt einheitlich immer 1,5 mm. Mit Hilfe einer Innenlochsäge konnte diese Stärke für jeden Probekörper reproduziert werden. An diesen Probekörper sollte nun die maximale Rilltiefe als Kriterium der Schneidleistung der Hedströmfeilen anhand eines maschinellen Prüfgerätes bei feilender Arbeitsweise ermittelt werden. Ein Eindringen der Schneiden der Hedströmfeile in den Probekörper aus Kunststoff bei einer gleichmäßigen maschinellen Feilbewegung resultiert aus der Beschaffenheit des Instruments, welches auf Grund seines Schneidekantenwinkels in Bezug auf seine Instrumentenlängsachse primär für die feilende Arbeitsweise konzipiert ist. Je schärfer also die Schneiden der Feile, desto tiefer wird es in den Kunststoff eindringen und eine messbare, auf die Effizienz beziehbare Rille schaffen. Ist eine Schneidekante verschlissen und schafft keinen nennenswerten Abtrag mehr in den Kunststoffblöckchen, so kann man es als stumpf bezeichnen und die Rille wird nicht

tiefer. Die mit einem Messmikroskop erfasste Strecke der maximalen Rilltiefe ist der Parameter für die Schärfe des Instruments, sei es fabrikneu oder benutzt.



**Abbildung 8: Hedströmfeile der ISO-Größe 35 zur Veranschaulichung dem Prüfgerät entnommen. Mittig der Kunststoffprüfkörper in den sich die Feile eingegraben hat. Die Bewegungsrichtung entspricht der Instrumentenlängsachse (Fotographie während Versuchsreihe).**

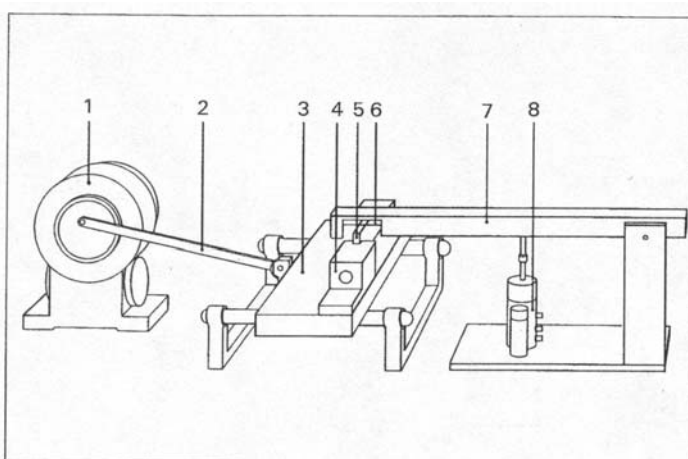


**Abbildung 9: Der Kunststoffprobekörper mit den Abmessungen 1 cm x 1,5 cm. Die Pfeilspitze markiert die Rille, die eine Hedströmfeile ca. 2 mm eingearbeitet hat (Fotographie während Versuchsreihe).**

### 3.4 Prüfgerät und Prüfvorgang für die Bestimmung der Schneidleistung der Hedströmfeilen

Im weiteren Verlauf wird der Versuchsaufbau des Prüfgeräts zur Bestimmung der maximalen Rilltiefe beschrieben. Die in der Beschreibung genannten Nummern beziehen sich auf die folgende Abbildung 10.

Ein Elektromotor (1) trieb über eine Exzenterstange (2) einen spielfrei in Kugelführungen gelagerten, horizontalen Probeschlitten (3) an (Star Transfertisch, Deutsche Star, Herford). Auf dem Schlitten befand sich eine Spannvorrichtung (4), in der der Kunststoffprobekörper fixiert werden konnte. In Nuten (5) konnte letzterer in einer definierten Position, das bedeutet senkrecht zur Arbeitsrichtung der Hedströmfeile, eingestellt werden. Oben auf der 1,5 mm starken Kante des Probekörpers lag die Feile orthogonal zur Fläche des Körpers auf. Das zu untersuchende Instrument (6) konnte in einem Haltearm (7) an zwei Seiten, dem Griff und der Instrumentenspitze, fixiert werden. Der Haltearm war in einer Distanz von 26 cm zur Instrumentenspitze gelenkig aufgehängt. Die Auslenkbewegungen des Haltearms wurden mit Hilfe eines Linearpotentiometers (8) (HLP) 220/10/1k/S, Penny & Gilles, Norderstedt) auf einen xt-Schreiber (Servocorder SR 6221, Graphtec, Düsseldorf) übertragen.



**Abbildung 10:** (entnommen aus SCHÄFER 1998): Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Bestimmung der Schneidleistung bei feilender Arbeitsweise. Elektromotor (1), Exzenterstange (2), Probeschlitten (3), Spannvorrichtung (4), Fixierung (5), Wurzelkanalinstrument (6), Haltearm (7), Linearpotentiometer (8)

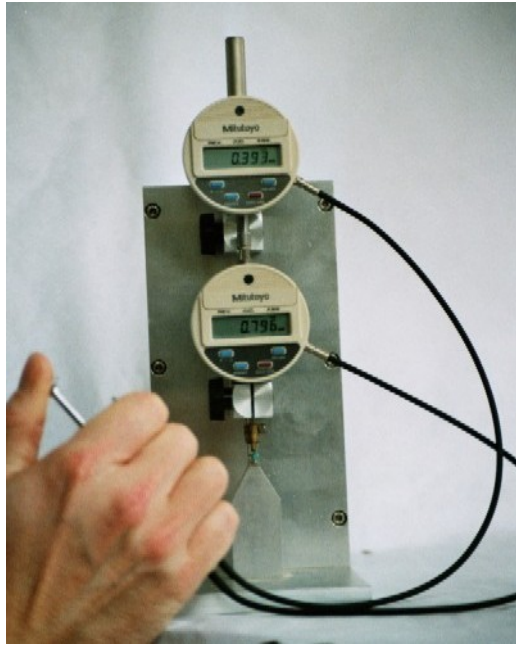
Die Tiefe, der durch die Bearbeitung des Probekörpers resultierenden Rille, konnte so nach Kalibrierung zu jedem Versuchszeitpunkt direkt auf dem angeschlossenen Schreiber abgelesen werden. Die Hedströmfeile wurde so in dem Haltearm fixiert, dass der minimale Abstand zum Kunststoffprobekörper im schaftnahen Totpunkt 1 mm betrug. Die Kraft der Auflage an diesem Punkt betrug 2,7 N. Sämtliche Versuchsdurchgänge wurden aus dieser Position heraus gestartet. Die Drehzahl des Motors betrug  $200 \text{ U/min}^{-1}$ , der Hub belief sich auf 6 mm. Jeder Durchlauf wurde so lange beibehalten, bis das Instrument kein Material mehr abtrug, was der maximalen Rilltiefe entsprach. Der Kurvenverlauf auf dem angeschlossenen xt-Schreiber zeigte sich dann parallel zur Abszisse. Die maximale Rilltiefe war insofern das maßgebende Kriterium für die Schneidleistung der Hedströmfeilen bei feilender Arbeitsweise.

### **3.5 Erfassung des Instrumentendurchmessers**

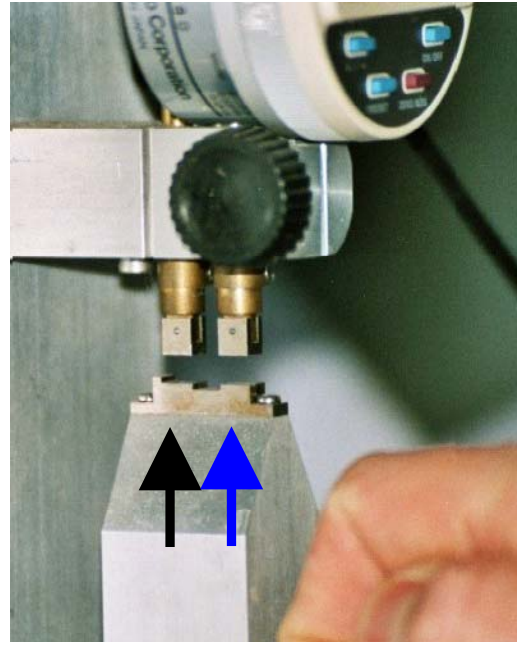
Ein weiteres Kriterium, welches in dieser Arbeit untersucht werden sollte, ist die Erfassung des Durchmessers der Instrumente. Diese Messung wurde ausschließlich an den Instrumenten des Herstellers VDW vorgenommen. Mit dem Ziel, die jeweilige Qualität der Schneidleistung eines vorliegenden Wurzelkanalinstrumentes einordnen zu können, wurde die Veränderung des Durchmessers einmal in der Nähe der Instrumentenspitze, Messpunkt d<sub>3</sub> – 3 mm von der Spitze und am selben Instrument in Schaftnähe, Messpunkt d<sub>2</sub> – 13 mm von der Instrumentenspitze, erfasst. Eine eventuell stattfindende Verringerung des Durchmessers könnte eine Aussage über den Verschleiß des jeweiligen Instrumentes andeuten. Hierbei wurden jeweils für jedes fabrikneue Instrument zwei Werte erfasst, bevor es zur Aufbereitung an extrahierten menschlichen Zähnen kam. Danach wurde das Instrument entsprechend seiner vorgesehenen Aufbereitungsserie 1x, 3x, 5x oder 8x im Wurzelkanal eingesetzt. Bei mehrfachem Einsatz wurde jeweils nach jeder Aufbereitung erneut der Durchmesser des Instrumentes an den beschriebenen zwei Stellen bestimmt.

#### **3.5.1 Das Prüfgerät zur Bestimmung des Durchmessers**

Die Erfassung des Instrumentendurchmessers wurde mit einem Messgerät durchgeführt, welches nach der DIN-Norm DIN 13967 Teil 3 (1985) konstruiert wurde. Es wurde speziell für konische Wurzelkanalinstrumente ausgelegt. Mittels zweier angeschlossener Messuhren (Digimatic 543-122B, Mitutoyo, Tokyo, Japan) konnte der jeweilige Durchmesser in Millimeter an den Stellen d<sub>3</sub> und d<sub>2</sub> abgelesen werden (Abbildung 11a). Durch einen Druckstempel konnten die kubischen Messzylinder an den Stellen d<sub>3</sub> und d<sub>2</sub> angehoben und für die Messung gesenkt werden (Abbildung 11b). Da die Messuhr vor jeder Messung kalibriert wurde und ohne ein dazwischen gesetztes Instrument 0.00 anzeigte, entsprach der Grad des Anhebens des Messstempels jeweils dem Durchmesser in Millimeter. Dabei wurde eine zulässige Toleranz der Messung von  $\pm 0,02$  mm angegeben.



a)



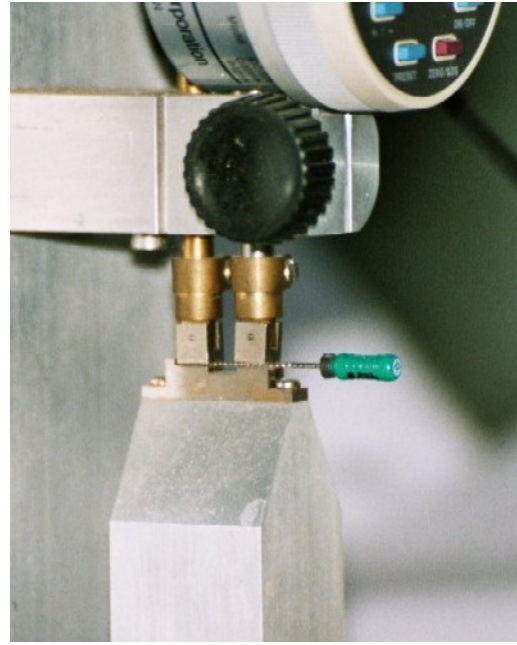
b)

**Abbildung 11: Prüfinstrument zur Bestimmung des Instrumentendurchmessers; a) Die obere Messuhr zeigt die Werte für  $d_3$ , die untere Uhr die Messwerte von  $d_2$ ; b) Die beiden Stempel erfassen die beschriebenen Messpunkte  $d_3$  (schwarzer Pfeil) und  $d_2$  (blauer Pfeil). Unter den Stempeln befindet sich das Messfeld, welches an der links gelegenen Erhebung, dem Anschlag der Instrumentenspitze endet (Fotographie während Versuchsreihe).**

Das Instrument wurde, nachdem die Messstempel angehoben waren, mittig auf der Auflagefläche und in Kontakt bis zu dem Anschlag des Auflagebereichs eingelegt (Abbildung 12a). Hierbei war es besonders wichtig, dass die Instrumentenspitze vorne am Messfeld anstieß. Dadurch wurde die exakte Erfassung an den immer standardmäßig gleichen Punkten  $d_3$  (entspricht 3 mm von der Spitze) und  $d_2$  (entsprechend 13 mm von der Instrumentenspitze) gewährleistet. Hier wurde nun das Wurzelkanalinstrument gehalten, bis sich beide Messstempel gleichzeitig auf das Instrument gesenkt hatten und es somit fixierten (Abbildung 12b). Ihre Auslenkung im Vergleich zur direkten Auflage auf dem Messfeld, zeigte nun den Durchmesser in Millimeter an. Die direkte Auflage auf dem Messfeld entspricht dem Wert 0. Die Werte wurden notiert und eventuelle Verunreinigungen im Messbereich gesäubert. Anschließend wurden die beiden Messuhren zurück auf 0,00 mm geeicht. Auf diese Weise wurden alle Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamer aller ISO-Größen und unterschiedlicher Aufbereitungshäufigkeit des Herstellers VDW vermessen.



a)



b)

**Abbildung 12:** a) Hedströmfeile in Messposition mit Kontakt der Spitze am Anschlag; b) d3 linker Stempel und rechter Stempel d2. Die Messzylinder sind auf das Wurzelkanalinstrument gesenkt (Fotografie während Versuchsreihe).

### 3.6 Erfassung der Aufbereitungszeit

Die Zeit, in der eine Hedströmfeile zur Aufbereitung eingesetzt wurde, wurde während der Wurzelkanalbehandlung erfasst. Hierbei handelte es um die reine Nettozeit für ein Instrument einer ISO-Größe. Das bedeutet, dass eine ISO-Größe 35 als Beispiel zeitlich festgehalten wurde, ohne dass die kleineren Größen, sozusagen als Hilfs-ISO-Größen eine Rolle spielten. Ab dem Zeitpunkt, ab dem die zu untersuchende Feile benutzt wurde, startete die digitale Stoppuhr. War für die Feile die Aufbereitung von mehreren Kanälen vorgesehen, so wurden die Aufbereitungszeiten für alle durchgeführten Aufbereitungen aufaddiert. Die Aufbereitungszeit wurde in Sekunden gemessen. Ebenso wurden die einzelnen, aufeinander folgenden Aufbereitungszeiten dokumentiert, mit dem Ziel, eine Veränderung der Zeiten während eines mehrfachen Durchgangs beurteilen zu können. Diese Messung, die Erfassung der Aufbereitungszeit wurde an den Instrumenten aller drei untersuchter Hersteller, VDW, Micro Méga und FKG vorgenommen.



### **3.6.1 Prozentuale Veränderung der Aufbereitungszeit**

Der Parameter Aufbereitungszeit soll in seiner vorgenommenen Erfassung noch etwas erläutert werden. Die Zeit, die ein Wurzelkanalinstrument benötigt, um einen Kanal auf die aus ihm resultierende ISO-Größe aufzubereiten, wurde in Sekunden erfasst. Es galt hier ausschließlich die reine Netto-Zeit, d. h. nur die Aufbereitungszeit, der jeweiligen ISO-Größe. Aus den Einzelwerten wurden für Hersteller, Aufbereitungsanzahl und ISO-Größe Mittelwerte gebildet. Die zu bestimmende Veränderung ergab sich jeweils aus dem Mittelwert der einzelnen Zeitvergleiche, in Relation zum einmalig zur Wurzelkanalbehandlung benutzten Instrument. D. h., dass die prozentuale Veränderung des Zeitaufwands einer 3 x eingesetzten Feile sich wie folgt errechnet: Beispielwerte: 1 x wurde mit 1 x verglichen =  $\pm 0 \%$ , 2 x =  $+ 8 \%$  und 3 x =  $+ 4 \%$  im Vergleich zur 1x eingesetzten Feile. Diese Prozentwerte wurden addiert ( $0 \% + 8 \% + 4 \% = 12 \%$ ) und durch die Anzahl der Durchläufe dividiert ( $12 : 3 = 4 = + 4 \%$  Gesamtzeitzunahme). Auf diese Weise konnte die prozentuale Veränderung der Aufbereitungszeit anhand von Säulendiagrammen dargestellt werden.

### **3.7 Statistische Auswertung**

Die für die Aufbereitungszeit und die Instrumentendurchmesser erhobenen Daten wurden anschließend in Excel MS Dateien (Microsoft, Redmont, USA) eingegeben und eine deskriptive Statistik erstellt. Die Daten zur Schneidleistung wurden für jede ISO-Größe getrennt statistisch mittels multipler Varianzangaben (ANOVA) und post-hoc Scheffé-Test analysiert. Das Signifikanzniveau wurde auf  $p < 0,05$  festgelegt.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Erfassungen der Schneidleistung von Hedströmfeilen

- Serie A VDW
- Serie B Micro Méga
- Serie C FKG

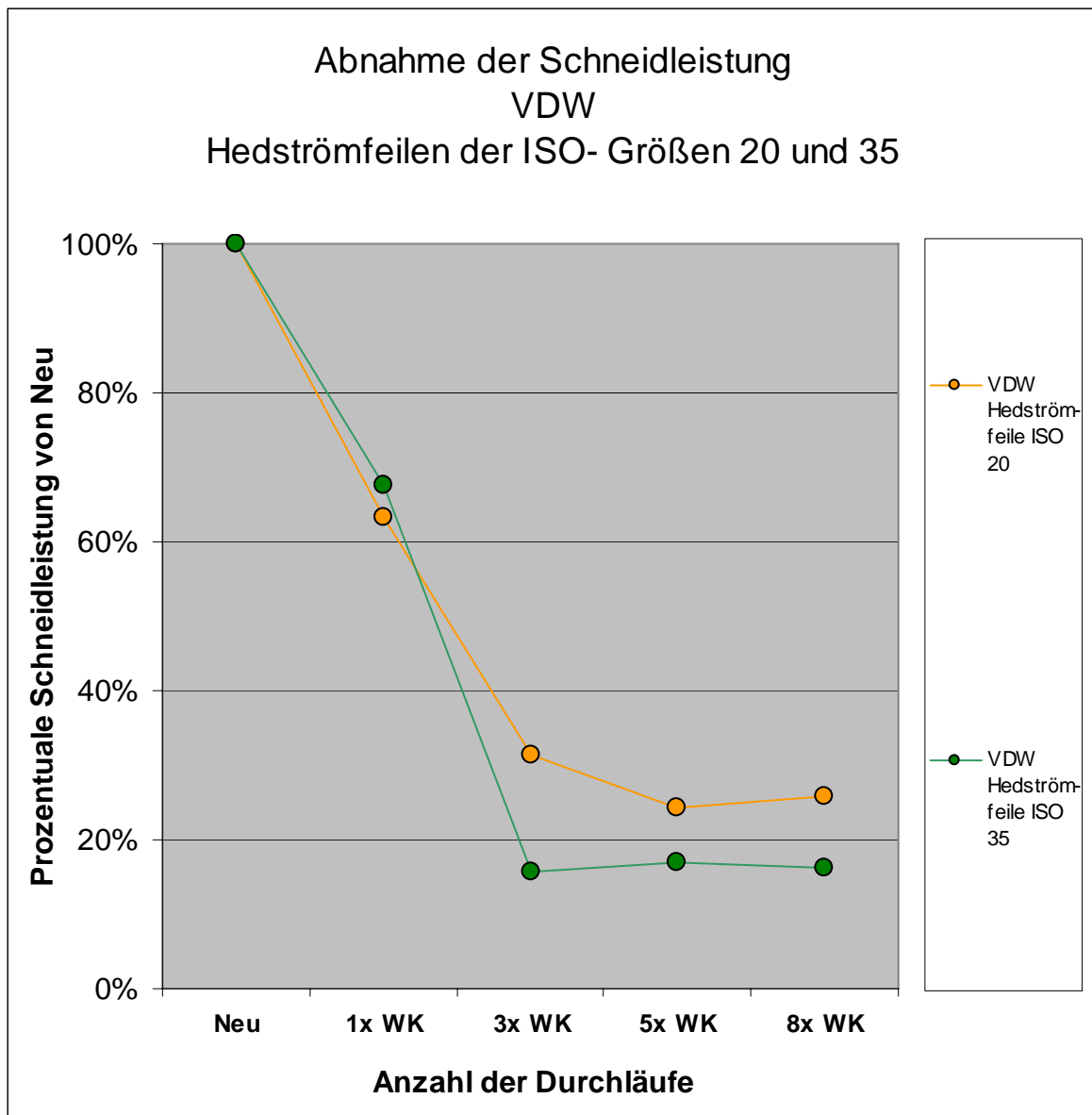
#### 4.1.1 Serie A : VDW Schneidleistung

<b>VDW Hedströmfeilen ISO-Größe 20</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>1,82</b> <i>(1,03)</i>	<b>1,15</b> <i>(0,35)</i>	<b>0,57</b> <i>(0,15)</i>	<b>0,44</b> <i>(0,23)</i>	<b>0,47</b> <i>(0,23)</i>
<b>Prozentuale Abnahme von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>-36,81 %</b>	<b>-68,68 %</b>	<b>-75,82 %</b>	<b>-74,18 %</b>

Tabelle 10: Schneidleistung von Hedströmfeilen VDW der ISO-Größe 20 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Abnahme der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.

<b>VDW Hedströmfeile ISO-Größe 35</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>2,23</b> <i>(0,97)</i>	<b>1,51</b> <i>(1,35)</i>	<b>0,35</b> <i>(0,22)</i>	<b>0,37</b> <i>(0,18)</i>	<b>0,36</b> <i>(0,11)</i>
<b>Prozentuale Abnahme von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>-32,29 %</b>	<b>-84,30 %</b>	<b>83,09 %</b>	<b>-83,86 %</b>

**Tabelle 11: Schneidleistung von Hedströmfeilen VDW der ISO-Größe 35 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Abnahme der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.**



**Diagramm 1 : Schneidleistung der VDW Hedströmfeilen der ISO-Größe 20 und 35. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen dargestellt. Die Ordinate stellt die prozentuale Abnahme der Schneidleistung im Vergleich zu Neu = 100% dar.**

Dem Diagramm 1 ist zu entnehmen, dass Die Hedströmfeilen der Firma VDW mit den ISO-Größen 20 und 35 bereits nach einmaligem Einsatz eine Abnahme der Schneidleistung von etwa 35 Prozent aufwiesen. Nach 3-maligem Einsatz betrug die Schneidleistung lediglich noch ca. 20 – 30 Prozent im Vergleich zu einem fabrikneuen Instrument.

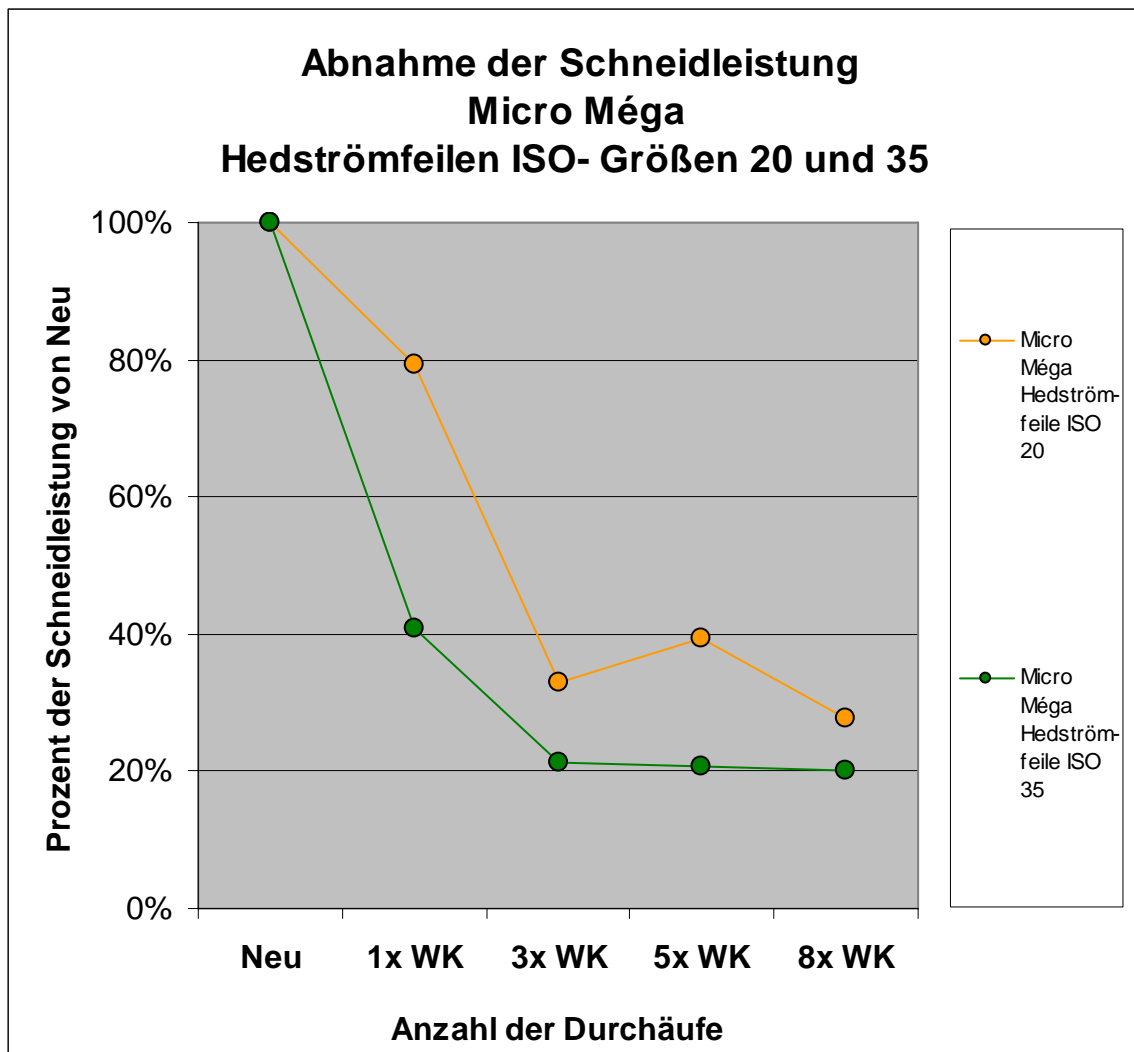
#### 4.1.2 Serie B : Micro Méga Schneidleistung

<b>Micro Méga Hedströmfeile ISO-Größe 20</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>1,70</b> <i>(0,96)</i>	<b>1,35</b> <i>(0,46)</i>	<b>0,56</b> <i>(0,29)</i>	<b>0,67</b> <i>(1,07)</i>	<b>0,47</b> <i>(0,22)</i>
<b>Prozentuale Abnahme von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>-20,59%</b>	<b>-67,06%</b>	<b>-60,59%</b>	<b>-72,36%</b>

Tabelle 12: Schneidleistung von Hedströmfeilen Micro Méga der ISO-Größe 20 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Abnahme der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.

