

Aus dem Institut für Rechtsmedizin  
der Ludwig-Maximilians-Universität München  
Vorstand: Prof. Dr. W. Eisenmenger

**Über die Möglichkeiten der forensischen Rückrechnung  
anhand von Atemalkoholkonzentrationen im Vergleich zu  
Blutalkoholkonzentrationen - eine prospektive  
vergleichende Untersuchung der Kinetiken von  
100 Probanden**

Dissertation  
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der  
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Fee-Antoinette Armbrecht

aus

Kiel

2008

Mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:

Prof. Dr. M. med. Graw

Mitberichterstatter:

Prof. Dr. N. Nedopil  
Priv. Doz. Dr. P. Fraunberger

Betreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter:

Dekan:

Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung:

24.04.2008

Meinen Eltern

# Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen .....	3
1 Einleitung .....	5
2 Problemstellung .....	9
3 Material und Methoden .....	11
3.1 Probandenkollektiv und Auswahlkriterien .....	11
3.1.1 Probandenkollektiv .....	11
3.1.2 Auswahlkriterien .....	12
3.2 Trinkversuche .....	13
3.2.1 Versuchsaufbau .....	13
3.2.2 Versuchsablauf .....	14
3.3 Methoden .....	15
3.3.1 Atemalkoholmessung .....	15
3.3.2 Blutalkoholmessung .....	16
3.3.3 Dokumentation und Statistik .....	16
4 Ergebnisse .....	19
4.1 Aufgenommene Ethanolmenge, Trinkzeit und Alkoholbelastung .....	19
4.2 Maximalwerte der BAK und der AAK und Gipfelzeiten .....	19
4.3 Anflutungsgeschwindigkeit .....	23
4.4 Konversionsfaktor Q .....	24
4.5 Widmark-Faktor r .....	28
4.6 $c_0$ – Konzentrationen .....	29
4.7 Eliminationsrate $\beta_{60}$ .....	30
4.8 Bestimmtheitsmaß $R^2$ .....	32
5 Diskussion .....	35
5.1 Probandenauswahl und Versuchsbedingungen .....	35
5.2 Anflutungskinetik von BAK und der AAK und Gipfelzeiten .....	36
5.3 Bedeutung des Konversionsfaktors Q und seiner Einflussgrößen .....	38
5.4 Widmark-Faktor r .....	40
5.5 Akzeleration der Eliminationsrate $\beta_{60}$ .....	41
5.6 Geschlechtsabhängigkeit der BAK- und AAK-Eliminationsraten und des Widmarkfaktors .....	44
5.7 Erweiterung der Eliminationskinetik über den linearen Bereich hinaus .....	46
5.8 Möglichkeiten und Limitationen der AAK-Bestimmung .....	47
6 Zusammenfassung .....	51

7	Literaturverzeichnis .....	53
8	Anhang .....	59
8.1	Übersicht der Probanden .....	59
8.2	Übersicht über $c_0$ -Konzentrationen, $\beta_{60}$ -Eliminationsgeschwindigkeiten und Widmarkfaktoren $r$ .....	61
8.3	Blutalkohol- und Atemalkoholkurven der 100 Probanden .....	62
8.4	Erweiterte Blutalkohol- und Atemalkoholkurven der 100 Probanden .....	130
8.5	Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® .....	181
8.6	Messprotokoll des Dräger Alcotest 7110 Evidential .....	182
8.7	Versuchsprotokoll .....	183
9	Danksagung .....	185
10	Lebenslauf .....	187

## Verzeichnis der Abkürzungen

AAK	Atemalkoholkonzentration
BAK	Blutalkoholkonzentration
BMI	Body-Mass-Index
$\beta_{60}$	stündliche Eliminationsrate
$c_0$	fiktive maximale Alkoholkonzentration, ermittelt durch Rückrechnung unter konstruierten Resorptions-, Distributions- u. Eliminationsbedingungen
h	Stunde
KG	Körpergewicht
KT	Korrekturterm
min	Minute
MW	Mittelwert
n	Anzahl
p	Fehlerwahrscheinlichkeit
Q	Konversionsfaktor zur Umrechnung von AAK in BAK
r	1. Korrelationskoeffizient 2. Widmarkfaktor (Reduktionsfaktor)
$R^2$	Bestimmtheitsmaß
SD	Standardabweichung
TE	Trinkende



# 1 Einleitung

## § 24a Abs. 1 StVG

Alkoholisierung im Straßenverkehr ist nach wie vor ein bedeutendes und aktuelles Thema. Es ist davon auszugehen, dass bei ca. 50 % aller Verkehrstoten der Unfall durch zumindest einen alkoholisierten Unfallbeteiligten mitverursacht wurde (Gilg 2006). Mit der Neufassung des § 24a Abs. 1 des Straßenverkehrsgesetzes im April 1998 wurden in Deutschland erstmals nach mehrjährigen Diskussionen gleichberechtigte Grenzwerte für Atemalkoholkonzentrationen (AAK) und Blutalkoholkonzentrationen (BAK) im Bereich der Ordnungswidrigkeiten eingeführt (Lagois 2000; Schoknecht 2002). Zuvor wurden Atemalkoholtestungen von der Polizei nur als Vorprobe durchgeführt, wenn der Verdacht auf eine starke Alkoholisierung z.B. bei Kraftfahrern vorlag (Gilg 2006). Die neu etablierten Grenzwerte für Atemalkoholkonzentrationen lagen neben den damals gültigen Grenzwerten für Blutalkoholkonzentrationen - 0,8 g/kg und 0,5 g/kg - zunächst bei 0,4 mg/l und 0,25 mg/l. Die Abstufung wurde später zurückgenommen. Seit 2001 besteht ein einheitliches Niveau von 0,5 g/kg für BAK und 0,25 mg/l für AAK (Maatz 2002; Schuff et al. 2002). Im Zuge dieser Gesetzesänderung wurde der Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® (siehe Anhang) entwickelt. Er erfüllt die Anforderungen an eine gerichtsverwertbare Atemalkoholanalyse in Deutschland (Lagois 2000). Die Atemalkoholuntersuchungen mit diesem Gerät finden üblicherweise in Polizeidienststellen statt und dürfen nicht mit den orientierenden Untersuchungen mit Handgeräten zur Atemalkoholanalyse (z.B. Alcotest®) vor Ort am Straßenverkehr verwechselt werden.

## Grundlagen der Blutalkoholkonzentrations-Kinetik

Im vorliegenden Zusammenhang wird mit Alkohol der sog. Trinkalkohol oder Ethanol bezeichnet. Nach seinem Konsum wird er durch Diffusion aus dem Magen-Darm-Trakt in die Blutbahn aufgenommen. Es handelt sich hierbei um einen rein passiven Konzentrationsausgleich. Die Hauptresorption erfolgt im Duodenum und im oberen Jejunum. Für die Resorptionsgeschwindigkeit ist jedoch die Magenpassage von Bedeutung (z.B. bei einem stark gefüllten Magen nimmt die Resorptionsgeschwindigkeit ab). 95 % des Alkohols werden in der Leber zu Kohlendioxid und Wasser oxidiert. Dieser Abbau erfolgt hauptsächlich durch zwei Enzymsysteme: das



ADH(Alkoholdehydrogenase)-System, das für etwa 90 % des Alkoholabbaus verantwortlich ist und das MEOS (microsomal-ethanol-oxidizing-system), das etwa 10 % des Abbaus übernimmt (Gilg 2006