<b>Micro Méga Hedströmfeile ISO-Größe 35</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>1,64</b> <i>(0,95)</i>	<b>0,67</b> <i>(0,31)</i>	<b>0,35</b> <i>(0,16)</i>	<b>0,34</b> <i>(0,11)</i>	<b>0,33</b> <i>(0,28)</i>
<b>Prozentuale Abnahme von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>-59,15%</b>	<b>-78,66%</b>	<b>-79,27%</b>	<b>-79,88%</b>

Tabelle 13: Schneidleistung von Hedströmfeilen Micro Méga der ISO-Größe 35 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Abnahme der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.



**Diagramm 2:** Schneidleistung der Micro Méga Hedströmfeilen der ISO-Größe 20 und 35. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen dargestellt. Die Ordinate stellt die prozentuale Abnahme der Schneidleistung im Vergleich zu Neu = 100 % dar.

Dem Diagramm 2 ist zu entnehmen, dass Die Hedströmfeilen der Firma VDW mit der ISO-Größen 20 bereits nach einmaligem Einsatz eine Abnahme der Schneidleistung von etwa 20 Prozent und die der ISO-Größen 35 eine Abnahme von 60 Prozent aufwiesen. Nach 3-maligem Einsatz betrug die Schneidleistung lediglich noch ca. 20 – 30 Prozent im Vergleich zu einem fabrikneuen Instrument.

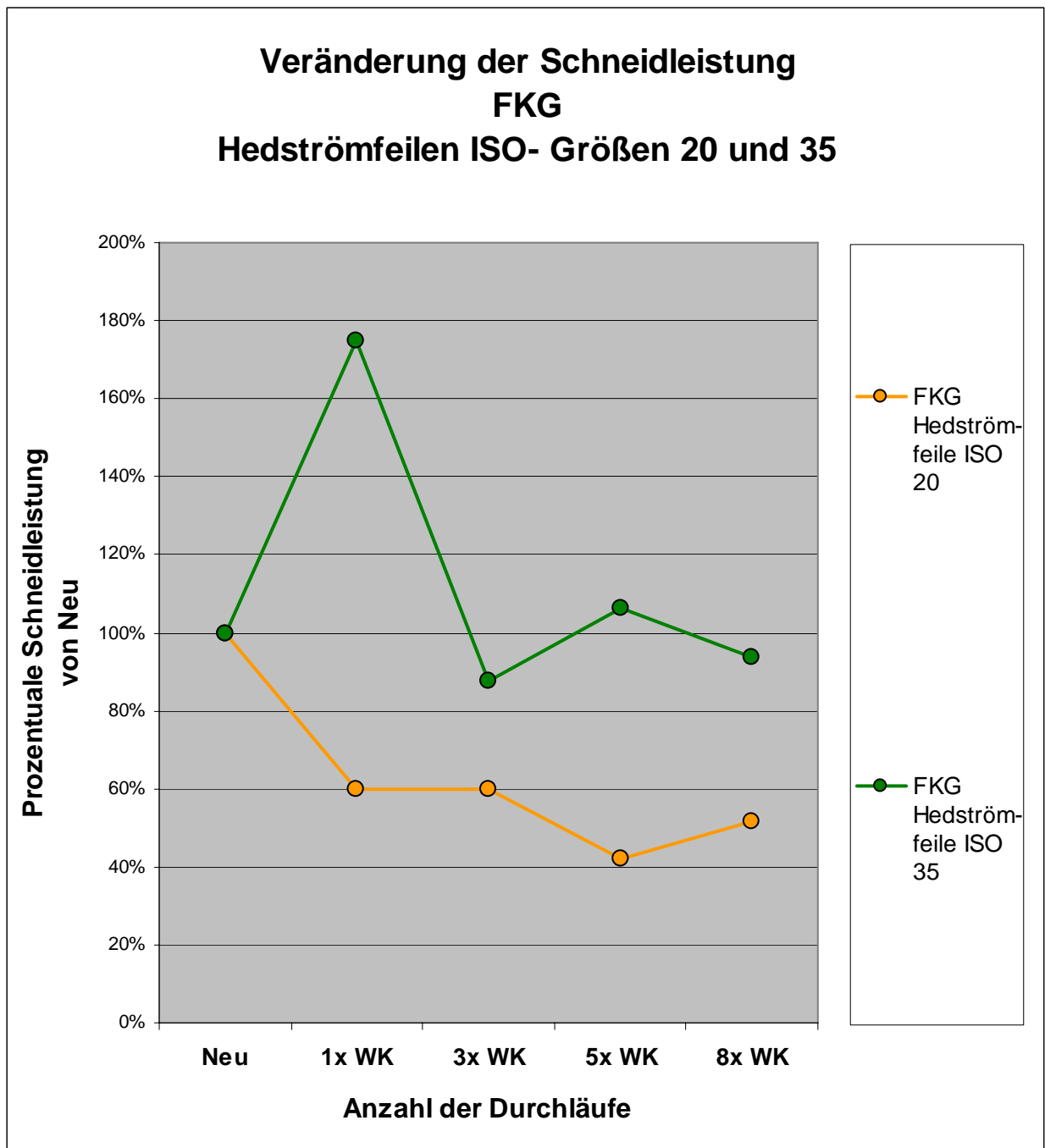
#### 4.1.3 Serie C : FKG Schneidleistung

<b>FKG Hedströmfeile ISO-Größe 20</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>0,62</b> (0,23)	<b>0,37</b> (0,14)	<b>0,37</b> (0,14)	<b>0,26</b> (0,03)	<b>0,32</b> (0,08)
<b>Prozentuale Abnahme von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>-40,32%</b>	<b>-40,32%</b>	<b>-58,06%</b>	<b>-48,39%</b>

Tabelle 14: Schneidleistung von Hedströmfeilen FKG der ISO-Größe 20 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Abnahme der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.

<b>FKG Hedströmfeile ISO-Größe 35</b>					
	<b>Neu</b>	<b>1 x WK</b>	<b>3 x WK</b>	<b>5 x WK</b>	<b>8 x WK</b>
<b>Maximale Rilltiefe in mm</b> <i>(Standardabweichung)</i>	<b>0,16</b> (0,04)	<b>0,28</b> (0,09)	<b>0,14</b> (0,03)	<b>0,17</b> (0,02)	<b>0,15</b> (0,04)
<b>Prozentuale Differenz von Neu</b>	<b>=100,0 %</b>	<b>+175%</b>	<b>-12,50%</b>	<b>+6,25%</b>	<b>-6,25%</b>

Tabelle 15: Schneidleistung von Hedströmfeilen FKG der ISO-Größe 35 bei mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung. Maximale Rilltiefe in Millimetern (fett gedruckt), Standardabweichung (in Klammer, kursiv) und untenstehend die Differenz der maximalen Rilltiefe der benutzten Feilen zum Neuinstrument in Prozent.



**Diagramm 3:** Schneidleistung der FKG Hedströmfeilen der ISO-Größe 20 und 35. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen dargestellt. Die Ordinate stellt die prozentuale Abnahme der Schneidleistung im Vergleich zu Neu = 100 % dar.

Die ISO-Größe 20 der FKG Hedströmfeilen zeigt einen kuriosen Verlauf, da ihre Schneidleistung nach einem einmaligen Einsatz zur Wurzelkanalbehandlung von 100 % Schärfe, plötzlich auf 175 % ansteigt. Da dieses nicht möglich ist, handelt es sich hier



eindeutig um einen Mess- oder Verfahrensfehler. Die größere ISO-Größe 35 zeigt einen realistischeren Verlauf in Form einer abfallenden Kurve, ähnlich der, der anderen Hersteller. Allerdings stagniert ihre Effizienz in etwa um 50 Prozent.

#### 4.1.4 Vergleich der Schneidleistung VDW, Micro Méga und FKG

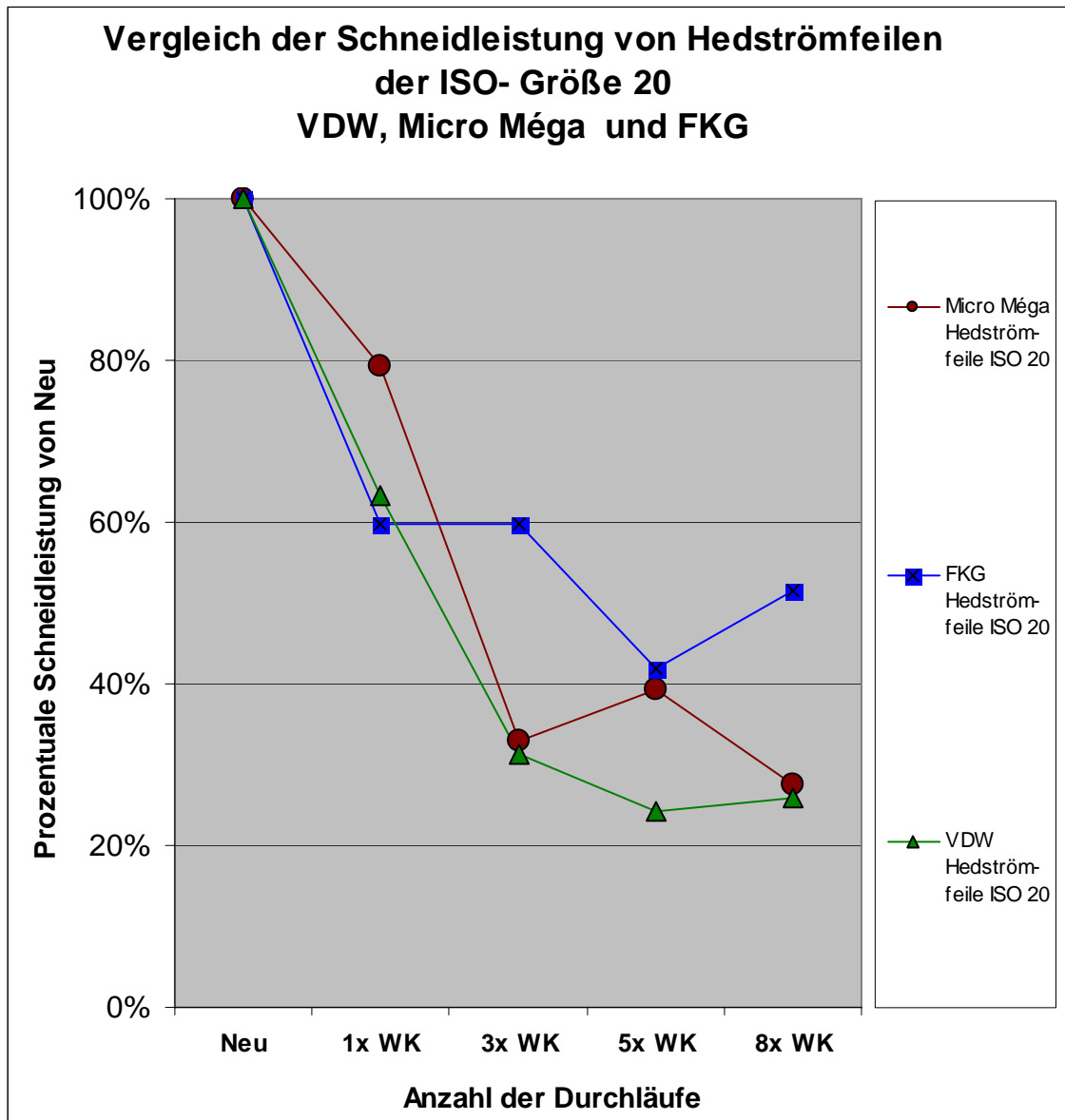


Diagramm 4: Vergleich der Schneidleistung VDW, Micro Méga und FKG Hedströmfeilen der ISO-Größe 20. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen dargestellt. Die Ordinate stellt die prozentuale Abnahme der Schneidleistung im Vergleich zu Neu = 100 % dar.

Bei dem Vergleich der Hedströmfeilen mit der ISO-Größe 20 der drei Hersteller weisen die FKG-Hedströmfeilen die größte Schneidleistung während aller Durchläufe auf. VDW und Micro Méga verhalten sich in ihrer Schneidleistung ähnlich, beide büßen bereits nach drei Durchläufen mehr als die Hälfte ihrer Schärfe ein.

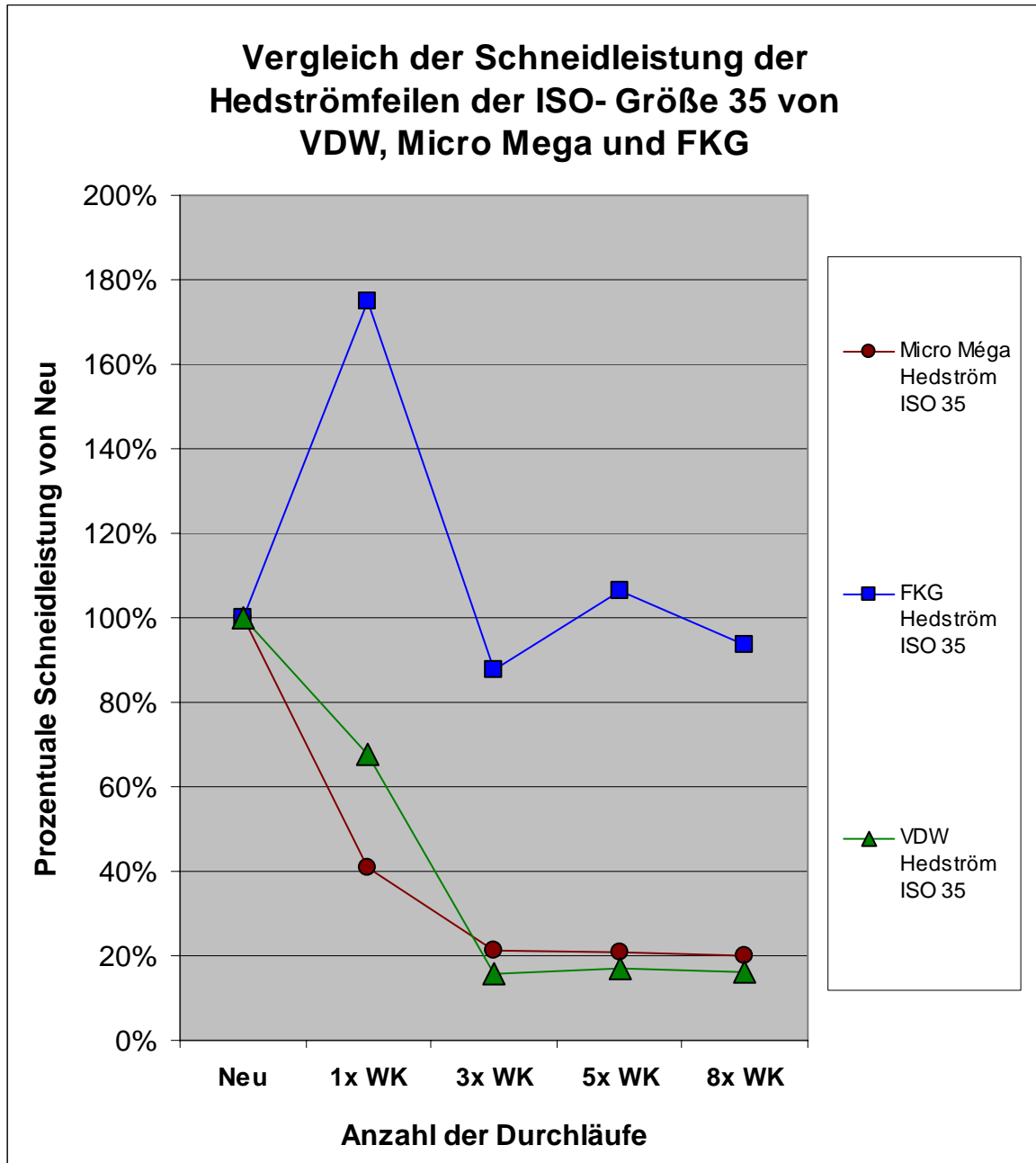
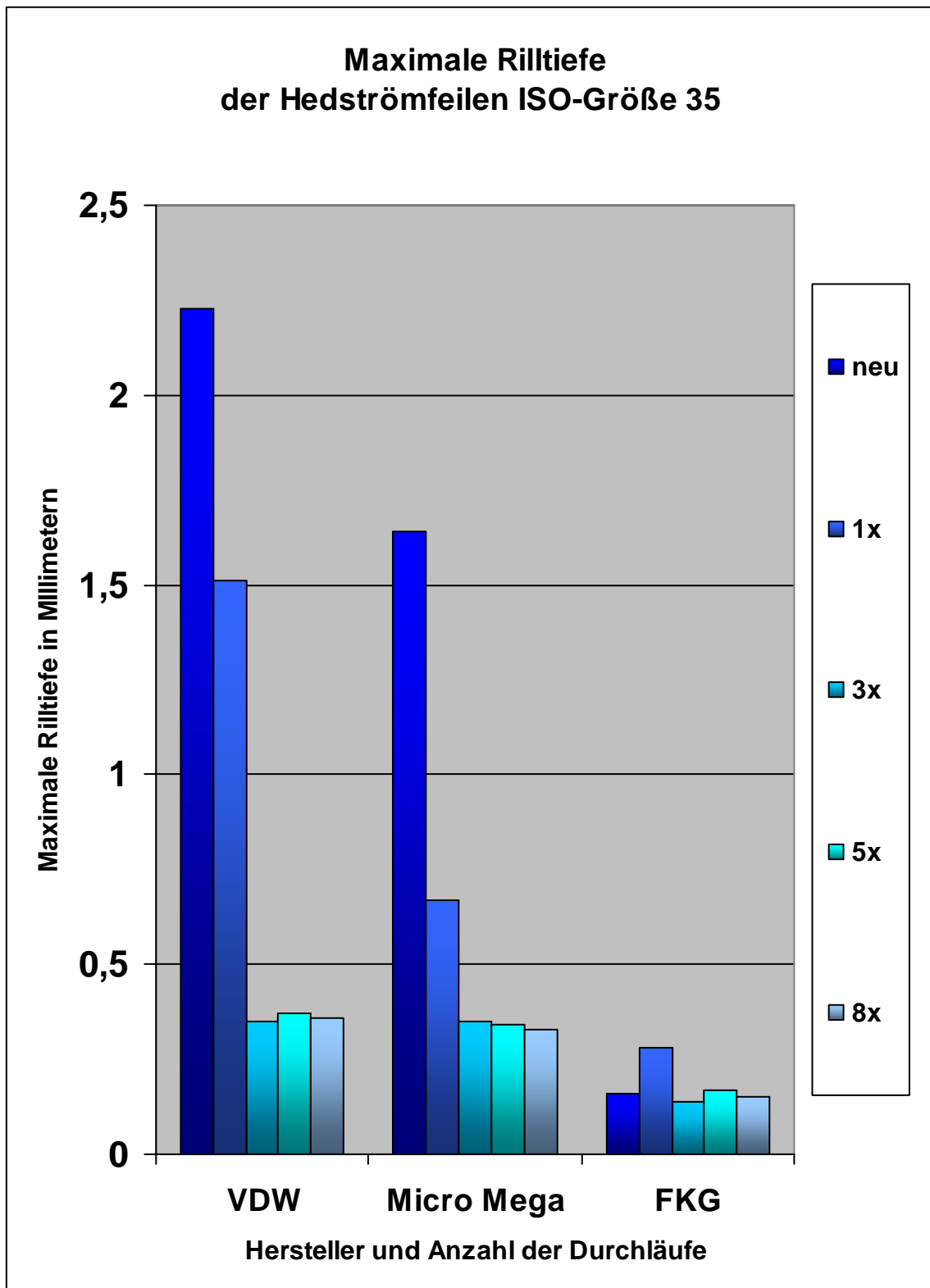


Diagramm 4: Vergleich der Schneidleistung VDW, Micro Méga und FKG Hedströmfeilen der ISO-Größe 35. Auf der Abszisse ist die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen dargestellt. Die Ordinate stellt die prozentuale Differenz der Schneidleistung im Vergleich zu Neu = 100 % dar.

Bei der ISO-Größe 35 weist das Diagramm für den Hersteller FKG allerdings, wie bereits oben beschrieben, keine sinnvollen Ergebnisse aus. Diese können keine Aussage zulassen, da es sich offensichtlich um einen Fehler im experimentellen Teil handelt. VDW und Micro Méga zeigen ein ähnliches Verhalten wie bereits bei der ISO-Größe 20 beschrieben.



**Diagramm 5:** Maximale Rilltiefe (entspricht Schneidleistung) von Hedströmfeilen der Hersteller VDW, Micro Méga und FKG der ISO-Größe 35. Auf der Abszisse die Anzahl der Durchläufe der Wurzelkanalaufbereitung und die Gruppierung der Hersteller, auf der Ordinate die maximale Rilltiefe in Millimetern.

### Maximale Rilltiefe der Hedströmfeilen ISO-Größe 20

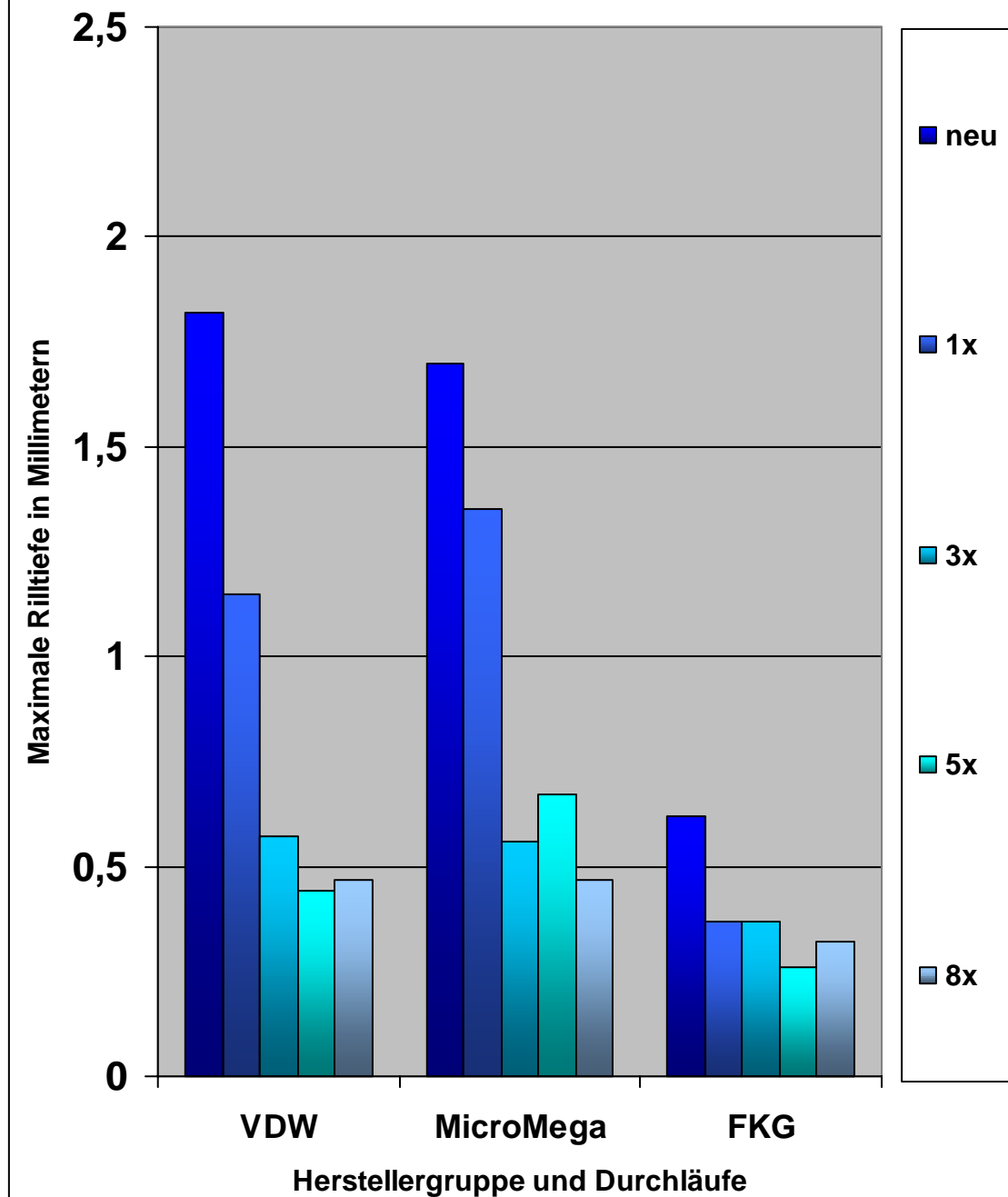


Diagramm 6: Maximale Rilltiefe (entspricht Schneidleistung) von Hedströmfeilen der Hersteller VDW, Micro Méga und FKG der ISO-Größe 20. Auf der Abszisse die Anzahl der Durchläufe der Wurzelkanalaufbereitung und die Gruppierung der Hersteller, auf der Ordinate die maximale Rilltiefe in Millimetern.

## 4.2 Erfassungen der Instrumentendurchmesser

### 4.2.1 Serie A VDW

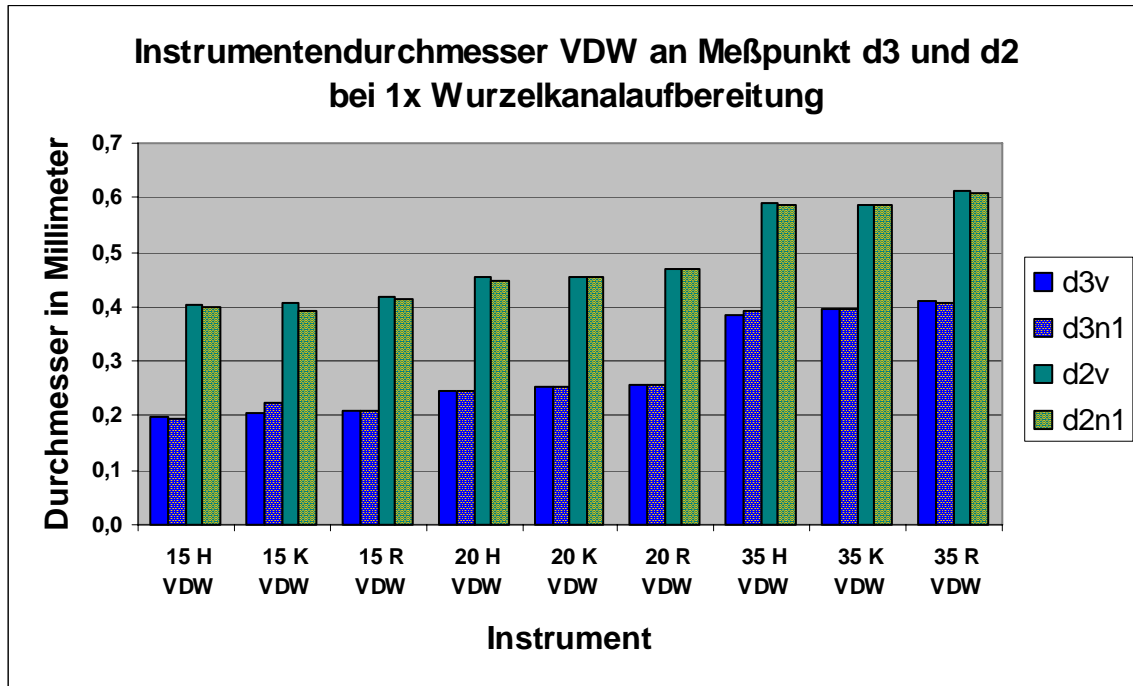
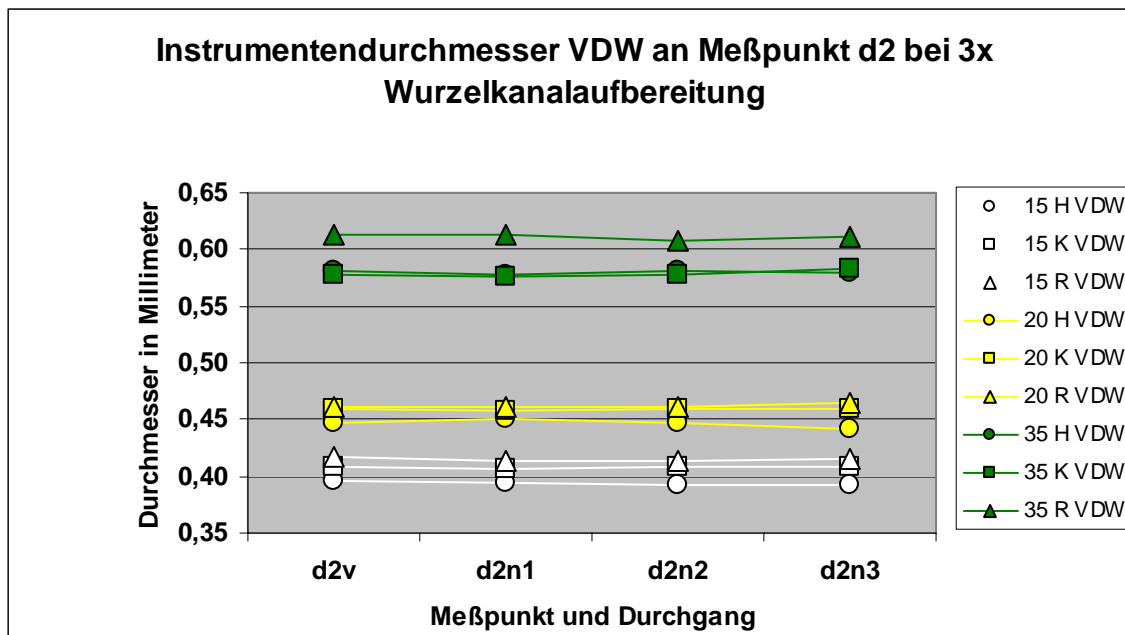


Diagramm 7: Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei einmaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die Instrumententypen H = Hedströmfeile, R = Reamer, K = K-Feile in zugeordneten ISO-Größen 15, 20 und 35. Die Ordinate zeigt den Instrumentendurchmesser in Millimeter an. d3v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d3 vor einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n1 = d3 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2v = d2 vor einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n1 = Messpunkt d3 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung.

Das Säulendiagramm 7 zeigt die Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers von allen untersuchten Instrumententypen und ISO-Größen des Herstellers VDW. In der Messung wurden Hedströmfeilen der ISO-Größen 15, 20 und 35 sowie Reamer und K-Feilen der gleichen ISO-Größen untersucht. Bei allen Instrumenten wurde der Instrumentendurchmesser an den Messpunkten d3 und d2 jeweils vor und nach der Aufbereitung bestimmt. Die Differenz zwischen dem Durchmesser vor und nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung ist praktisch gleich Null, sie beträgt durchschnittlich maximal 0,001 Millimeter.



**Diagramm 8:** Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei dreimaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen an vier verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d2. Die Y-Achse zeigt den Instrumentendurchmesser in mm. d2v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d2 vor Wurzelkanalaufbereitung. d2n1= Messpunkt d2 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n2 = d2 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n3 = d2 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung.

Die Ergebnisse nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung sind für die Durchmessermeßpunkte d2 und d3 in den Diagrammen 8 und 9 dargestellt. Die Kurvenverläufe zeigen sich jeweils konstant und parallel zur Abszisse. Eine aufbereitungsbedingte Abnahme des Durchmessers, war somit nicht zu erkennen. Auch bei allen anderen Versuchsserien (Diagramme 10 – 13) konnte eine aufbereitungsbedingte Durchmesserabnahme weder am Meßpunkt d2 noch am Punkt d3 nachgewiesen werden.

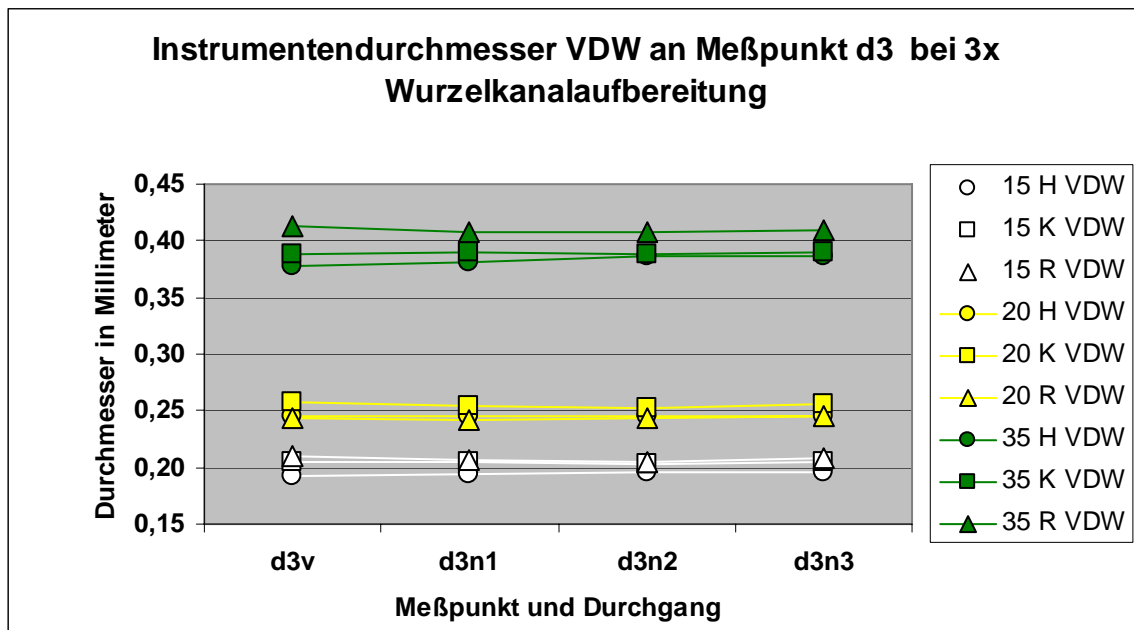


Diagramm 9: Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei dreimaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen an vier verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d3. Die Y-Achse zeigt den Instrumentendurchmesser in mm. d3v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d3 vor Wurzelkanalaufbereitung. d3n1= d3 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n2 = d3 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n3 = d3 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung.

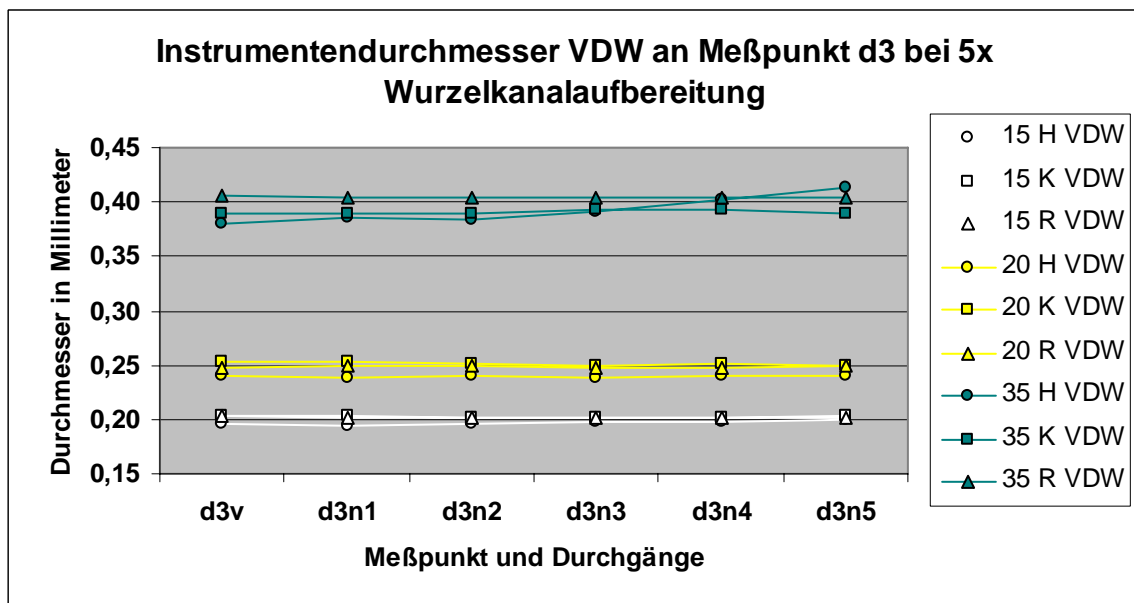


Diagramm 10: Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei fünfmaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen zu fünf verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d3. Die Y-Achse zeigt den Instrumentendurchmesser in mm. d3v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d3 vor Wurzelkanalaufbereitung. d3n1= Messpunkt d3 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n2 = d3 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n3 = d3 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n4 = nach viermaliger Aufbereitung, d3n5 = nach fünfmaliger Aufbereitung.



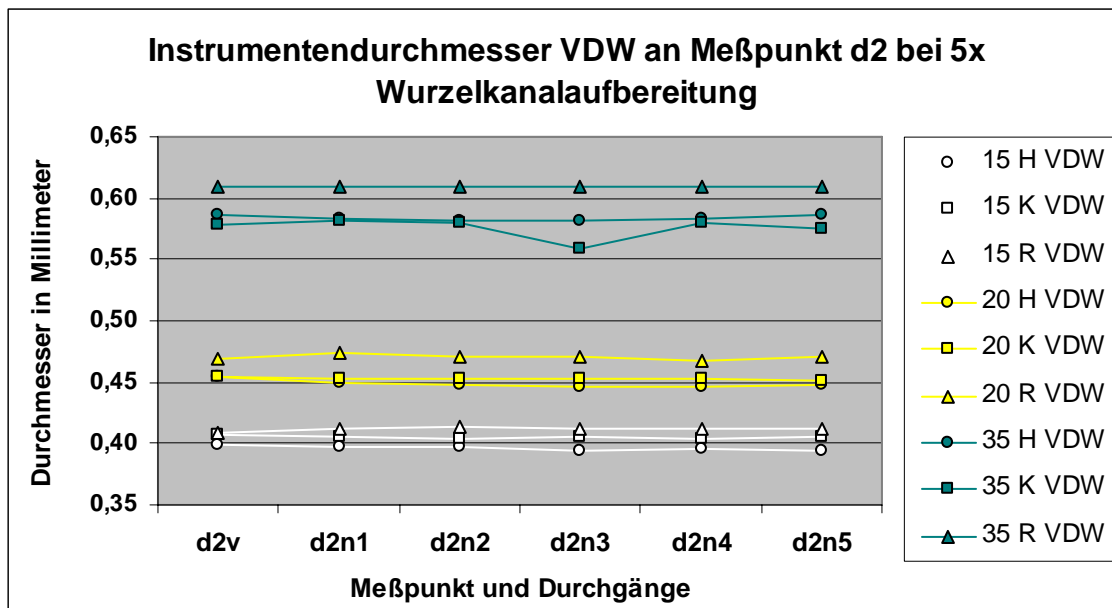


Diagramm 11: Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei fünfmaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen zu fünf verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d2. Die Ordinate zeigt den Instrumentendurchmesser in Millimeter an. d2v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d2 vor Wurzelkanalaufbereitung, d2n1= Messpunkt d2 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n2 = d2 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n3 = d2 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n4 = nach viermaliger Aufbereitung, d2n5 = nach fünfmaliger Aufbereitung.

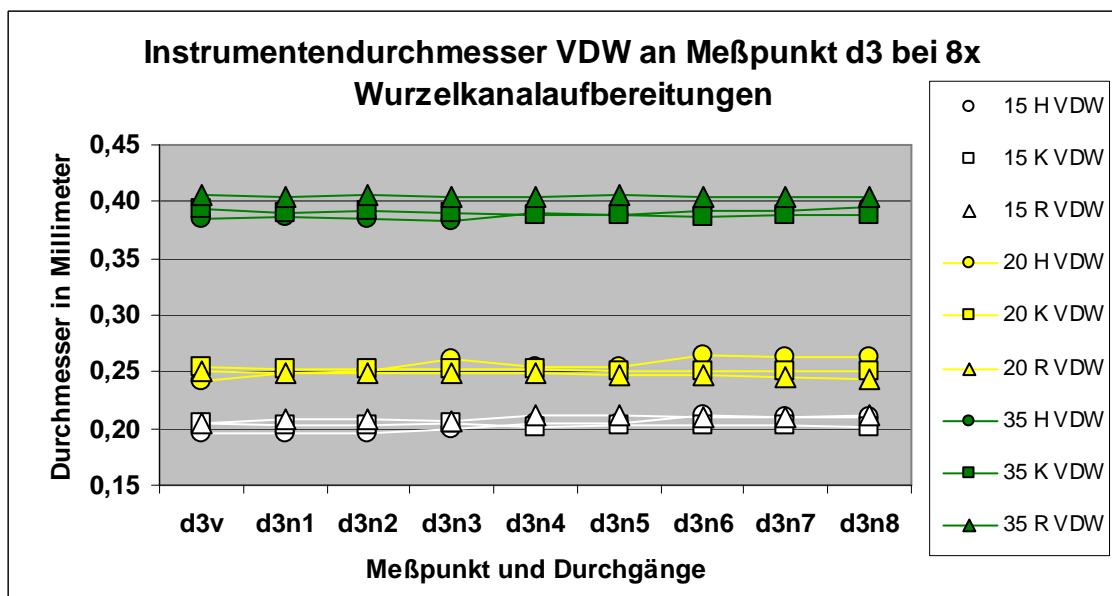
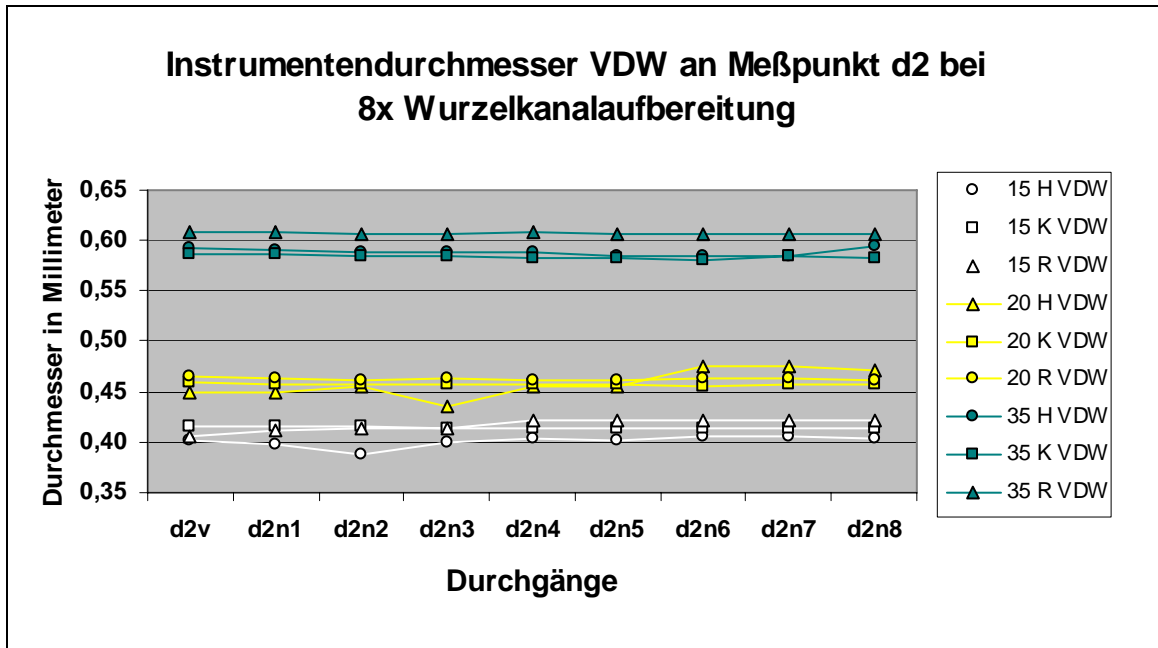


Diagramm 12: Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers VDW bei achtmaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen zu acht verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d3. Die Ordinate zeigt den Instrumentendurchmesser in Millimeter an. d3v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d3 vor Wurzelkanalaufbereitung, d3n1= Messpunkt d3 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n2 = d3 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n3 = d3 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d3n4 = nach viermaliger Aufbereitung, d3n5 = nach fünfmaliger Aufbereitung, d3n6 = nach sechsmaliger Aufbereitung, d3n7 = nach siebenmaliger Aufbereitung, d3n8=nach achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung.

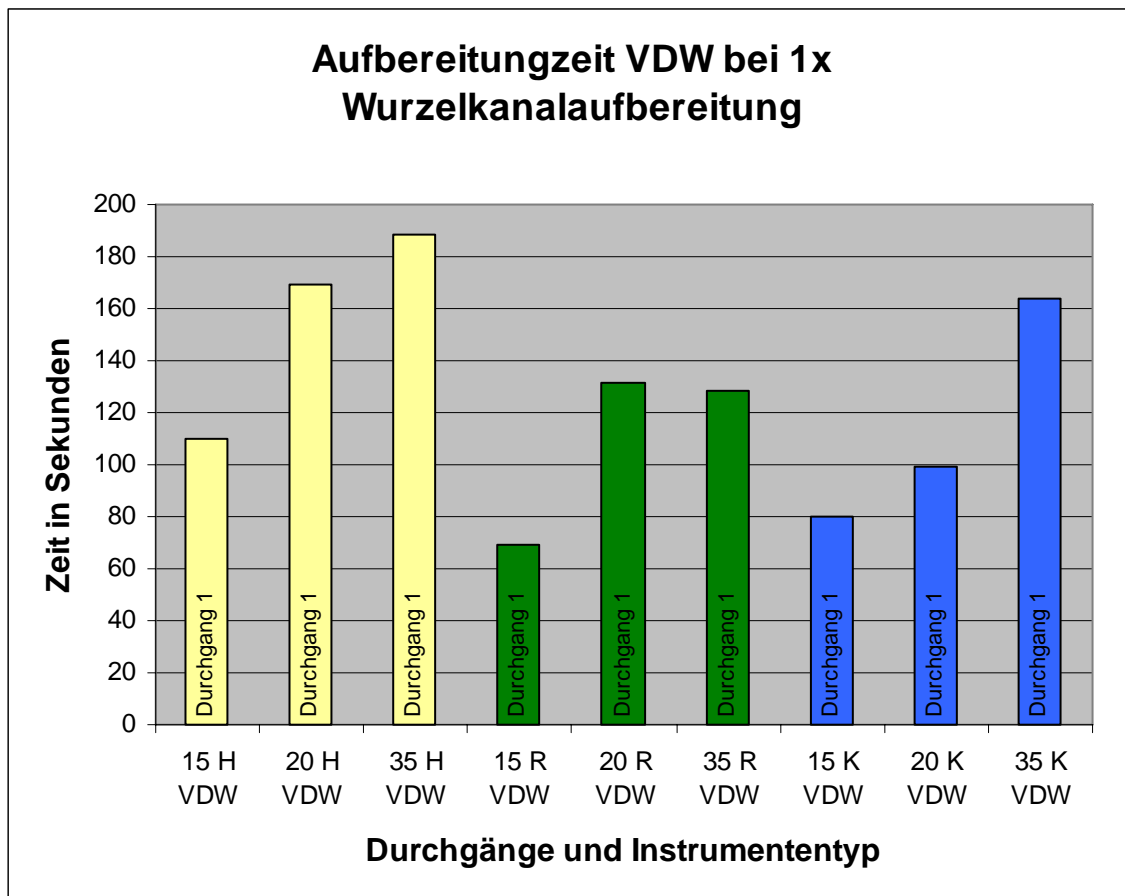


**Diagramm 13:** Ergebnisse der Erfassung des Instrumentendurchmessers d2 VDW bei achtmaliger Aufbereitung. Auf der Abszisse die verschiedenen Instrumententypen und ISO-Größen zu acht verschiedenen Messzeitpunkten in Messposition d2. Die Ordinate zeigt den Instrumentendurchmesser in mm an, d2v = Instrumentendurchmesser an Messpunkt d2 vor Wurzelkanalaufbereitung, d2n1= Messpunkt d2 nach einmaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n2 = d2 vor zweimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n3 = d3 nach dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung, d2n4 = nach viermaliger Aufbereitung, d2n5 = nach fünfmaliger Aufbereitung, d2n6 = nach sechsmaliger Aufbereitung, d2n7 = nach siebenmaliger Aufbereitung, d2n8=nach achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung.

### 4.3 Erfassungen der Aufbereitungszeiten

Die Zeit, in der ein Wurzelkanalinstrument zur Aufbereitung eingesetzt wurde, wurde während der Wurzelkanalbehandlung festgehalten. Ab dem Zeitpunkt, ab dem die untersuchende Feile benutzt wurde, startete die digitale Stoppuhr. War für die Feile die Aufbereitung von mehreren Kanälen vorgesehen, so wurden die Aufbereitungszeiten für alle durchgeführten Aufbereitungen einzeln festgehalten, aber später als Gesamtaufbereitungszeit addiert. Die Aufbereitungszeit wurde in Sekunden gemessen. Diese Messung, die Erfassung der Aufbereitungszeit, wurde an den Instrumenten aller drei untersuchten Hersteller VDW, Micro Méga und FKG und der drei ISO-Größen 15, 20 und 35 vorgenommen.

#### 4.3.1 Serie A : VDW Aufbereitungszeit



**Diagramm 14:** Erfassung der Aufbereitungszeit VDW bei einmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die neun untersuchten Gruppen Hedströmfeile, Reamer und K-Feile in drei ISO-Größen 15, 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

In dem Säulendiagramm 14 sind alle drei Instrumententypen und die ISO-Größen 15, 20 und 35 dargestellt. Sie sind in neun Säulen auf der Abszisse ausgewiesen. Die Hedströmfeilen nahmen im Vergleich zu den anderen Instrumententypen, wie Reamer und K-Feilen, einen hohen Zeitbedarf in Anspruch. Dieser stieg von ISO 15 zu ISO 35 noch an. Die Tendenz der höheren Aufbereitungszeit mit aufsteigender ISO-Größe, traf ebenfalls auf die Reamer und K-Feilen zu.

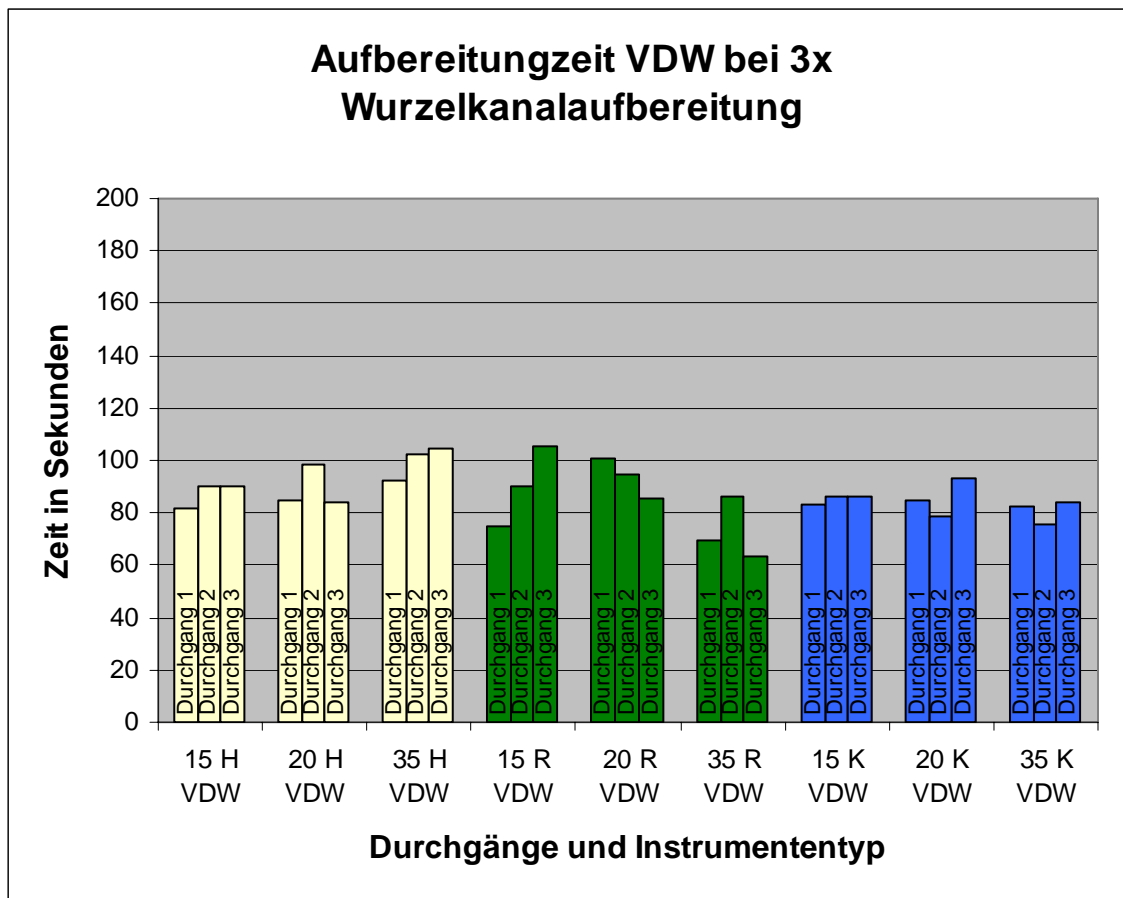
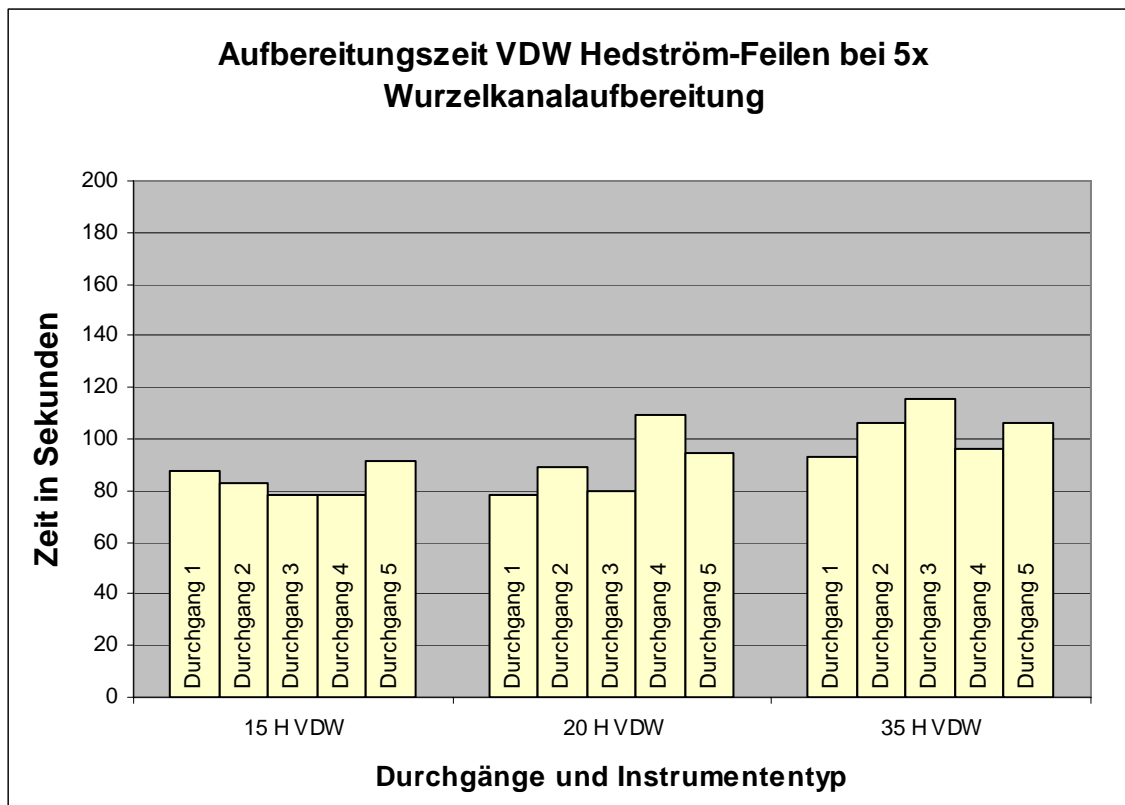


Diagramm 15: Erfassung der Aufbereitungszeit VDW bei dreimaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 15:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit		
Zeitabnahme rot	VDW 3x Durchlauf	Zeitzunahme blau
<b>15H = + 9,88 %</b>	<b>15R = + 41,48 %</b>	<b>15K = + 3,73 %</b>
<b>20H = - 1,29 %</b>	<b>20R = - 15,15 %</b>	<b>20K = + 9,92 %</b>
<b>35H = + 13,16 %</b>	<b>35R = - 8,95 %</b>	<b>35K = + 2,06 %</b>

Im Diagramm 15 sind neben den oben beschriebenen auch die drei Durchläufe als einzelne Säulen aufgeführt. In drei Fällen gab es eine minimale Abnahme der Zeit, alle sechs anderen Instrumente wiesen eine Zeitzunahme auf.

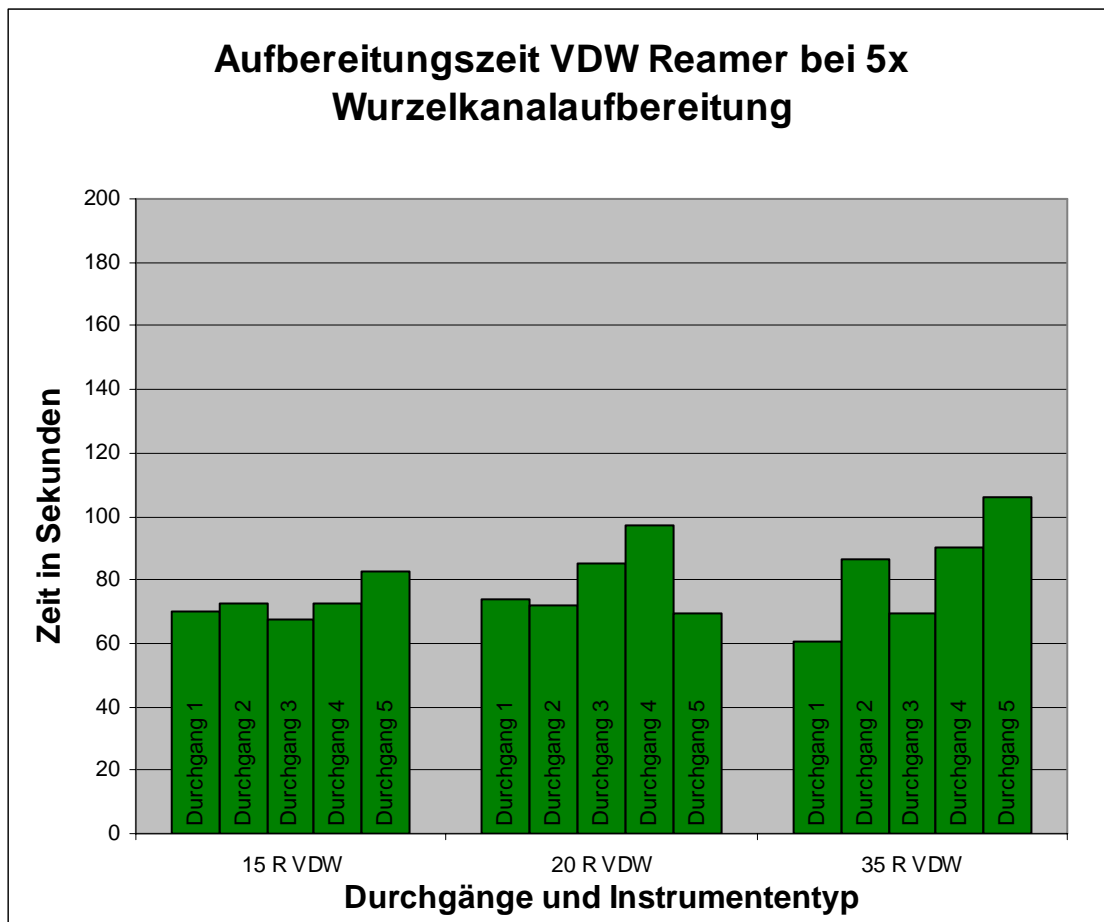


**Diagramm 16:** Erfassung der Aufbereitungszeit der Hedströmfeilen von VDW bei fünfmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 16:

<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit</b>		
<b>Zeitabnahme rot</b>	<b>Hedströmfeilen VDW 5x Durchlauf</b>	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>15H = - 5,43 %</b>	<b>20H = + 18,81 %</b>	<b>35H = + 14,13 %</b>

Das Diagramm 16 zeigt die Hedströmfeilen des Herstellers VDW. Bei der ISO 15 gab es eine prozentuale Abnahme des Zeitbedarfs von -5,43%. Die beiden anderen ISO-Größen hingegen, wiesen eine leichte Zunahme auf.

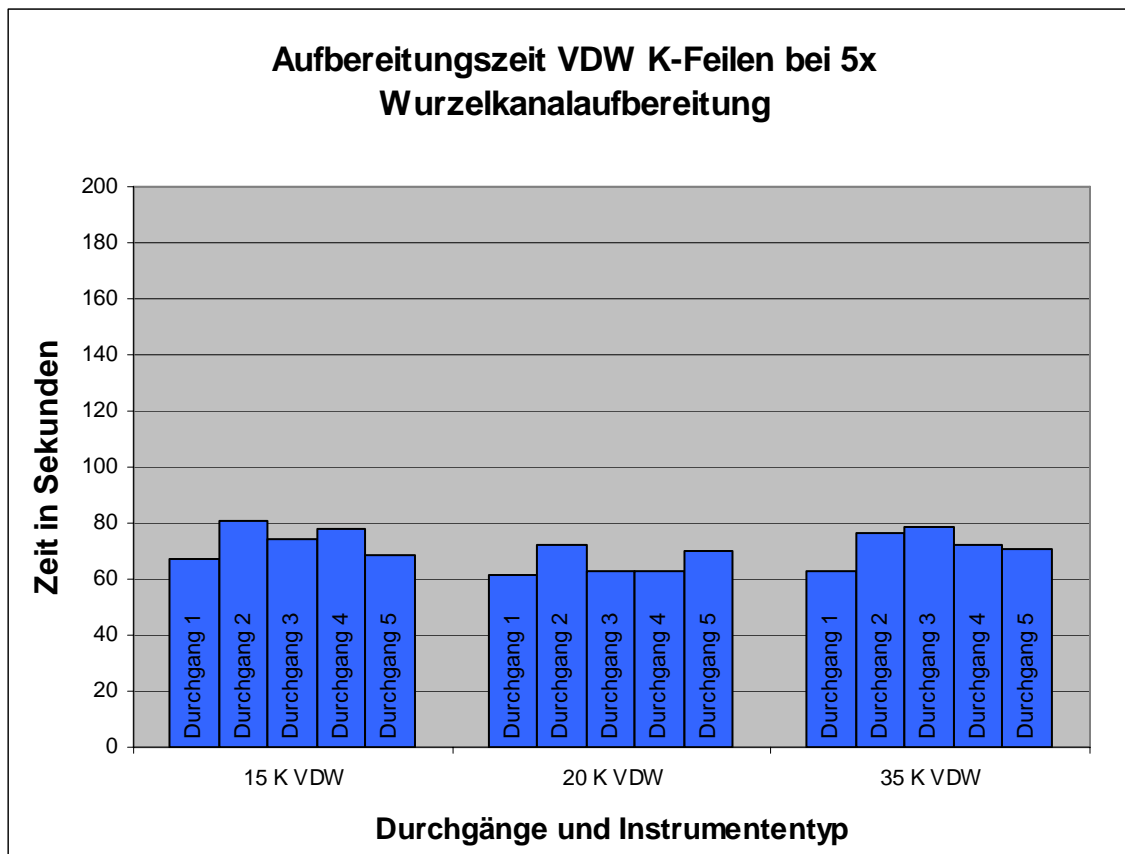


**Diagramm 17:** Erfassung der Aufbereitungszeit der Reamer von VDW bei fünfmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 17:

<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit</b>		
<b>Zeitabnahme rot</b>	<b>Reamer VDW 5x Durchlauf</b>	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>15R = + 5,73 %</b>	<b>20R = + 9,40 %</b>	<b>35R = + 45,42 %</b>

Das Diagramm 17 zeigt die fünfmalige Aufbereitung der VDW Reamer in drei ISO-Größen 15, 20 und 35. Die Reamer der ISO-Größe 15 zeigen mit 5,73% eine leichte Zunahme, ebenso die Reamer der ISO-Größe 20 mit 9,40% und jene der ISO 35 mit 45,42%.

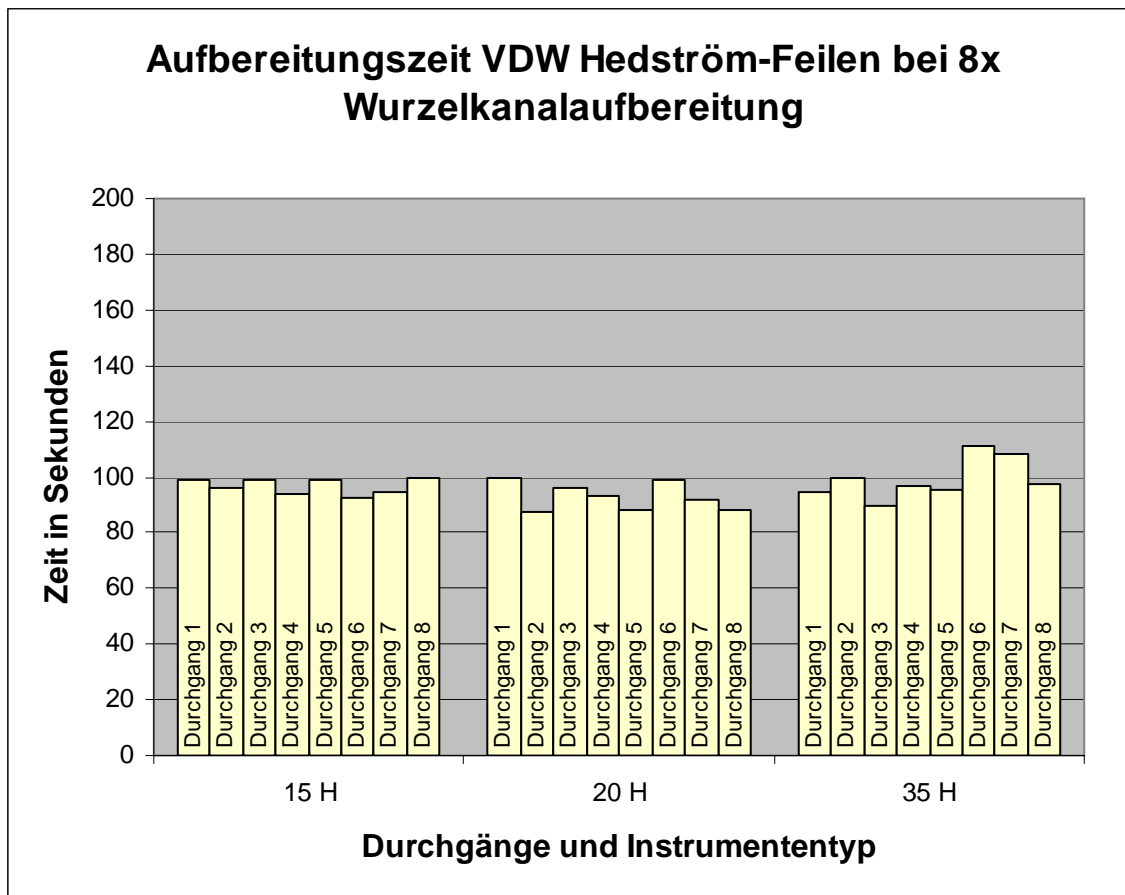


**Diagramm 18:** Erfassung der Aufbereitungszeit der K-Feilen von VDW bei fünfmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 18:

<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit</b>		
<b>Zeitabnahme rot</b>	<b>K-Feilen VDW 5x Durchlauf</b>	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>15K = + 12,89 %</b>	<b>20K = + 8,51 %</b>	<b>35K = + 19,09 %</b>

Die VDW-K-Feilen sind im Diagramm 18 aufgeführt. Alle drei Größen zeigten eine leichte Zeitzunahme.



**Diagramm 19:** Erfassung der Aufbereitungszeit der Hedströmfeilen von VDW bei achtmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 19:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit		
Zeitabnahme rot	Hedströmfeilen VDW 8x Durchlauf	Zeitzunahme blau
15H = + 2,35 %	20H = - 7,42 %	35H = + 5,65 %



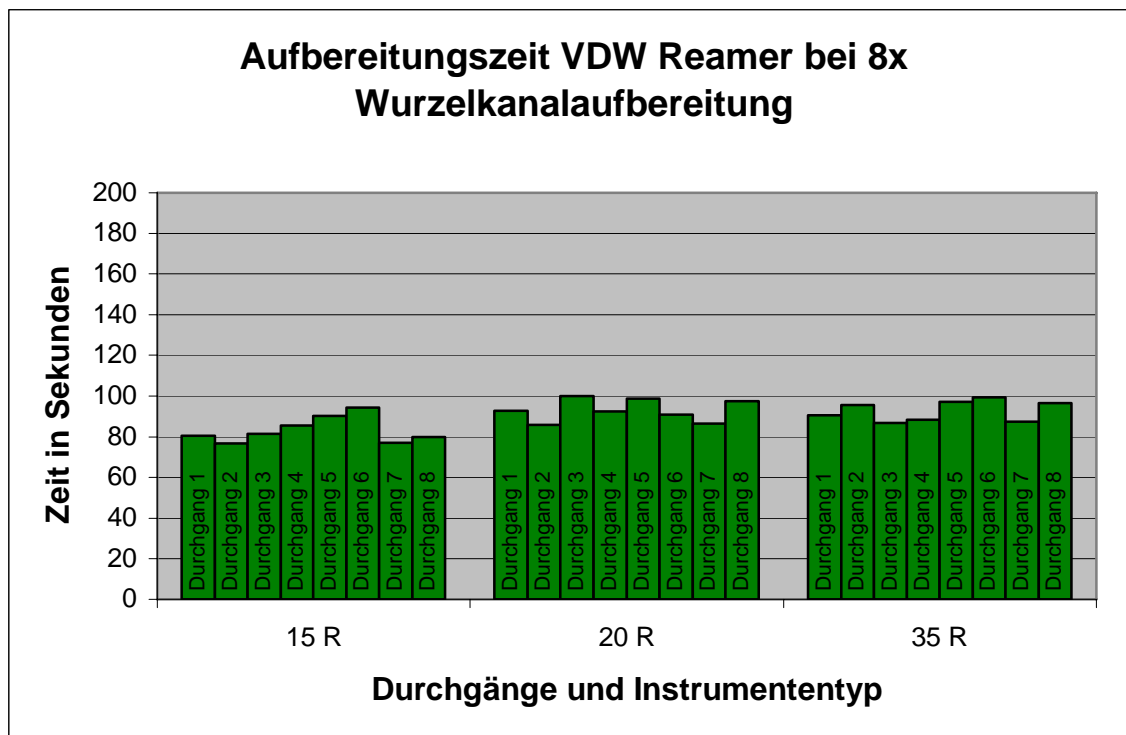
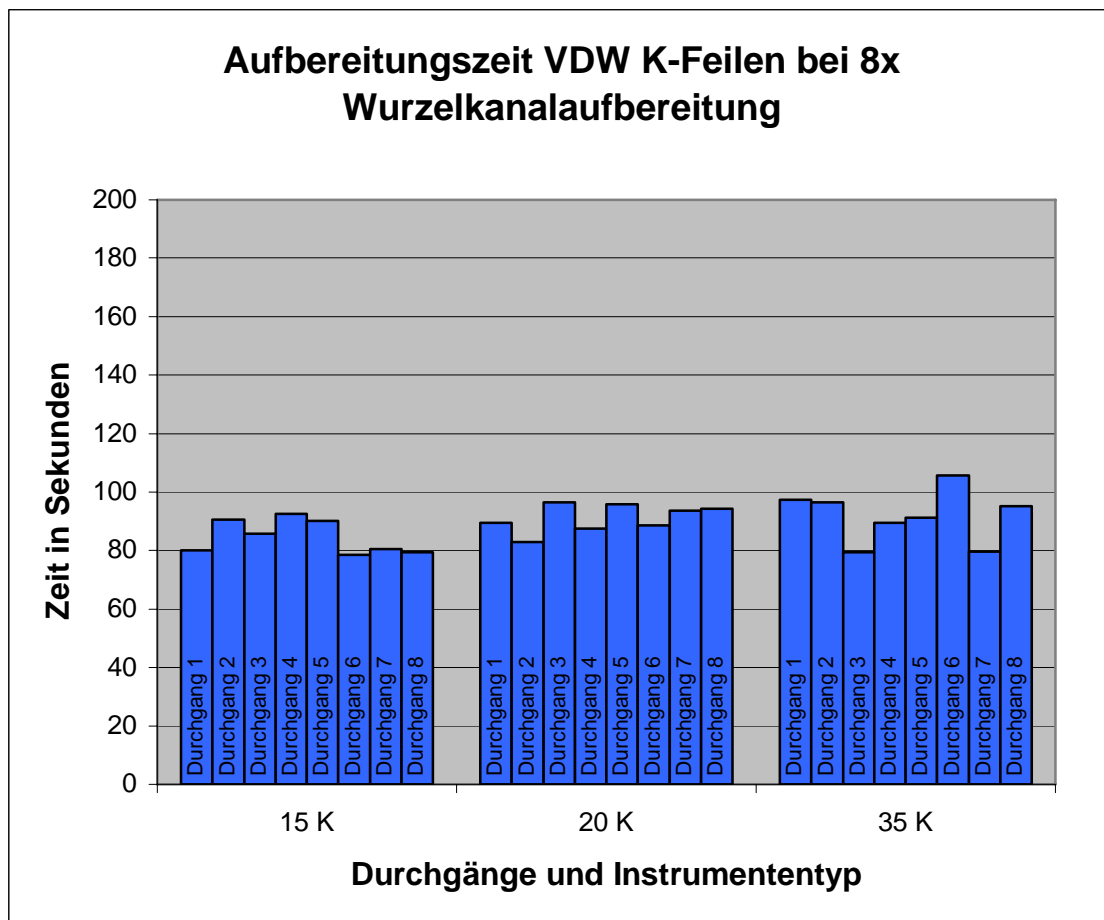


Diagramm 20: Erfassung der Aufbereitungszeit der Reamer von VDW bei achtmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 20:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit		
Zeitabnahme rot	Reamer VDW 8x Durchlauf	Zeitzunahme blau
15R = + 3,73 %	20R = + 0,35 %	35R = + 2,79 %

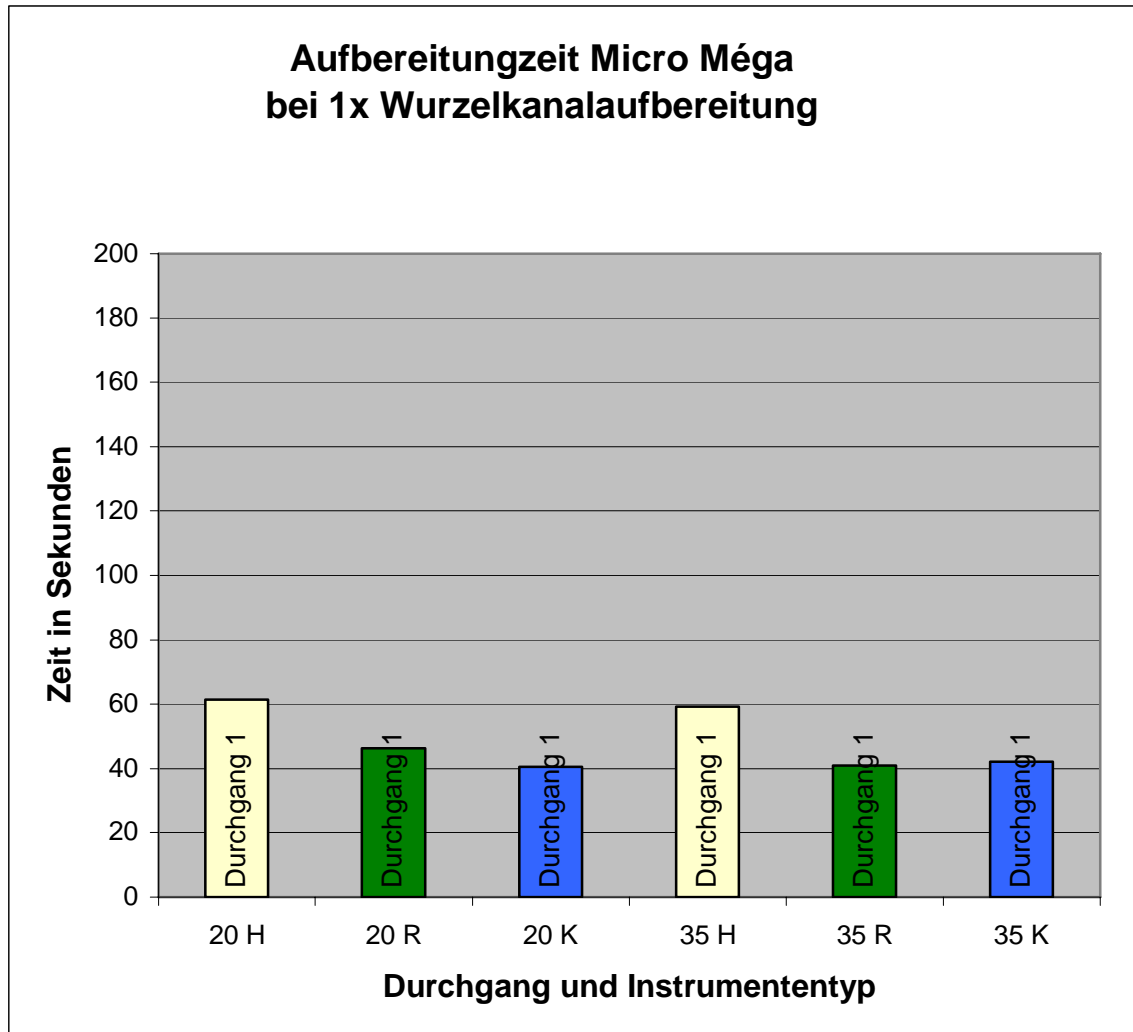


**Diagramm 21:** Erfassung der Aufbereitungszeit der K-Feilen von VDW bei achtmaliger Aufbereitung. Die Abszisse zeigt die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen und die Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 21:

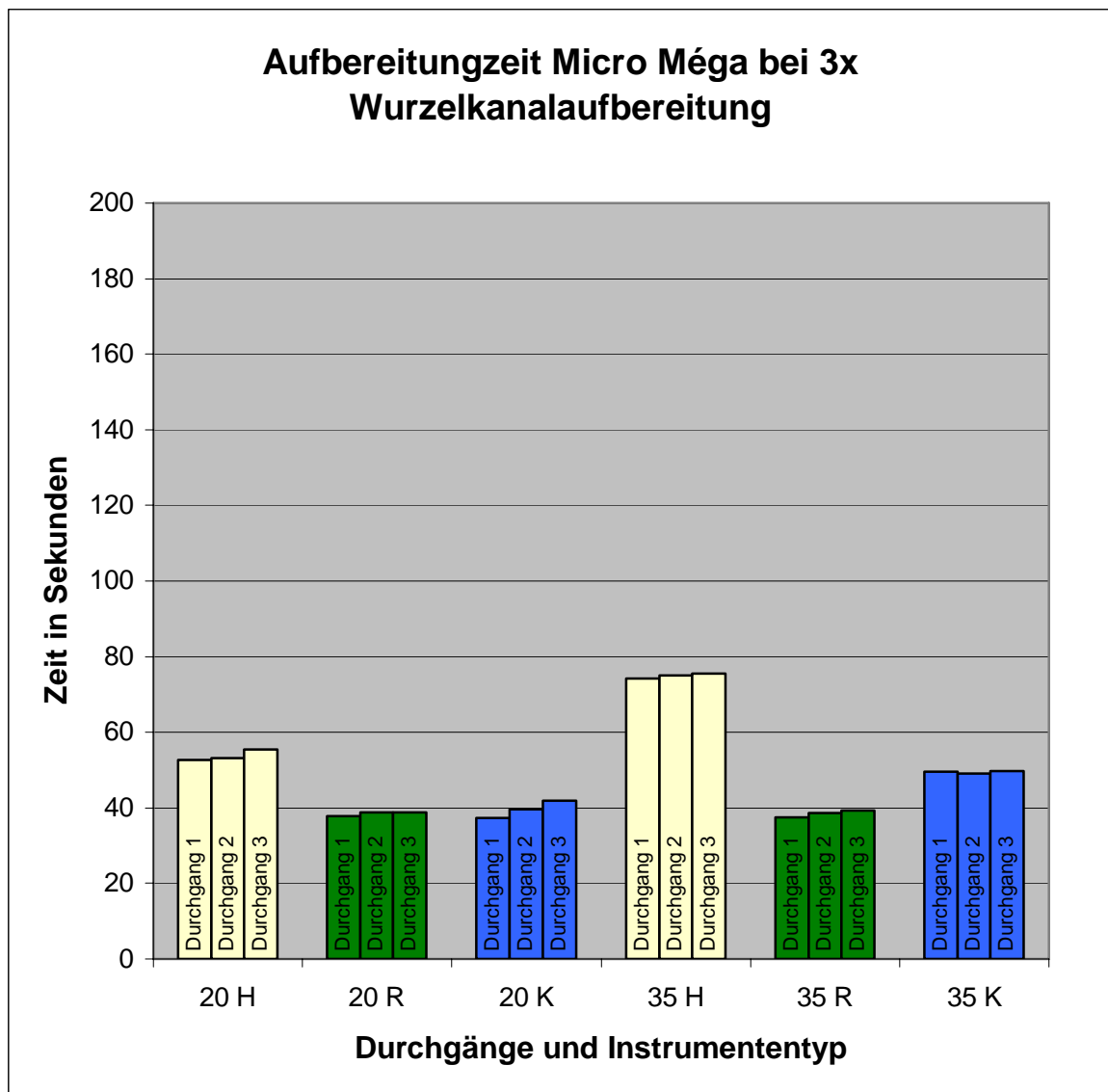
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit		
<b>Zeitabnahme rot</b>	K-Feilen VDW 8x Durchlauf	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>15K = + 6,69 %</b>	<b>20K = + 2,08 %</b>	<b>35K = - 6,46 %</b>

#### 4.3.2 Serie B : Micro Méga Aufbereitungszeit



**Diagramm 22:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei einmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die sechs untersuchten Gruppen Hedströmfeile, Reamer und K-Feile in zwei ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

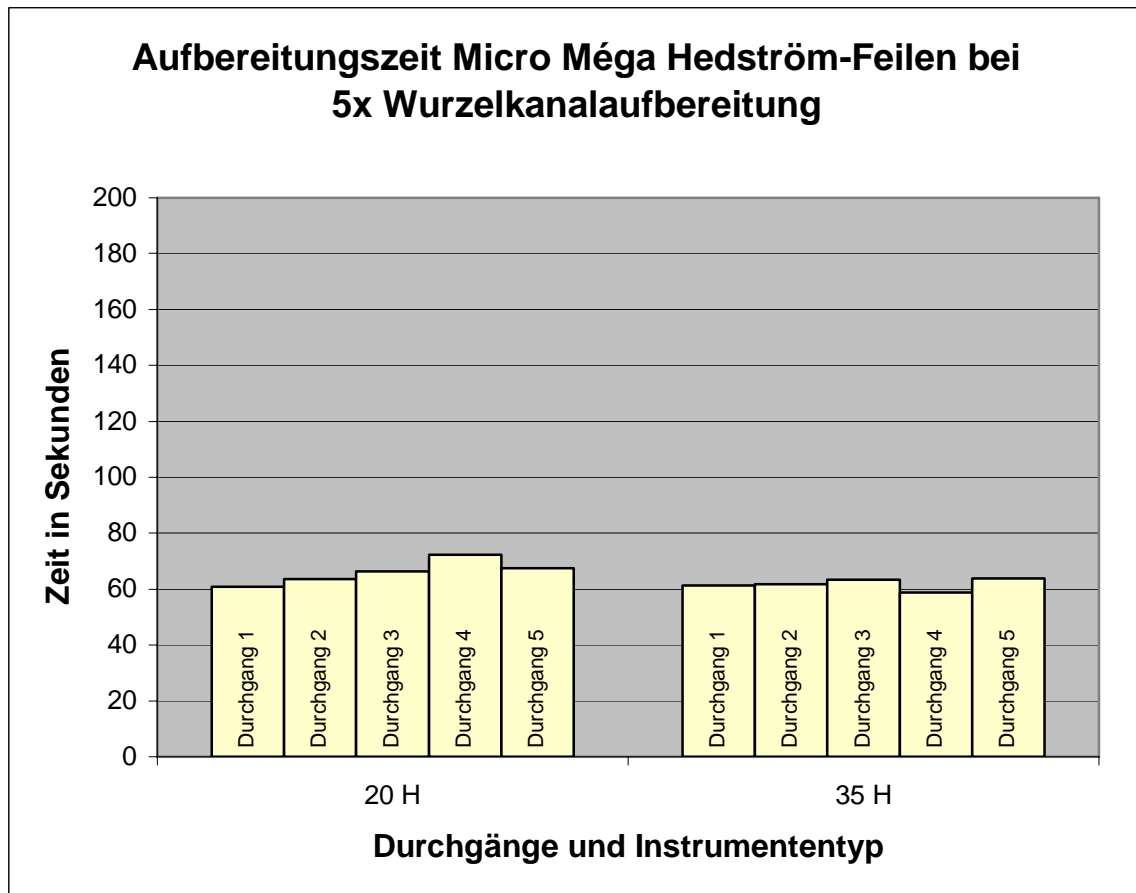
Das Diagramm 22 zeigt alle drei Instrumententypen und zwei ISO-Größen 20 und 35 nebeneinander. Bei einmaliger Aufbereitung zeigen sich kaum Auffälligkeiten, mit Ausnahme der Hedströmfeilen. Sowohl die der ISO-Größe 20 als auch die, der ISO-Größe 35 nehmen gegenüber den anderen Instrumenten die meiste Zeit in Anspruch.



**Diagramm 23:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse die Hedströmfeilen, Reamer und K-Feile in zwei ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

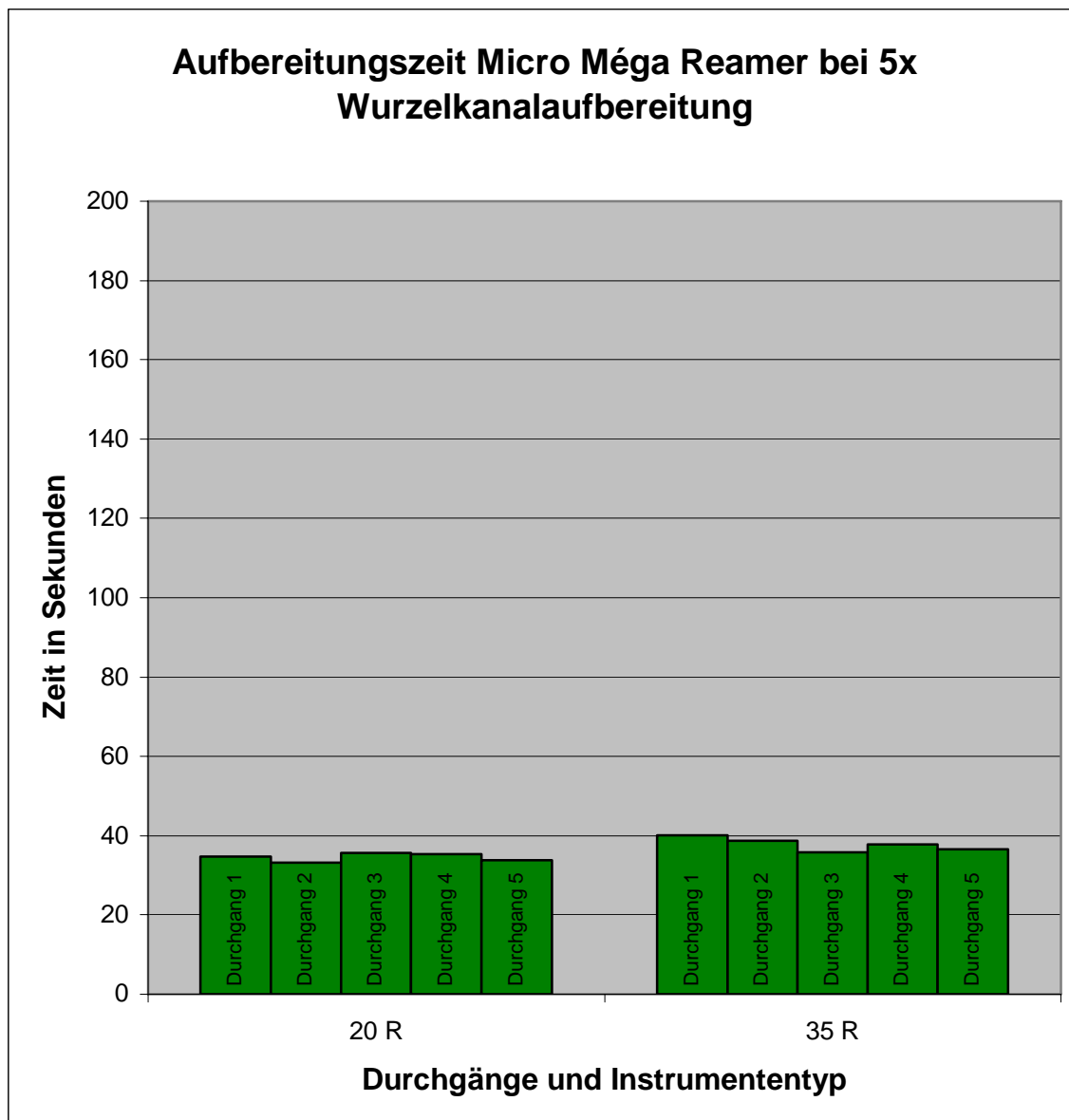
Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 23:

<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit</b>		
<b>Zeitabnahme rot</b>	<b>Micro Méga 3x Durchlauf</b>	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>20H = + 3,04 %</b>	<b>20R = + 2,51 %</b>	<b>20K = + 9,25 %</b>
<b>35H = + 1,55 %</b>	<b>35R = + 3,72 %</b>	<b>35K = - 0,30 %</b>



**Diagramm 24:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die Hedströmfeilen in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
 Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 24:

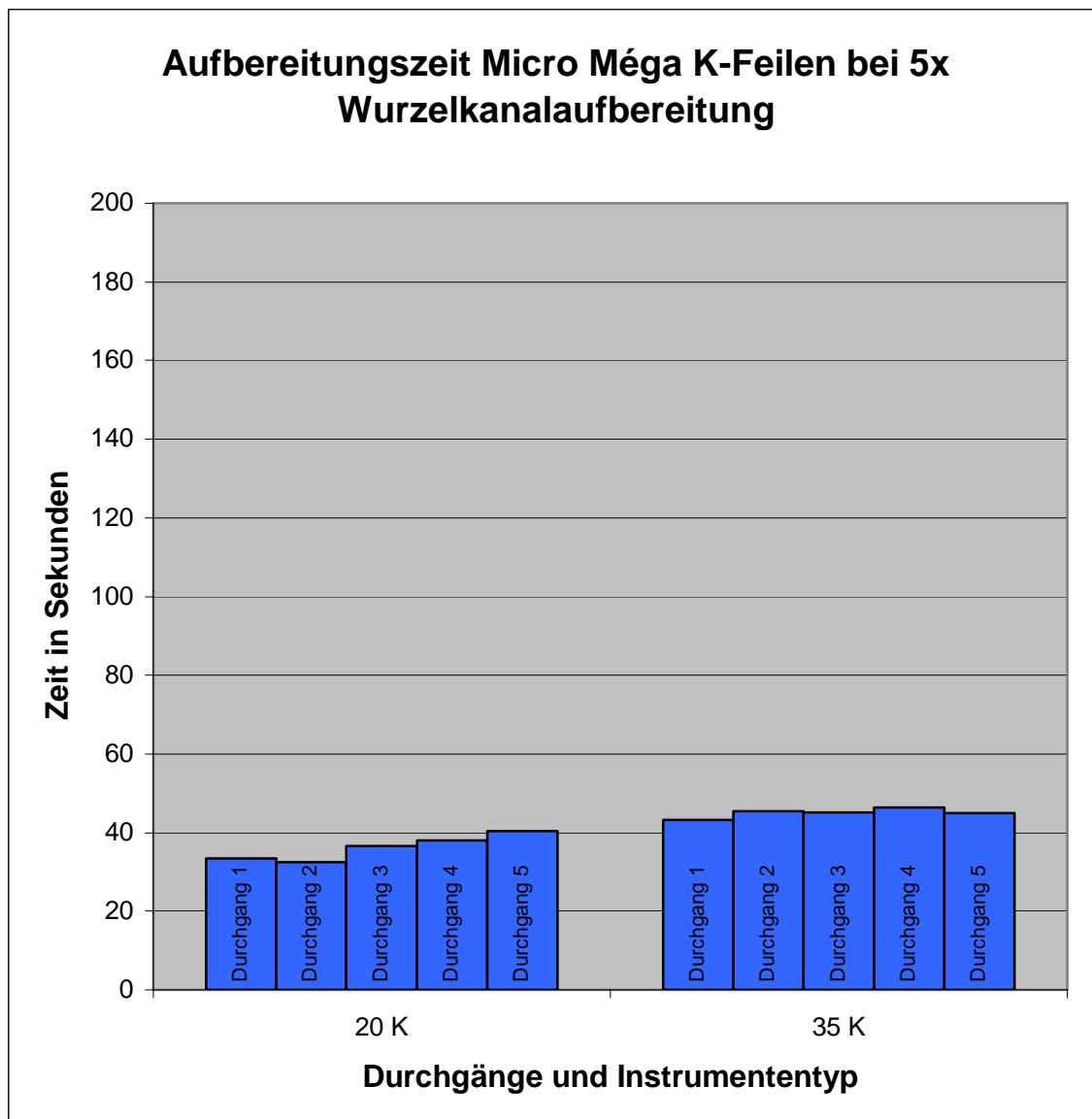
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Hedströmfeilen Micro Méga 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20H= + 10,98 %	35H= + 0,90 %



**Diagramm 25:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die Reamer in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 25:

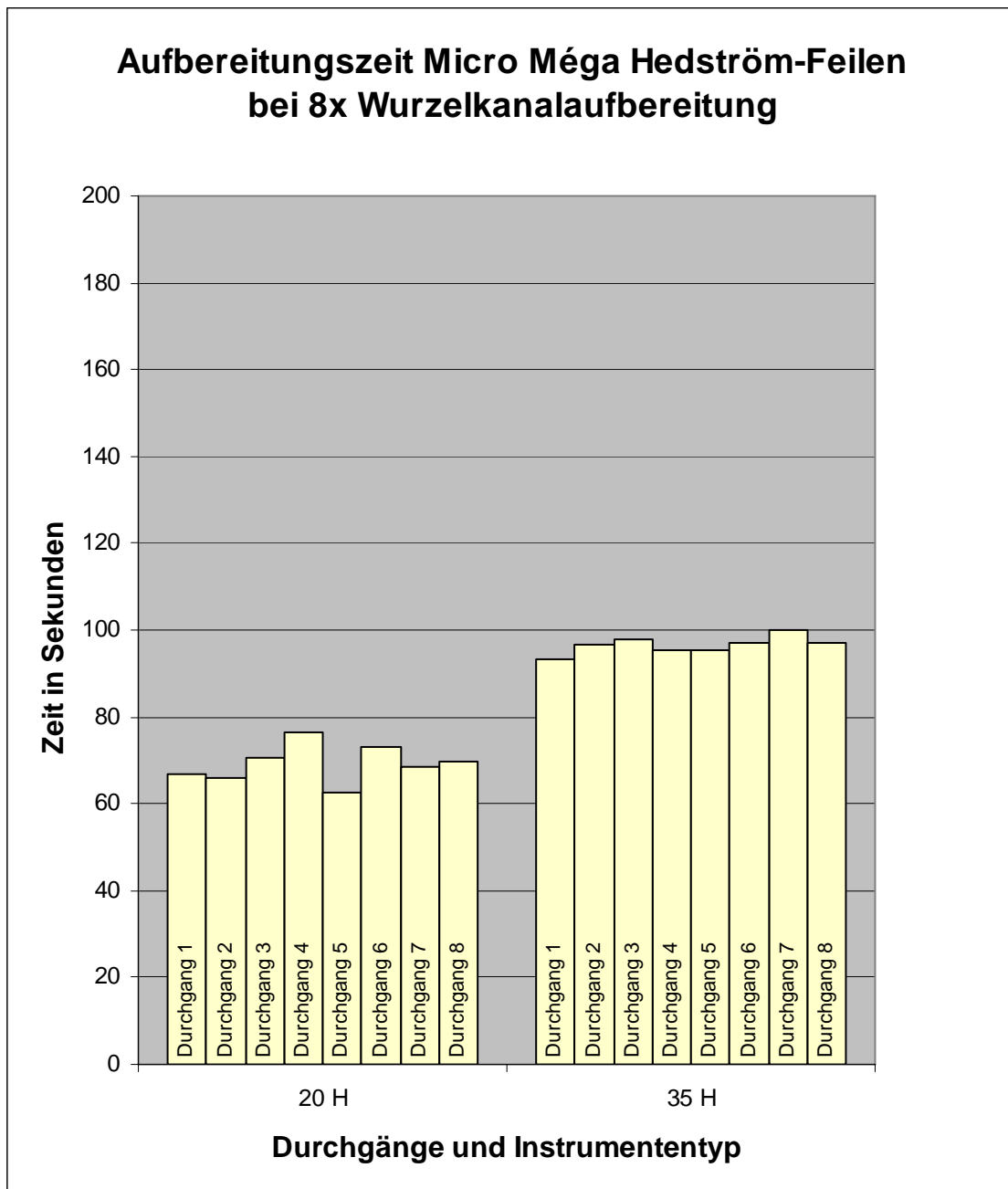
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Reamer Micro Méga 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20R= - 0,79 %	35R= - 6,98 %



**Diagramm 26:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die K-Feilen in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 26:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit K-Feilen Micro Méga 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20K= + 10,07 %	35K= + 5,32 %

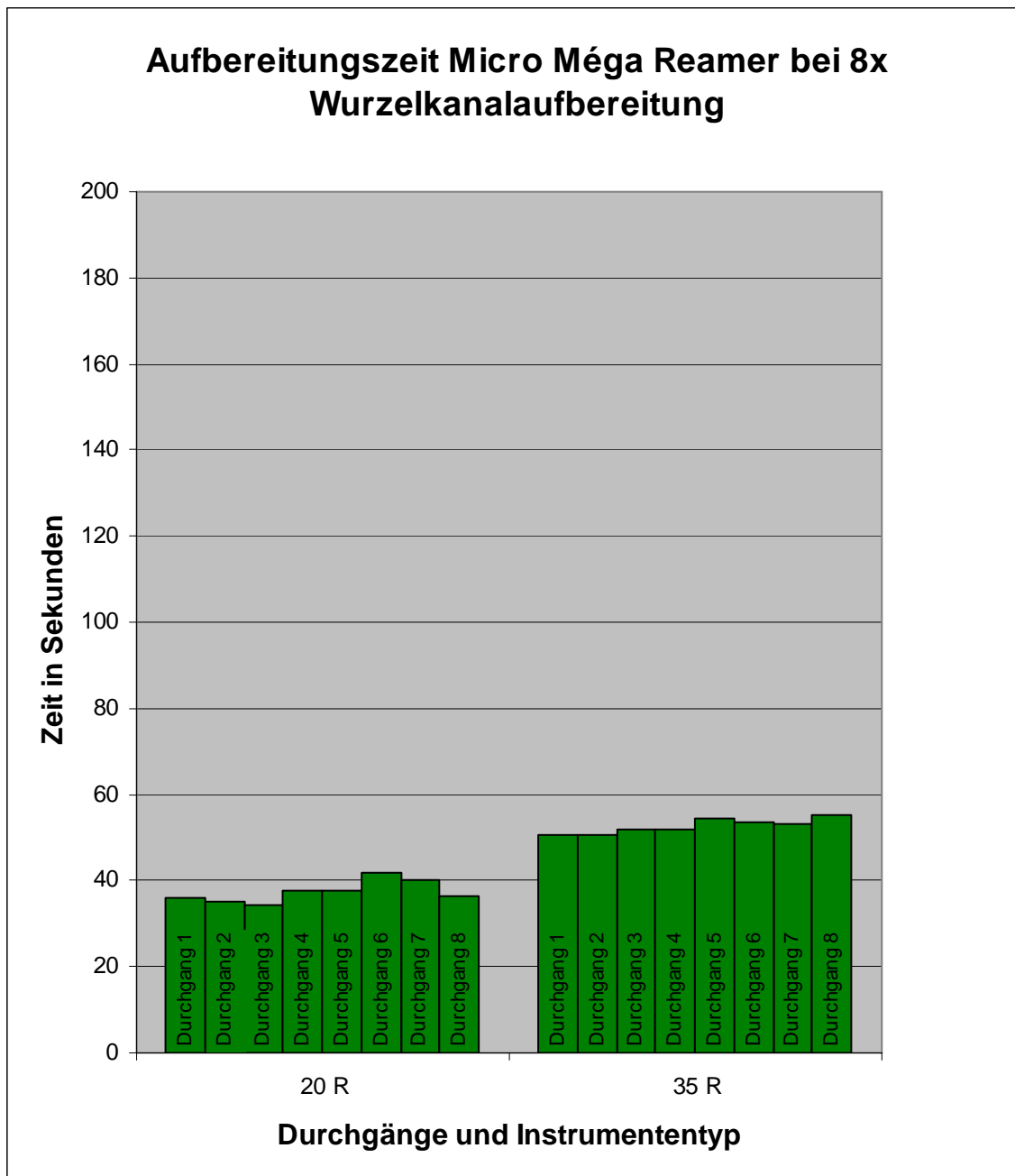


**Diagramm 27:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der Hedströmfeilen dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 27:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Hedströmfeilen Micro Méga 8x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20H= + 3,77 %	35H= + 4,31 %

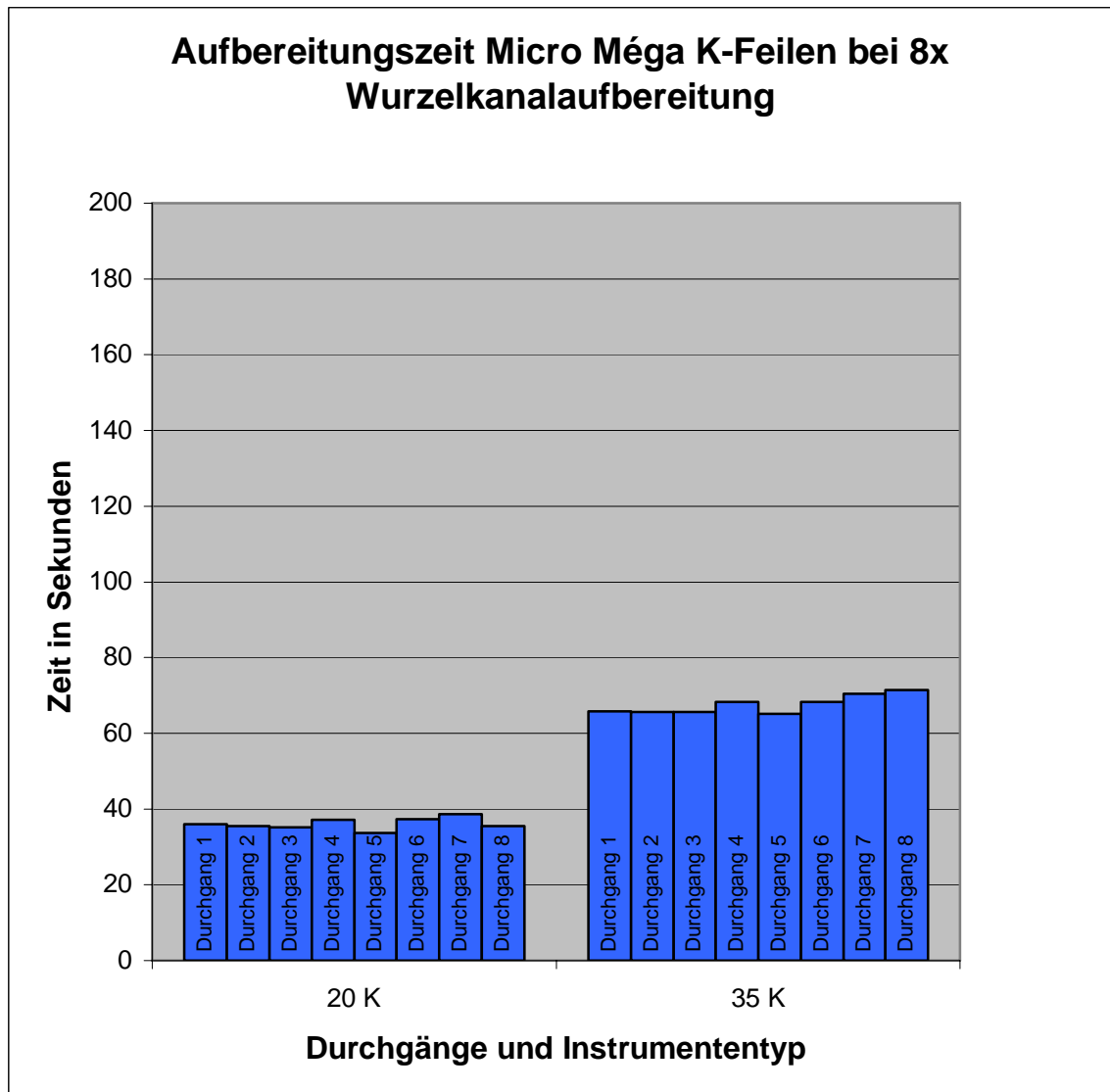




**Diagramm 28:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der Reamer dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 28.

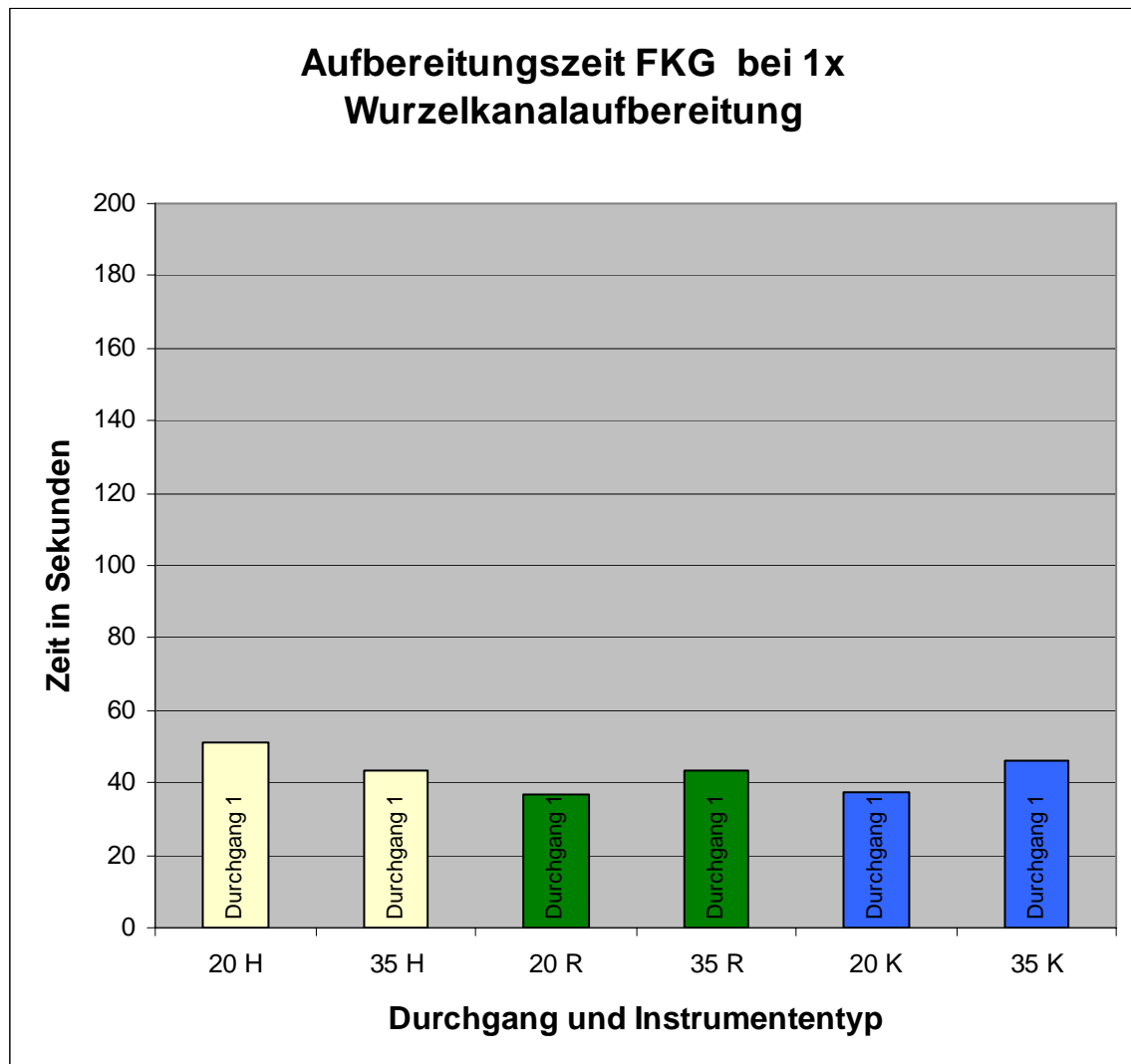
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Reamer Micro Méga 8x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
<b>20R= + 4,04 %</b>	<b>35R= + 5,01 %</b>



**Diagramm 29:** Erfassung der Aufbereitungszeit Micro Méga bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der K-Feilen dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
 Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 29:

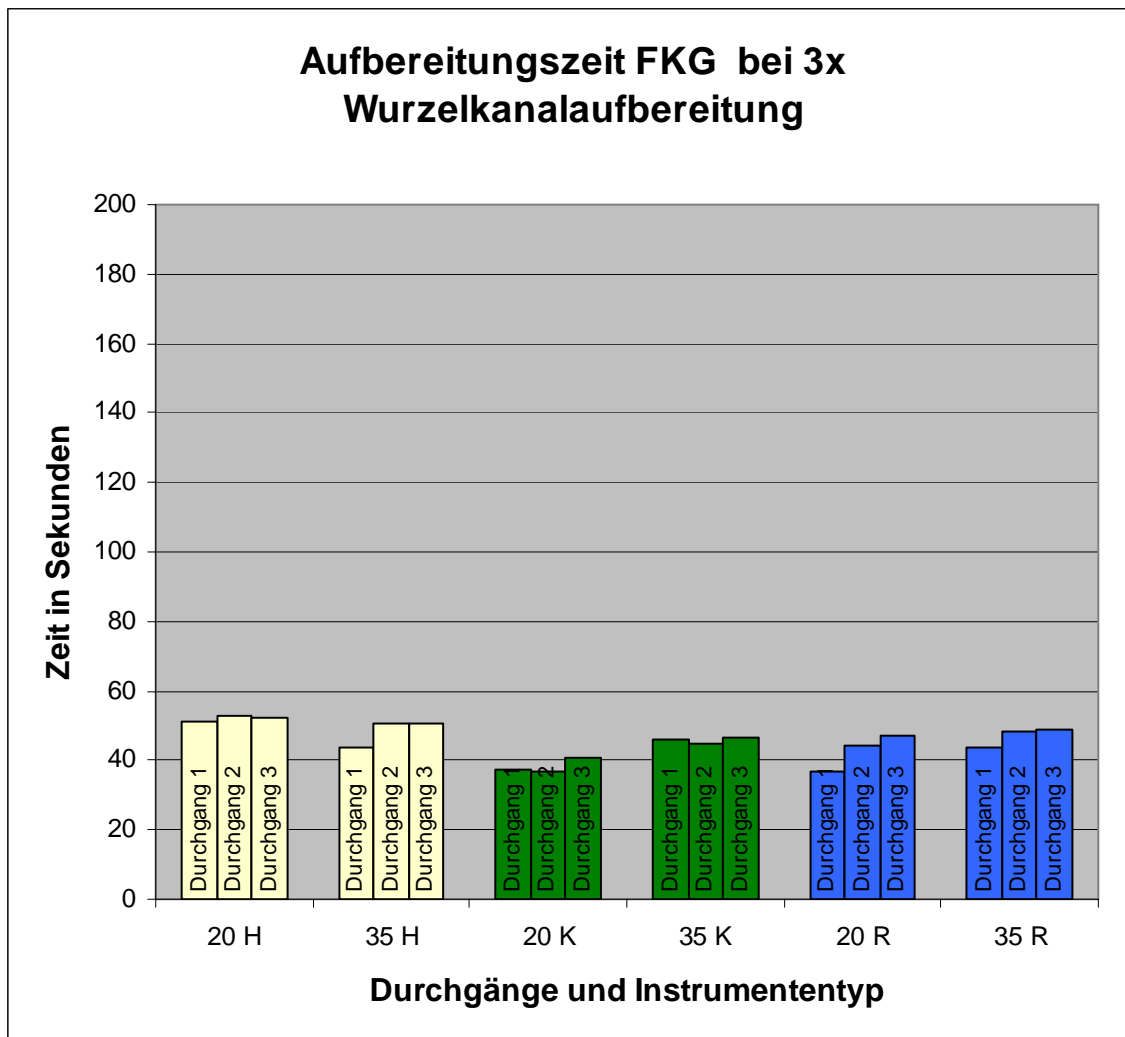
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit K-Feilen Micro Méga 8x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
<b>20K= + 0,28 %</b>	<b>35K= + 3,01 %</b>

#### 4.3.3 Serie C : FKG Aufbereitungszeit



**Diagramm 30: Erfassung der Aufbereitungszeit FKG bei einmaliger Wurzelkanalaufbereitung.** Auf der Abszisse sind die sechs untersuchten Gruppen Hedströmfeile, Reamer und K-Feile in zwei ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

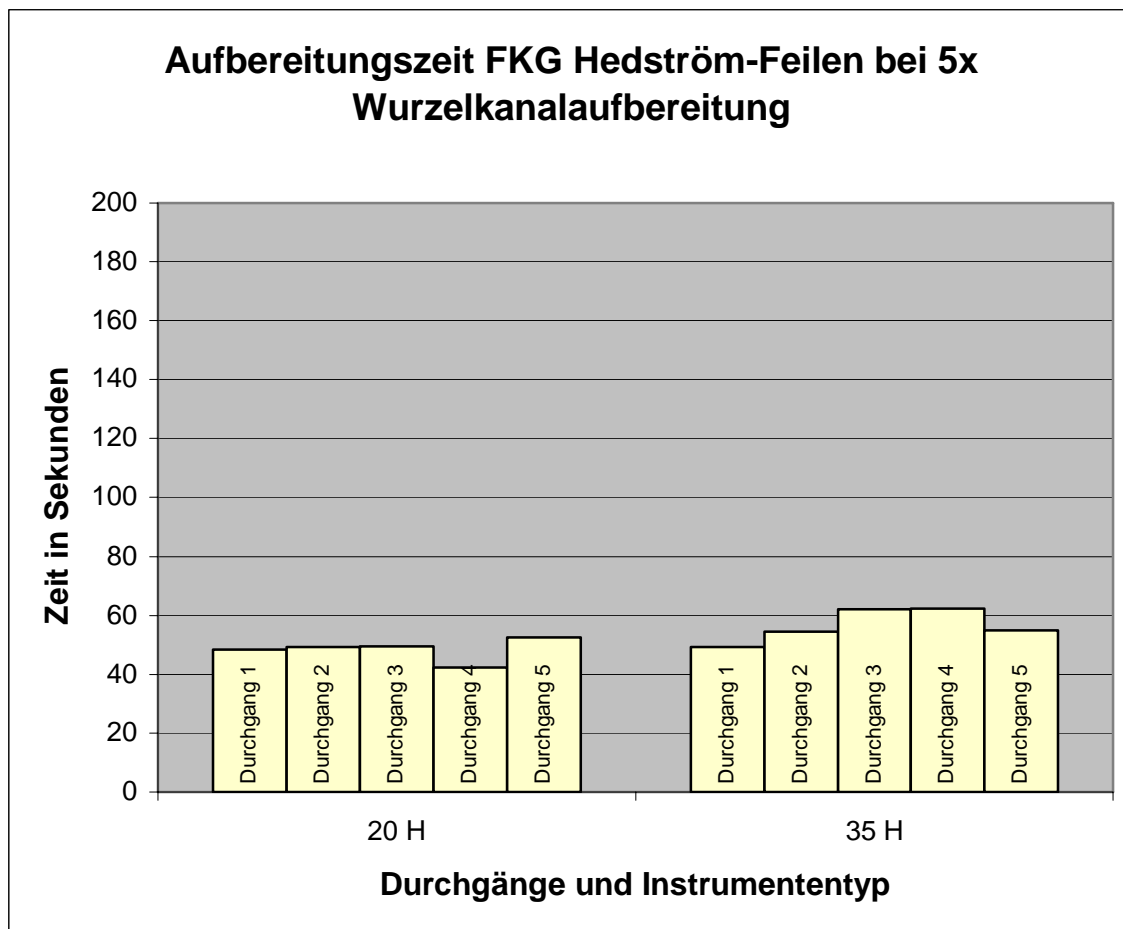
Das Säulendiagramm 30 zeigt alle drei FKG Instrumententypen mit den jeweils mittleren Aufbereitungszeiten. Sie sind in den beiden untersuchten ISO-Größen 35 und 20 auf der Ordinate dargestellt. Die Abszisse zeigt die Zeit der Wurzelkanalaufbereitung in Sekunden. Alle sechs Instrumente finden sich in etwa in der gleichen zeitlichen Größenordnung ein; diese liegt in etwa bei 40 Sekunden. Größere Abweichungen gibt es nicht.



**Diagramm 31:** Erfassung der Aufbereitungszeit FKG bei dreimaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die sechs untersuchten Gruppen Hedströmfeile, Reamer und K-Feile in zwei ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden. Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 31:

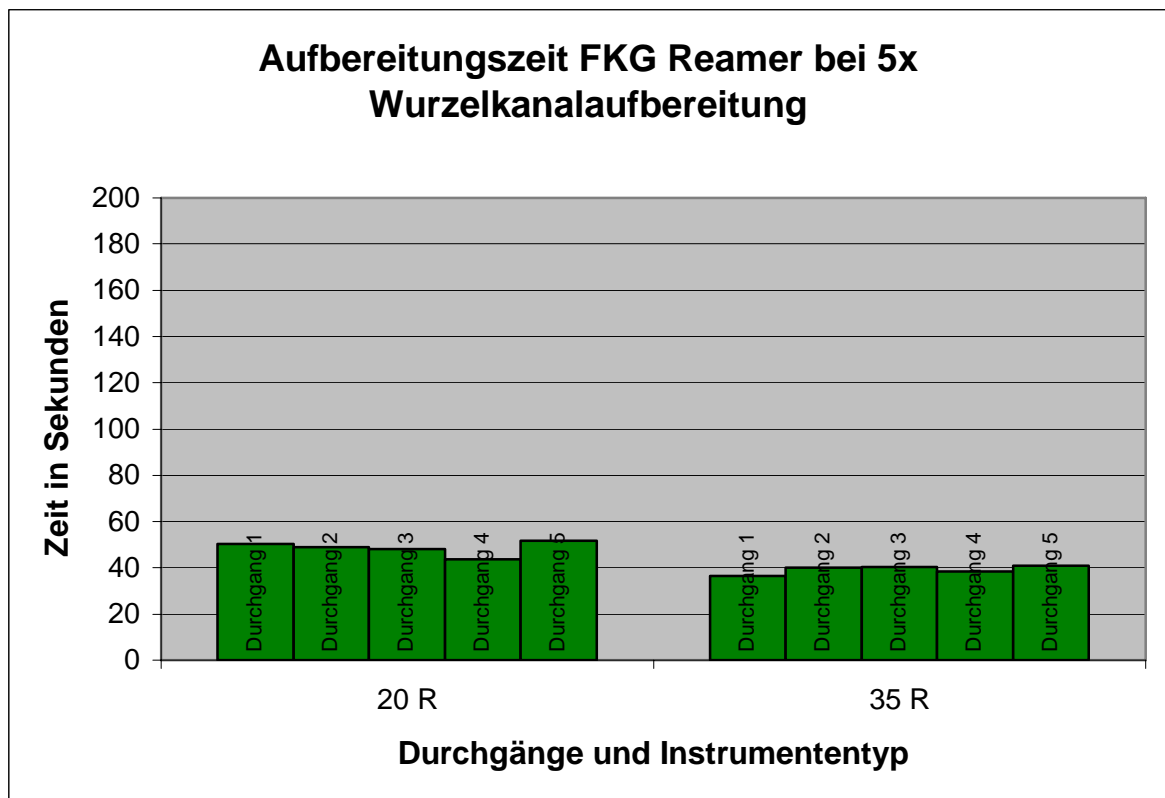
<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit</b>		
<b>Zeitabnahme rot</b>	<b>FKG 3x Durchlauf</b>	<b>Zeitzunahme blau</b>
<b>20H = + 2,93 %</b>	<b>20R = + 3,78 %</b>	<b>20K = + 25,23 %</b>
<b>35H = + 16,09 %</b>	<b>35R = - 0,73 %</b>	<b>35K = + 10,69 %</b>

Das Diagramm 31 führt alle sechs Instrumentengruppen zusammen auf. Es zeigten sich generell leichte Schwankungen im zeitlichen Wert innerhalb der Durchläufe, und zwar unabhängig vom Instrumententyp. Zumeist lag eine leichte Steigerung der Aufbereitungszeit vor.



**Diagramm 32:** Erfassung der Aufbereitungszeit Hedströmfeilen bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die Hedströmfeilen in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 32:

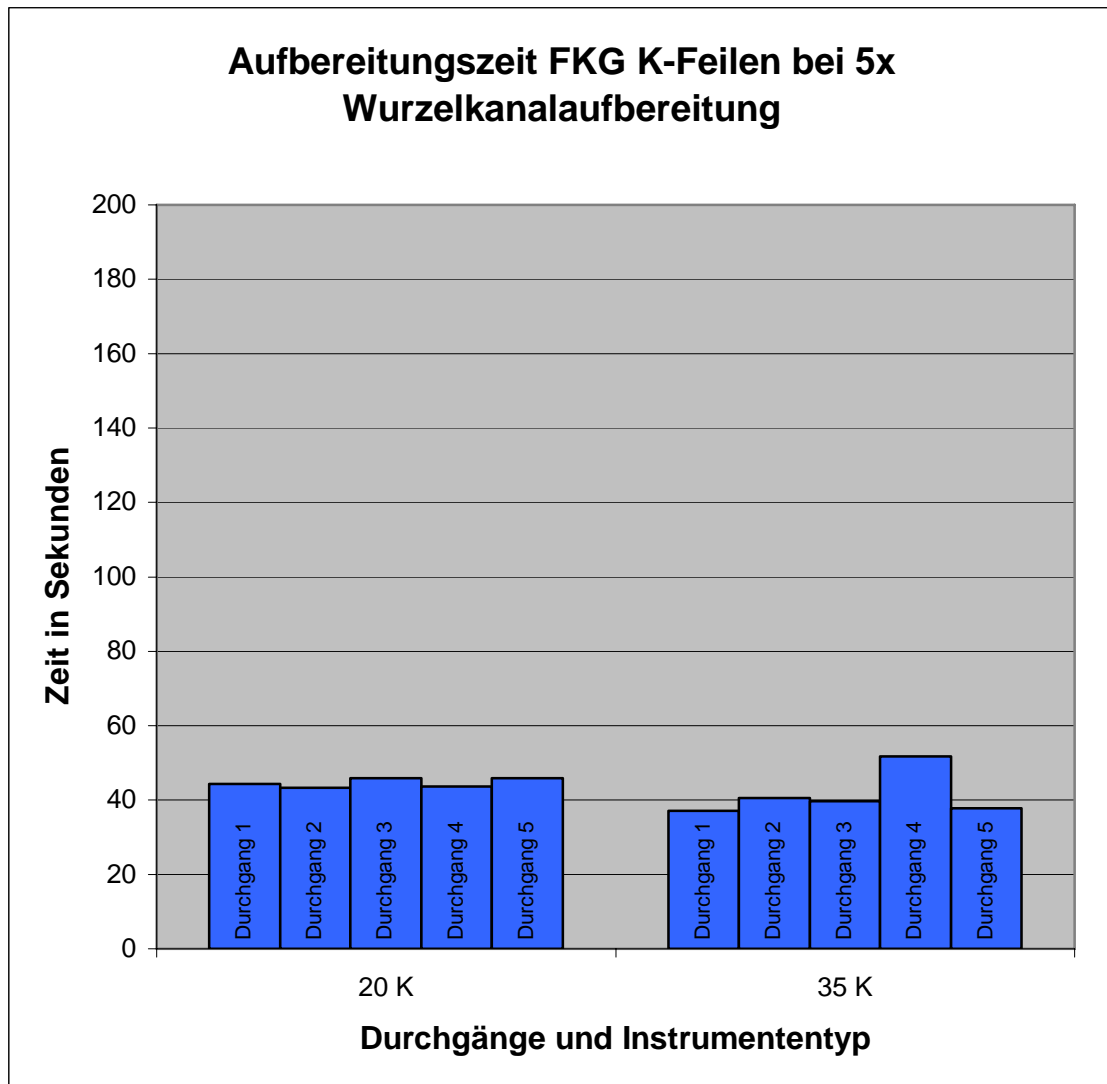
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Hedströmfeilen FKG 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20H= + 0,17 %	35H= + 18,58 %



**Diagramm 33:** Erfassung der Aufbereitungszeit der FKG Reamer bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die Reamer in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden. Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 33:

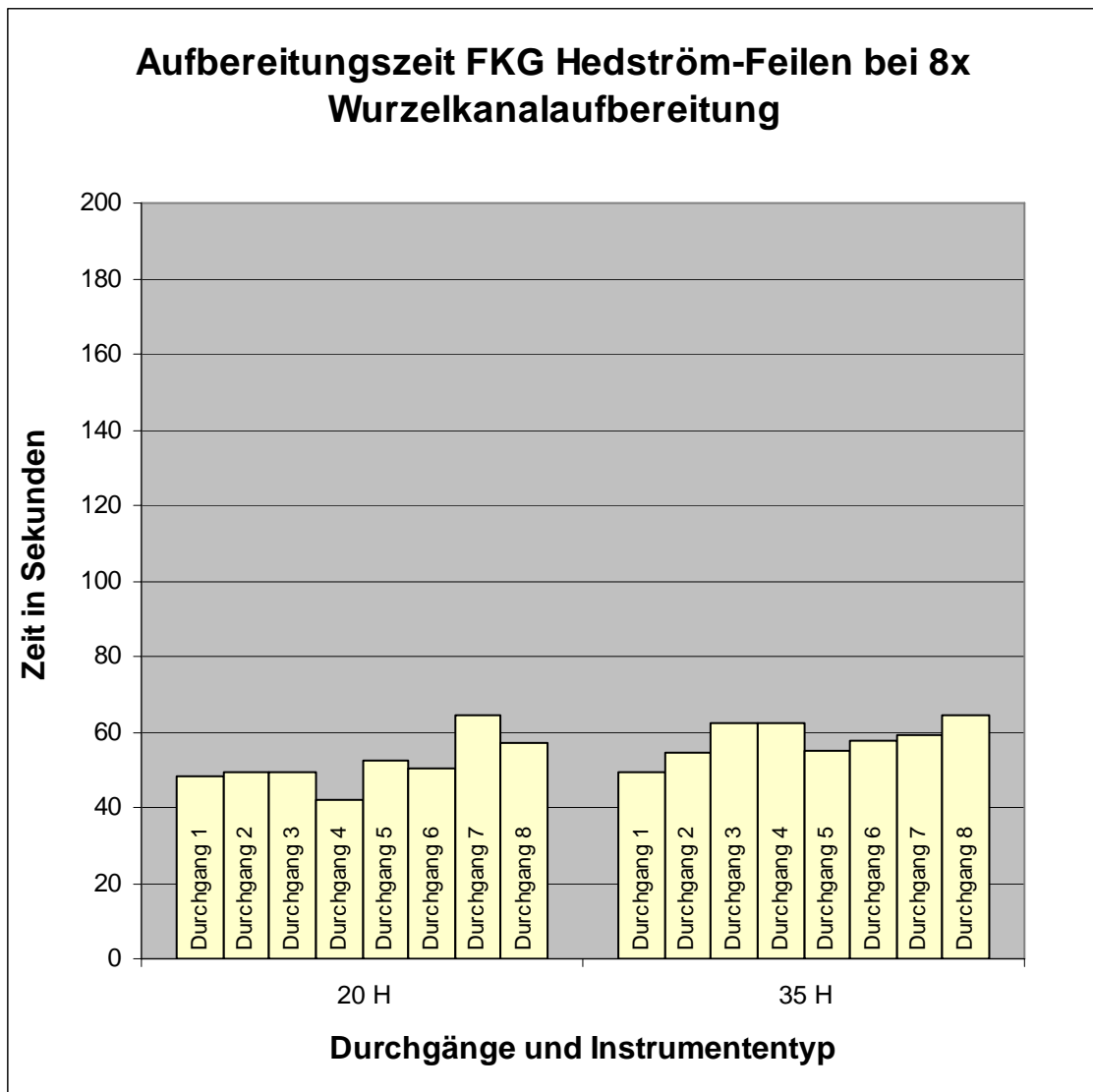
Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Reamer FKG 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20R= -4,47 %	35R= +9,59 %

Im Diagramm 33 ist zu erkennen, dass die ISO-Größe 20 eine leichte Zeitersparnis von etwa 5% aufwies. Die Reamer der ISO-Größe 35 bewirkten hingegen eine leichte Zunahme von etwa 10%.



**Diagramm 34:** Erfassung der Aufbereitungszeit K-Feilen bei fünfmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die K-Feilen in den ISO-Größen 20 und 35 dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
 Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 34:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit K-Feilen FKG 5x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
<b>20K= + 0,75 %</b>	<b>35K= + 14,24 %</b>

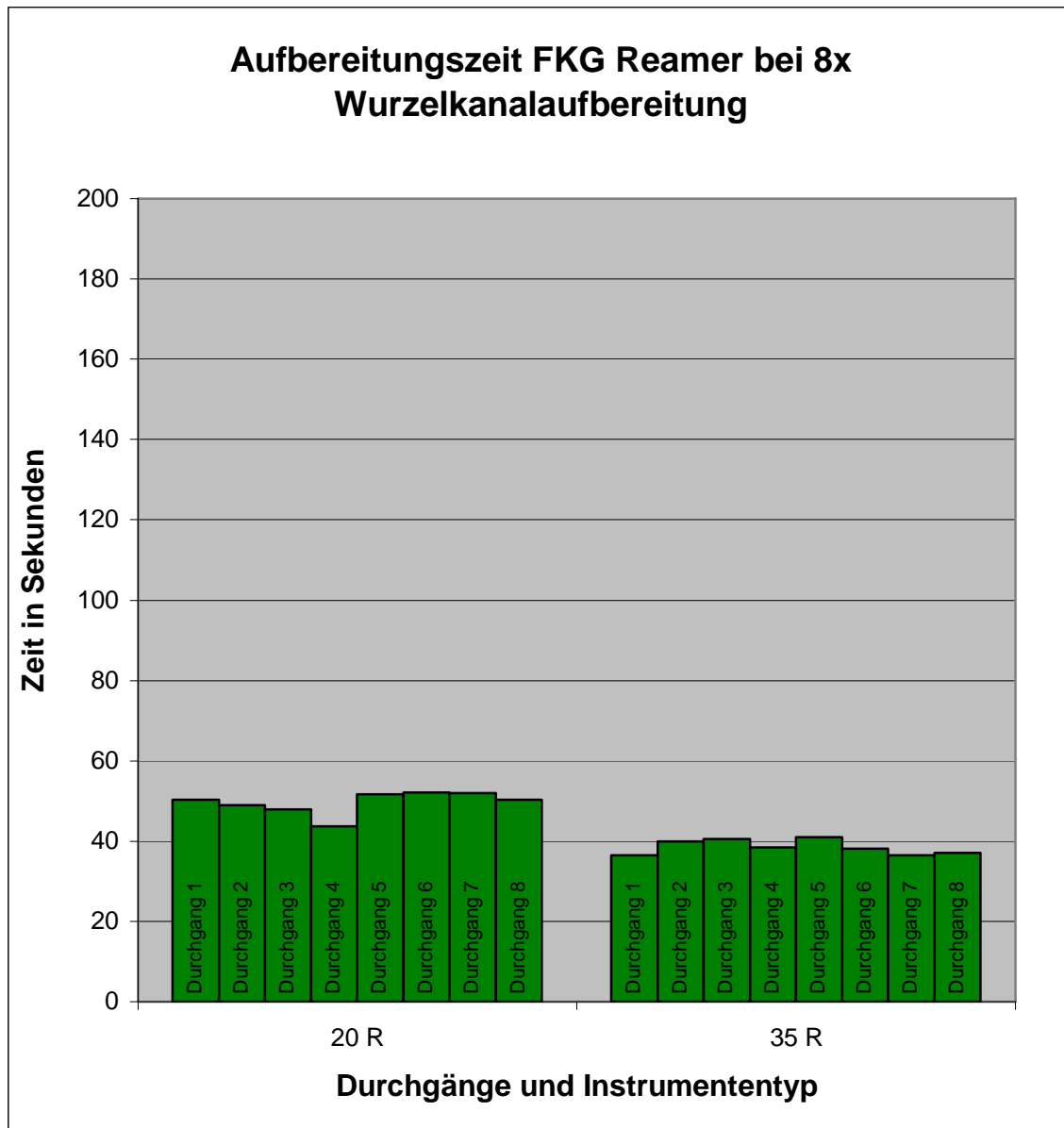


**Diagramm 35:** Erfassung der Aufbereitungszeit FKG Hedströmfeilen bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der Hedströmfeilen dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 35:

<b>Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Hedströmfeilen FKG 8x Durchlauf</b>	
<b>Zeitzunahme blau</b>	<b>Zeitabnahme rot</b>
<b>20H= + 7,93 %</b>	<b>35H= + 20,32 %</b>

Bei acht Durchläufen in den Diagrammen 35, 36 und 37 zeigten sich jeweils leichte Zunahmen hinsichtlich der mittleren Aufbereitungszeit.





**Diagramm 36:** Erfassung der Aufbereitungszeit FKG Reamer bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der K-Feilen dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.  
 Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 36:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit Reamer FKG 8x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20R= -1,56 %	35R= +6,39 %

Bei den Reamern der ISO-Größe 20 gibt es eine Abweichung; eine Abnahme des mittleren Zeitbedarfes zur Aufbereitung von  $-1,56\%$ . Die ISO-Größe 35 hingegen zeigt wieder eine Zunahme von  $6,39\%$ .

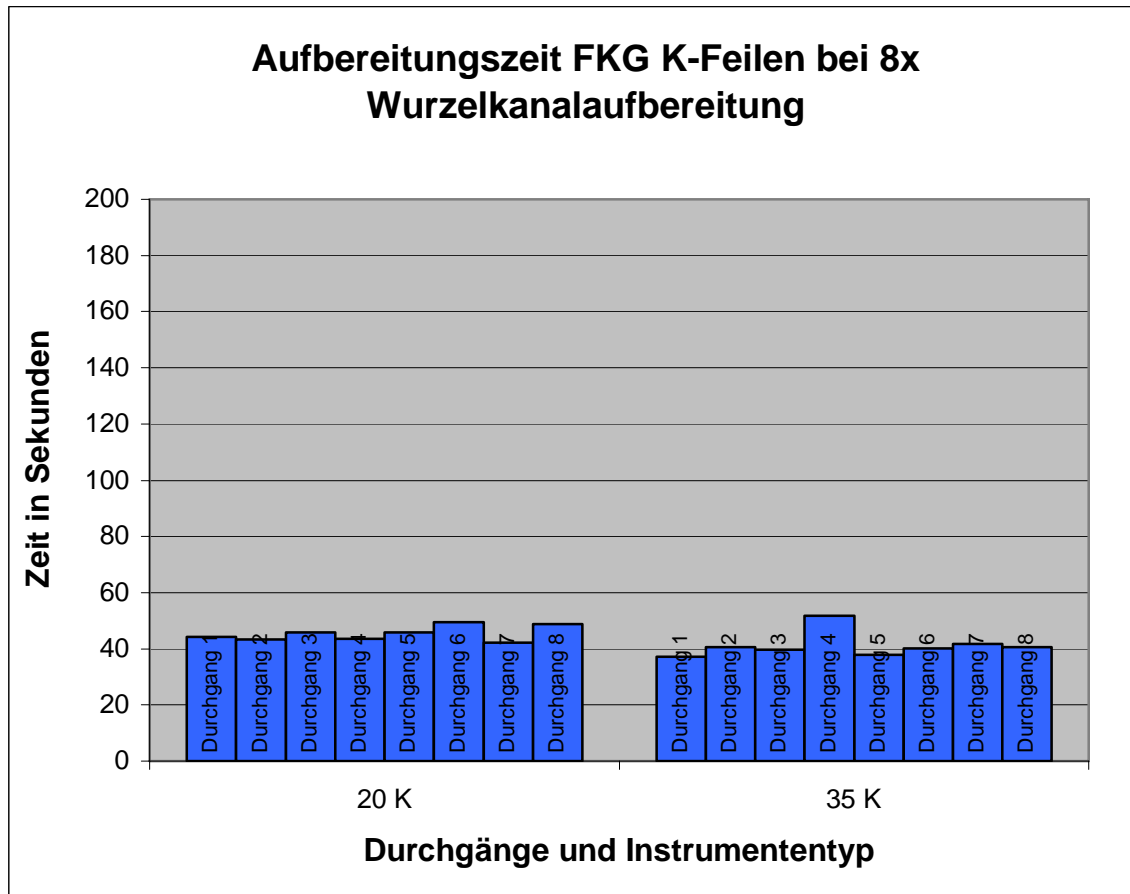


Diagramm 37: Erfassung der Aufbereitungszeit FKG K-Feilen bei achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung. Auf der Abszisse sind die zwei ISO-Größen der K-Feilen dargestellt, auf der Ordinate die Aufbereitungszeit in Sekunden.

Folgende Tabelle als Ergänzung zu Diagramm 37:

Mittelwerte der prozentualen Veränderungen der Aufbereitungszeit K-Feilen FKG 8x Durchlauf	
Zeitzunahme blau	Zeitabnahme rot
20K= + 2,85 %	35K= + 12,43 %

## **5 Diskussion**

### **5.1 Schneidleistung**

#### **5.1.1 Bewertung und Einordnung der Schneidleistung**

Die Schneidleistung von endodontischen Handinstrumenten wurde in dieser Dissertation an Hedströmfeilen, einem der drei Grundtypen der Wurzelkanalinstrumente, ermittelt. Sowohl Reamer als auch K-Feilen, die bei der Bestimmung der Aufbereitungszeit und des Instrumentendurchmessers mitberücksichtigt wurden, werden in Bezug auf ihre Schneidleistung nicht in dieser Abhandlung weiter behandelt, so dass sich die Ergebnisse ausschließlich auf die Hedströmfeilen beziehen. Die Effizienz der Hedströmfeile wurde anhand von speziellen Kunststoffblöckchen mittels der maximalen Rilltiefe bestimmt. Das Eindringen ihrer Schneiden in den Kunststoff korreliert direkt mit der Effizienz der Feilen. Das bedeutet: Je größer die Tiefe der Rille in Millimetern, desto schärfer war die Feile. Eingang fanden die Hedströmfeilen der Hersteller VDW, Micro Méga und FKG in die Untersuchung. Diesbezüglich werden zwei ISO-Größen untersucht: ISO 20 und ISO 35. Die Schneidleistung der Hedströmfeilen wurde an fabrikneuen und an einmal oder mehrfach benutzten Wurzelkanalfeilen ermittelt.

#### **5.1.2 Schneidleistung der VDW Hedströmfeilen**

Die Ergebnisse der Hedströmfeilen des Herstellers VDW sind in ihrer prozentualen Veränderung in dem Diagramm 1 dargestellt, die maximalen Rilltiefen in den Diagrammen 5 und 6. Auffällig ist eine stark ausgeprägte aufbereitungsbedingte Abnahme der Schneidleistung nach dem ersten Einsatz der Instrumente. Bereits nach einem einmaligen Einsatz zeigten die Hedströmfeilen, sowohl jene der ISO-Größe 20

als auch jene der ISO-Größe 35 einen prozentualen Schneidleistungsverlust von ca. 35 %. Allerdings waren signifikante Unterschiede zwischen den Rilltiefen der fabrikneuen und der einmal zur Aufbereitung benutzten Instrumente nicht festzustellen ( $p > 0,05$ ). Demgegenüber ergaben sich nach 3-, 5- und 8-maligen Einsetzen signifikante ( $p < 0,05$ ) und hochsignifikante ( $p < 0,001$ ) Unterschiede in der Rilltiefe zwischen den gebrauchten und den ungebrauchten Feilen. Die prozentualen Abnahmen der Schneidleistung lagen bei nur geringen Standardabweichungen zwischen 20% und 30%.

### **5.1.3 Schneidleistung der Micro Méga Hedströmfeilen**

Die Hedströmfeilen des Herstellers Micro Méga zeigten ein ähnliches Verhalten wie jene der Firma VDW. Dargestellt sind die Ergebnisse in Diagramm 2. Auch für diese Feilen waren aufbereitungsbedingte Verluste der Schneidleistung bis zu 40 % zu beobachten. Bei diesen Hedströmfeilen nahm die Schneidleistung nach nur einer Aufbereitung um etwa 20 % (ISO-Größe 20) respektive 40 % (ISO-Größe) 35) ab. Auch bei Hersteller Micro Méga war erneut festzustellen, dass ab einschließlich der dritten Wurzelkanalaufbereitung die resultierenden Rilltiefen signifikant unter jenen der fabrikneuen Instrumente lagen ( $p < 0,05$ ).

### **5.1.4 Schneidleistung der FKG Hedströmfeilen**

Die Diagramme 5 und 6 zeigen die maximalen Rilltiefen der Hedströmfeilen des Herstellers FKG und das Diagramm 3 beschreibt den prozentualen Verlust der Schneidleistung. Bei der ISO-Größe 35 ist sehr offensichtlich in Diagramm 5, dass die erfassten Messergebnisse speziell dieser ISO-Größe keinen Sinn ergeben, denn die Effizienz der Hedströmfeile steigt nach einem einmaligen Einsatz deutlich an. In diesem konkreten Fall, der Hedströmfeile der ISO-Größe 35 des Herstellers FKG, kann es sich nur um einen Messfehler handeln. Die andere untersuchte ISO-Größe 20 dagegen lässt plausible Schlüsse zu: Ihre Veränderung der Schneidleistung beschreibt eine stetig

abfallende, aber deutlich weniger stark abnehmende Effizienz-Kurve, als es bei den beiden anderen Herstellern der Fall war. Diese Feile war bei den mehrfachen Durchläufen noch etwa um zwanzig Prozent schärfer als jene der Hersteller Micro Méga und VDW. Dieses Ergebnis wird allerdings insofern relativiert, als die fabrikneuen Hedströmfeilen des Herstellers FKG durchweg eine deutlich geringere Schneidleistung aufwiesen, als jene der beiden anderen Hersteller.

### **5.1.5 Zusammenfassende Betrachtung der Schneidleistung**

Betrachtet man die Verläufe der Schneidleistung innerhalb der verschiedenen Durchläufe von einer einmaligen zu achtfachen Wurzelkanalaufbereitung, so fällt generell auf, dass ihre Schärfe bereits nach einmaliger Benutzung deutlich nachlässt. Bei allen Herstellern und bei beiden aufgeführten ISO-Größen, konnte bereits nach einer einmaligen Aufbereitung ein merklicher Effizienzverlust registriert werden. Die prozentuale aufbereitungsbedingte Abnahme der Schneidleistung innerhalb der Durchläufe war bei fünf- und achtfacher Benutzung nicht mehr so ausgeprägt wie nach ein- bzw. dreimaliger Benutzung. Die Hedströmfeilen aller drei Hersteller wiesen nach mehrfacher Wurzelkanalaufbereitung nur noch etwa ein Drittel ihrer ursprünglichen Schärfe und damit eine deutliche Einbuße ihrer Wirksamkeit auf, wobei zwischen den Feilen der drei Firmen nur geringe Unterschiede bestanden. Alle Feilen der ISO-Größe 35 zeigten nach dreifacher Wurzelkanalbehandlung nur noch etwa ein Viertel der Schneidleistung eines fabrikneuen Instruments. Diese Abnahme war größer als bei den Feilen der dünneren ISO-Größen 20. Ab der dreifachen Aufbereitung mit der ISO-Größe 35 allerdings stagnierte die aufbereitungsbedingte Abnahme der Schneidleistung. Sowohl bei der fabrikneuen Feile als auch nach der einmaligen Aufbereitung schnitt die Feile des Herstellers VDW mit der ISO-Größe 35 etwas besser ab als die des Herstellers Micro Méga und deutlich besser als jene der Firma FKG. Im Allgemeinen kann man also festhalten, dass die größte Abnahme der Schneidleistung bereits nach der ersten Aufbereitung stattfindet und nach dem dreifachen Einsatz nur noch einem Bruchteil der ursprünglichen Schärfe übrig bleibt. Die Einleitungsfrage, wie oft ein Instrument zum Einsatz kommen kann, bis es als `abgestumpft` bezeichnet werden muss, lässt sich also

bei einer Aufbereitungszahl von etwa drei Mal einordnen (siehe hierzu auch Kapitel 1.4.2.: Numerische Markierung). Die später in dieser Arbeit folgende Betrachtung des Instrumentendurchmessers vor und nach mehreren Durchläufen der Wurzelkanalaufbereitung wird verdeutlichen, dass diese beiden Kriterien zur Beurteilung der Effektivität von Wurzelkanalinstrumenten nicht aussagekräftig sind. Dahingegen ist die Anzahl der aufbereiteten Zähne sowohl durchaus messbar als auch wesentlich aussagekräftiger.

Die fabrikneuen Schneiden einer unbenutzten Hedströmfeile erreichten erwartungsgemäß die größte maximale Rilltiefe im Vergleich zu mehrfach benutzten Feilen. Das entspricht generell auch einer logischen Überlegung hinsichtlich der Effektivität eines Wurzelkanalinstruments. Dass jedoch die ursprüngliche Schärfe der Schneiden sehr kurzfristig verloren ging, mag nicht von vornherein offensichtlich gewesen sein. In der Tat zeigte sich bereits nach der erstmaligen Wurzelkanalaufbereitung bereits ein deutlicher Rückgang der maximalen Rilltiefe und damit gleichbedeutend der Schärfe der Hedströmfeilen. Dieser Rückgang war gleichsam bei beiden ISO-Größen, wenn auch in etwas unterschiedlicher Ausprägung, feststellbar. Weiterhin geht die Effektivität der Wurzelkanalinstrumente mit der Zunahme der Aufbereitungseinsätze bis zum dreimaligen Einsatz zurück. In diesem Bereich (ein- bis dreimaliger Einsatz) fand der größte Verschleiß der Hedströmfeilen statt. Die im Kapitel „Problemstellungen“ gestellte Frage 1, die Frage nach der Möglichkeit einer qualitativen Einordnung von Wurzelkanalinstrumenten anhand der Häufigkeit des Einsatzes, kann also bejaht werden. Die Häufigkeit der Benutzung einer Feile limitiert ihre Effektivität und reduziert ihre Qualität erheblich für eine weitere Verwendung. Dieser Parameter kann also für eine Qualitätskontrolle sinnvoll angewandt werden.

## **5.2 Beurteilung der Instrumentendurchmesser**

Die Beurteilung einer möglicherweise eintretenden Veränderung des Instrumentendurchmessers wurde an allen drei Instrumententypen Reamer, Hedströmfeile und K-Feile durchgeführt. Diese Untersuchungen fanden im experimentellen Teil der Dissertation ausschließlich an Wurzelkanalinstrumenten des

Herstellers VDW statt. Es wurden die ISO-Größen 15, 20 und 35 experimentell untersucht und die eventuelle Veränderung des Durchmessers der endodontischen Instrumente an zwei charakteristischen Messpunkten festgehalten. Der eine Messpunkt d3, entspricht einer Entfernung von 3 Millimetern zur Instrumentenspitze. Der zweite Messpunkt d2 liegt in einer Distanz von 13 Millimetern zur Spitze des Wurzelkanalinstrumentes. Diese Wahl zweier Messpunkte resultiert aus der Überlegung, dass bei Benutzung der Wurzelkanalinstrumente im Wurzelkanal möglicherweise der dünnere vordere Teil einer stärkeren Beanspruchung und damit gegebenenfalls einer größeren Veränderung unterliegt.

Nach der Bestimmung des Durchmessers wurden die Instrumente zur Wurzelkanalaufbereitung an extrahierten menschlichen Zähnen angewandt. Es fanden bei allen Instrumententypen und ISO-Größen die gleichen Aufbereitungsmuster statt; entweder 1x, 3x, 5x oder 8x pro Instrument. Die Betrachtung der Messergebnisse zeigte ausnahmslos konstante Instrumentendurchmesser sowohl vor als auch nach dem Einsatz der Instrumente. Die Graphen der Reamer, Hedströmfeilen und K-Feilen (Diagramme 7 – 13) zeigen kaum Veränderungen der Instrumentendurchmesser. Die Werte ergaben innerhalb der verschiedenen Aufbereitungsdurchläufe, bis auf geringste Schwankungen, die durch leichte Messungenauigkeiten bedingt sein können, nahezu unveränderte Ergebnisse. Es zeigten sich weder Zunahmen der Durchmesser, welche möglicherweise durch „Aufdrillen“, d. h. Aufbiegung der Instrumente zustande gekommen sein könnten, noch war eine signifikante Abnahme des Instrumentendurchmessers festzustellen. Eine Abnutzung also, die über die Abrundung der Schneiden eines Wurzelkanalinstrumentes makroskopisch messbar hinausgeht, ist durch eine Durchmesserbestimmung nicht festzustellen. Hierbei war auch nicht die Lage des Messpunkts entscheidend, denn an d3 und d2 gab es gleichsam konstante Werte, die den Schluss zuließen, dass ein von vornherein geringerer Durchmesser dementsprechend auch nicht einer stärkeren Veränderung unterliegt als ein stärkerer Durchmesser des Instrumentes. Ebenfalls spielte die ISO-Größe in Bezug auf eine Veränderung des Durchmessers keine Rolle, denn die dickere Größe ISO 35 zeigte ebenso konstante Messwerte wie die vergleichsweise dünnere ISO-Größe 15. Damit lässt sich auch keine signifikante Veränderung in Abhängigkeit zur Fabrikationsgröße feststellen. Die Anzahl der Aufbereitungen, seien es 1x, 3x, 5x oder 8x, brachten ausnahmslos keine

Veränderungen des Durchmessers, denn die Graphenverläufe bewegten sich bei allen Instrumententypen und ISO-Größen linear und parallel zur Abszisse. Das bedeutet, dass eine Feile oder ein Bohrer auch nach achtmaliger Wurzelkanalaufbereitung in seiner fabrizierten Dimension und Ausdehnung nicht messbar anders beschaffen war, als ein Instrument, mit dem nur ein einzelner menschlicher Zahn aufbereitet wurde. Den vorliegenden Ergebnissen zufolge ist festzustellen, dass auch nach mehrfacher Aufbereitung der Durchmesser eines Wurzelkanalinstruments nicht signifikant abnimmt. Von minimalen Schwankungen abgesehen, die wahrscheinlich Ursache in kleinen Ungenauigkeiten des Messverfahrens fanden, bleibt der Instrumentendurchmesser konstant. Er unterliegt keiner durch das hier durchgeführte Messverfahren feststellbaren Veränderung. Damit ist die in dem Kapitel „Problemstellungen“ gestellte Frage 2, die eine aufbereitungsbedingte Veränderung bzw. Verringerung des Instrumentendurchmessers postuliert, eindeutig zu verneinen. Die Durchmesserbetrachtung von endodontischen Handinstrumenten ist nicht zur qualitativen Beurteilung der Aufbereitungseffizienz geeignet. Dieser Parameter lässt keine verlässliche Aussage zur Instrumentenqualität zu und gibt keine Informationen zur gegebenen Effizienz der Schneiden zum Zeitpunkt der Wurzelkanalaufbereitung. Der Instrumentendurchmesser ist selbst dann noch nahezu unverändert, wenn die Schneiden der Feile oder des endodontischen Instruments bereits abgestumpft sind (vergleiche auch 5.1 Schneidleistung).



### 5.3 Bewertung der Aufbereitungszeit

Als drittes Kriterium zur aufbereitungsbedingten Abnutzung wurde die Aufbereitungszeit erfasst und betrachtet. Hierbei wurde ausschließlich die Netto-Aufbereitungszeit beurteilt, also nur der Zeitraum, in dem das zu untersuchende Wurzelkanalinstrument ohne begleitende Instrumente eingesetzt wurde. Die Aufbereitungszeit wurde an Instrumenten von drei Herstellern bestimmt: VDW (Diagramme 8 – 15), Micro Méga (Diagramme 9 – 23), und FKG (Diagramme 24-31). Die Aufbereitungszeit wurde für alle drei Instrumententypen ermittelt: Hedströmfeilen, K-Feilen und Reamer. Ebenso wurden drei verschiedene ISO-Größen des Herstellers VDW untersucht: ISO 15, ISO 20 und ISO 35. Von den Herstellern Micro Méga und FKG zwei ISO-Größen: ISO 20 und ISO 35. Die Erfassung der Aufbereitungszeit ergab im Wesentlichen keine Abweichung von der Tendenz, welche sich bereits beim Kriterium 'Instrumentendurchmesser' (5.1) gezeigt hat. Beobachtet man die Kurvenverläufe, die für die Instrumentierung notwendigen Zeiten, so zeigte sich mit zunehmender Anzahl der Instrumentierungen häufiger eine kleine Zunahme der benötigten Zeit von ca. +1 bis +15%. Diese leichte Zunahme ist aber nicht als wesentlicher Parameter für eine Effizienzbestimmung zu interpretieren. Die Wurzelkanalaufbereitung mit einem neuen Instrument dauerte aber nicht deutlich länger als die durchschnittliche Zeit bei beispielsweise acht Aufbereitungsgängen, es ergab sich lediglich ein kleiner Mehraufwand an Zeitbedarf. Diese leichte Tendenz einer Zeitzunahme galt ebenso gleichsam für die drei untersuchten Hersteller FKG, Micro Méga und VDW, denn die Produkte dieser Firmen unterscheiden sich in Bezug auf den nötigen Zeitaufwand nicht. Keiner der Hersteller der Wurzelkanalinstrumente wies eine Aufbereitungszeit auf, die eine längere Dauer als jene der anderen Hersteller beanspruchte. Die ISO-Größen 15, 20 und 35, welche in diese Untersuchung eingegangen sind, zeigten ebenfalls keine deutlichen Unterschiede untereinander in der Zeitdauer der Wurzelkanalbehandlung in Abhängigkeit von der Instrumentengröße.

Diese dritte im Kapitel „Problemstellungen“ postulierte These, wie man gegebenenfalls die Wirksamkeit der Wurzelkanalinstrumente einordnen könnte, scheidet als nicht aussagekräftig aus. Die Aufbereitungszeit ist kein allgemeingültiges Kriterium für eine

Effizienzbestimmung eines Wurzelkanalinstruments. Sie liefert keine Informationen über die vorhandene Effektivität zur Aufbereitung eines Wurzelkanals. Des weiteren hängt dieser Parameter auch wesentlich von dem Behandlungsmodus des jeweiligen Behandlers ab, so benötigt ein routinierter und endodontisch versierter Zahnarzt voraussichtlich weniger Zeit, um die angestrebte Aufbereitung durchzuführen, als ein unerfahrener Behandler. Die möglicherweise unterschiedliche Aufbereitungstechnik und Handhabung ist ebenfalls ein Parameter, der die Allgemeingültigkeit in diesem Aspekt fraglich erscheinen lässt. Aufgrund dieser Unsicherheitsfaktoren und der vorliegenden Untersuchungsergebnisse muss die Aufbereitungszeit in Bezug auf die Fragestellung als ineffektive Methode der Beurteilung eindeutig verneint werden.

## 6 Zusammenfassung

In der vorliegenden experimentellen Arbeit wurden drei Kriterien überprüft, mit denen man erwartungsgemäß die die Effizienz eines endodontischen Handinstrumentes, im speziellen der Hedströmfeile, messbar überprüfen konnte. Ziel sollte dabei sein, einen oder mehrere Parameter zu finden, zu einem beliebigen Zeitpunkt die vorliegende Schärfe der Schneiden einer Hedströmfeile und damit ihre therapeutische Wirksamkeit zur Wurzelkanalaufbereitung zu erfassen. Eine Feile deren Schneiden stumpf geworden sind kann nicht ausreichend gewährleisten, infiziertes Wurzelkanalwanddentin abzutragen und verfehlt dadurch eine effiziente Aufbereitung des zu behandelnden Zahnes. Die der untersuchten Parameter waren die Häufigkeit des Aufbereitungseinsatzes, die Beurteilung des Instrumentendurchmessers und die Aufbereitungszeit. Es sollte beurteilt werden, ob eines oder mehrere dieser genannten Kriterien greifbare Qualitätskriterien zur Beurteilung der Effizienz von manuellen Wurzelkanalinstrumenten darstellen, denn bisher ist es nach wie vor schwer einzuordnen, zu welchem Zeitpunkt ein endodontisches Handinstrument unwirksam geworden ist. An extrahierten menschlichen Zähnen wurden zahlreiche Wurzelkanalaufbereitungen mit manuellen endodontischen Instrumenten durchgeführt. Es fanden Hedströmfeilen, Reamer und K-Feilen drei verschiedener Hersteller und in drei ISO-Größen Eingang in die experimentelle Erhebung. Die Hersteller der benutzten Instrumente waren die Firmen VDW, FKG und Micro Méga. Die ISO-Größen 15, 20 und wurden beurteilt. Der Modus der Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungsdurchläufe an extrahierten menschlichen Zähnen war pro Instrument entweder 1x, 3x, 5x oder 8x. Der Schwerpunkt der Untersuchung der Schneidleistung lag auf der Beurteilung der Hedströmfeilen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Aufbereitungszeit kein adäquates Kriterium zur Qualitätsbestimmung der Schärfe und damit Effizienz einer Feile ist. Die Zeit der Aufbereitung bleibt nahezu konstant zwischen mehreren Durchläufen und ist auch konstant ohne Bezug auf den Hersteller oder die ISO-Größe. Dieses Merkmal der Qualitätsbetrachtung ist also nicht allgemeingültig und scheidet daher als nicht geeigneter Parameter aus. Die Erfassung des Instrumentendurchmessers ergab, dass es sich hierbei ebenfalls um einen nicht tauglichen Parameter zur Beurteilung der Effizienz

handelt. Der Durchmesser eines endodontischen Instruments verändert sich auch bei mehreren Aufbereitungen sowohl nicht an der relativ dünnen Spitze des Instrumentes als auch in der stabileren Schaftnähe nicht. Die Möglichkeit der Effizienzeinordnung mithilfe des Instrumentendurchmessers erwies sich als nicht geeignet. Die Anzahl der Wurzelkanalaufbereitungen pro Instrument stellte sich jedoch als signifikantes Kriterium zur Qualitätseinordnung heraus. Eine Hedströmfeile dieser Versuchsreihe, die fabrikneu benutzt wird, verliert bereits beim ersten endodontischen Einsatz einen Großteil ihrer Schärfe, dies ist bei den vorliegenden Hedströmfeilen unabhängig von Hersteller und ISO- Größe. Die Effizienz der Schneiden ging des Weiteren innerhalb der ersten drei Aufbereitungen auf einen Bruchteil ihrer ursprünglichen Effizienz zurück. Nach drei Aufbereitungen ist das Instrument nicht mehr ausreichend in der Lage im erwarteten und gewünschten Maß Material abzutragen und ist daher als ineffizient einzuordnen.

Die Anzahl der Benutzung zur Wurzelkanalaufbereitung ist also ein geeigneter Parameter zur Qualitätsbestimmung einer Schneideneffizienz einer Hedströmfeile. Sie liegt bei einer Limitierung der Anwendung von **einer** bis **drei** **Wurzelkanalaufbereitungen pro Instrument** mit größtmöglicher Effizienzerwartung.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Aten, J.C (1993)  
The simulation of clinical corrosion of endodontic files. Master Thesis,  
Northwestern University of Chicago, USA.
2. Baumann MA (1993)  
Neue Aspekte in der Endodontie.  
Dtsch Zahnärztekalendar, Hanser, München-Wien, 153-177.
3. Beer R, Baumann M A (1994)  
Praktische Endodontie. Urban und Schwarzenberg, München – Wien – Baltimore.
4. Craig RG, Gehring PE, Peyton FA (1959)  
Relation of structure to the microhardness of human dentin.  
J Dent Res 38, 624 – 630.
5. Cruse WP, Bellizzi R (1980)  
A historic review of endodontics, 1689 – 1963. Part 1. J Endod 6, 495 – 499.
6. Gambarini G, DeLuca M (1994)  
Mechanical properties of titanium and stainless steel endodontic K-files.  
Abstract, Int Endod J 27, 98.
7. Green EN (1957)  
Microscopic investigation of root canal file and reamer widths.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 10, 532 – 540.
8. Grossmann LI (1971)  
Endodontics: Then and now.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32, 254 – 259.
9. Guldner PHA (1989)  
Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und –füllung. Schweiz Monatsschr Zahnmed  
99, 1019 – 1028.
10. Hedström G (1927)  
Die Gangrän der Zahnpulpa und ihre Behandlung, basierend auf biochemischen  
Untersuchungen. Englische Übersetzung aus dem Schwedischen Isaac Marcus  
Boktryckeri-Aktiebolag, Stockholm
11. Heinsen JP (1983)  
Experimentelle Untersuchungen über die Schärfe manuell anzuwendender  
Wurzelkanalbohrer Typ K und Hedströmfeilen. Med Diss, Kiel.

12. Hoppe W, Heinsen JP (1983)  
Schärfe-Grenzwerte von Wurzelkanalbohrern und  
Hedströmfeilen und ihre Bedeutung für die Wurzelkanalaufbereitung.  
Dtsch Zahnärztl Z 38, 209 – 213.
13. Ingle JI (1955)  
The need for endodontic instrumentation standardization.  
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 8, 1211 – 1213.
14. Ingle JI (1957)  
Endodontic instruments and instrumentation. Dent Clin North Am 1, 805 – 822.
15. Ingle JI (1961)  
A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and  
filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83 – 91.
16. Ingle JI, Levine M (1958)  
The need for uniformity of endodontic instruments,  
Equipment and filling materials. Grossmann, L I (Hrsg.) Transaction of the second  
international conference on Endodontics, Philadelphia, 123 – 143.
17. International Organization for Standardization ISO 3630-1 (1992)  
Dental root-canal instruments – Part 1: Files, reamers, barbed broaches, rasps, paste  
carriers, explorers and cotton broaches. International Organization for  
Standardization, Genf.
18. Keller H-P (1993) Persönliche Mitteilungen.
19. Kimmel K (1994)  
Die gelungene Synthese. Vereinigte Dentalwerke München: Wegbereiter der  
optimalen Endodontie. Dental Echo 64, 6/94, 62 – 67.
20. Lilley JD (1976) Endodontic Instrumentation before 1800.  
J Br Endod Soc 9, 67 – 70.
21. Lilley JD (1979) Endodontic standards. J Br Endod Soc 12, 61 – 66.
22. Marxkors R, Meiners H (1988)  
Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Hanser, München – Wien.
23. Milas VB (1976)  
History. In: Cohen, S., Burns R.C.: Pathways of the pulp. 1<sup>st</sup> ed. C. V. Mosby,  
St. Louis – Baltimore, 619 – 634.
24. Ostrander FD (1967)  
The practice of endodontics: past, present and future. J Dent Educ 31, 386 – 388.

25. Pichler H (1930)  
Die quantitative Seite des Problems der Wurzelkanalbehandlung.  
Österr Z Stomatol 4, 279 – 284.
26. Platzer U, Sedelmayer J (1993)  
Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung:  
Neue Instrumente – Neue Techniken? In: Akademie Praxis und Wissenschaft  
(Hrsg.): Endodontie: Neue Erkenntnisse aus Praxis und Wissenschaft. Hanser,  
München – Wien, 97 – 105.
27. Schäfer E (1998)  
Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz:  
Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte.  
Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin.
28. Schäfer E, Göhring C (1993)  
Untersuchungen zur Normierung von Wurzelkanalinstrumenten und Guttapercha-  
Stiften. Endodontie 2, 269 – 283.
29. Schäfer E, Hoppe W (1995)  
Wurzelkanalinstrumente aus Titan-Aluminium, Nickel-Titan oder Edelstahl.  
Zahnärztl Welt 104, 612 – 616.
30. Schäfer E, Tepel J (1993)  
Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach  
standardisierter Aufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 48, 653 – 658.
31. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W (1994)  
Instruments with a modified tip: their cutting ability and instrumentation  
characteristics concerning curved root canals. Abstract, Int Endod J 27, 107.
32. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W (1992)  
Die Schneidleistung von Wurzelkanalinstrumenten bei  
drehend-schabender Arbeitsweise. Dtsch Zahnärztl Z 47, 781 – 785.
33. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W (1994)  
Rationelles Arbeiten mit Wurzelkanalinstrumenten: Ein Vergleich zwischen  
herkömmlichen und neueren, so genannten flexiblen Instrumenten.  
Österr Z Stomatol 91, 161 – 166.
34. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W (1994)  
Vergleichende Untersuchung von Wurzelkanalinstrumenten aus herkömmlichem  
Stahl und Nickel-Titan-Legierungen. Endodontie 3, 185 – 197.
35. Serene TP, Adams JD, Saxena A (1995)  
Nickel-titanium instruments. Applications in endodontics.  
Ishiyaku EuroAmerica Inc., St. Louis.

36. Städtler P (1994)  
Zahnerhaltung in Klinik und Praxis. Ecomed, Landsberg/Lech.
37. Stitzel W (1950)  
Technische und medikamentöse Grundlagen der  
Gangränbehandlung. Zahnärztl Welt 5, 179 – 185.
38. Tepel J (1994)  
Frakturanfälligkeit von Wurzelkanalinstrumenten. Dtsch Zahnärztl Z 49, 837 –  
840.
39. Tepel J (1995)  
Biegeverhalten von Wurzelkanalinstrumenten. Dtsch Zahnärztl Z 50, 146 – 149.
40. Tepel J, Schäfer E (1995)  
Schneidleistung von Hedströmfeilen bei linearer  
Arbeitsweise. Dtsch Zahnärztl Z 50, 109 – 111.
41. Tepel J, Schäfer E (1996)  
Effizienz von Wurzelkanalinstrumenten für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung.  
Dtsch Zahnärztekalendar, Hanser, München – Wien, 47 – 75.
42. Tepel J, Schäfer E, Hoppe W (1995)  
Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion. Part 1. Cutting  
efficiency. J Endod 21, 418 – 421.
43. Walia H, Brantley WA, Gerstein H (1988)  
An initial investigation of bending and torsional properties of nitinol root canal  
files. J Endod 14, 346 – 351.
44. Walkhoff O W (1918)  
Kontraindikationen bei Anwendung der Nervkanalbohrer.  
Dtsch Mschr Zahnheilk 36, 9.
45. Wannemacher, E (1954)  
Versuche über Desinfektion und dichte Ausfüllung der Wurzelkanäle.  
Österr Z Stomatol 51, 393 – 399.
46. Weine F S (1989)  
Endodontic therapy, 4<sup>th</sup> ed. C V Mosby, St. Louis – Baltimore – Toronto.
47. Wörner H (1974)  
Die Dentinhärte menschlichen Dentins in Abhängigkeit von Calcium-, Phosphor-  
und Fluoridgehalt. Dtsch Zahnärztl Z 29, 58 – 62.



## 8 Lebenslauf

### Maik Fahnenschreiber

\* 10. Februar 1975      *geboren in Paderborn römisch katholischer Konfession*

Familienstand: *ledig*

Wohnort: *Mährenstr. 25      33102 Paderborn*

#### Name der Mutter

*Ute Fahnenschreiber, geb. Joachims*

Angestellte

\*27. August 1941

#### Name des Vaters

*Peter Fahnenschreiber*

Selbstständig

\*24. Februar 1940

#### Name der Schwester

*Petra Grußmann, geb. Fahnenschreiber*

Angestellte

\*26. September 1964

#### Name des Bruders

*Ralf Fahnenschreiber*

Selbstständig

\* 01. Februar 1968

#### Schulbildung und Staatsdienst:

08. August 1981

bis 14. Juni 1985

*Grundschule Domschule Paderborn*

01. August 1985

bis 27. April 1994

*Heinrich-Reismann-Gymnasium Paderborn*

*Abschluss mit Hochschulreife*

01. Juli 1994

bis 27. April 1995

*dreizehn Monate Zivildienst im hämatologischen Labor des*

*Brüderkrankenhauses in Paderborn*

### Studium:

08. Oktober 1995 - 20. Dezember 2000 *Studium der Zahnmedizin an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster*
26. September 1996 *Vorphysikum – Naturwissenschaftliche Vorprüfung*
03. März 1998 *Physikum – Zahnärztliche Vorprüfung*
- Februar 2000 *Auslandsfamulatur an der University of Western Cape Grootte Schuur Kapstadt, Südafrika und in einer zahnärztlichen Township-Tagesklinik*
19. Juli 2000 *Abschluss des Studiums der Zahnmedizin*
20. Dezember 2000 *Staatsexamen*
28. Dezember 2000 *Approbation als Zahnarzt*

### Berufliche Tätigkeiten:

01. März 2001 bis 31. August 2002 *Beginn der Assistenzzeit in der Praxis Dr. Frank Stobias Bahnhofstrasse 17c, 49504 Lotte bei Osnabrück*
01. September 2002 bis 31. August 2004 *Assistenzarzt in der Praxis Dr. Volker Goeke, Alte Bahnhofstrasse 9, 48 432 Rheine-Mesum*
01. Oktober 2004 bis 31. Dezember 2004 *Angestellter Zahnarzt in der Gemeinschaftspraxis Dr. Helmut Freitag und Dr. Nicole Henkemeier Florianstr. 6, 33 102 Paderborn*
24. November 2004 *Zulassung als Vertragszahnarzt für den Bereich Westfalen-Lippe, Paderborn Kernstadt*
01. Januar 2005 *Niederlassung in Gemeinschaftspraxis Dr. Helmut Freitag und ZA Maik Fahnenschreiber, Florianstr. 6, 33 102 Paderborn*

## 9 Danksagung

Schließlich möchte ich mich bei den Personen bedanken, die mich während der vorliegenden Dissertation unterstützt haben. Allen voran danke ich Herrn Prof. Dr. Edgar Schäfer, der mich, seinem Doktoranden, von Beginn an kontinuierlich betreut, beraten und fachlich souverän angeleitet hat. Zu jeder Zeit fand ich immer verlässliche Unterstützung und freundliche Hilfe in fachlichen Belangen. Besonders dankbar bin ich für die Überlassung des Themas; gerade in Bezug auf eine Realisierung während einer ganztägigen beruflichen Tätigkeit in der zahnärztlichen Praxis. Ich bedanke mich auch für die nötige bereitgestellte Zeit für die Umsetzung des experimentellen Teils während des beruflichen Alltags.

Meiner Familie danke ich für die moralische Unterstützung und Motivation in der gesamten Zeit, die diese Promotion in Anspruch genommen hat. Stets fand ich fördernde Worte, die mir die Durchführung dieser Dissertation leichter machten. Meinen Eltern Peter und Ute Fahnenschreiber danke ich ausdrücklich für alle Chancen und Förderungen, die es mir ermöglichten, das Heutige erreicht zu haben.

Meinem immer hilfsbereiten Kollegen Herrn Dr. Christian Flören danke ich für die tatkräftige Unterstützung am PC und seinem Beistand in meinem stetigen Kampf gegen Informatik und Rechner, der ohne Ihn nicht ohne weiteres ein positives Ende genommen hätte.

Meinem Kollegen Herrn Dr. Volker Goeke danke ich ebenfalls für die moralische Unterstützung in einer hervorragenden Assistentenzeit mit paralleler Promotionsbemühung, für nicht selbstverständliche Rücksichtnahme, Bestärkung in der Zielsetzung, für entsprechend notwendige zeitliche Freiräume und die Verwandlung des Praxislabors in ein Endoland.

Zum Schluss danke ich Frau Lehrerin Katy Fahnenschreiber für die Korrektur und formale Beratung und Allen die mich auf dem Weg zu dieser Dissertation und Promotionsbemühung unterstützt haben.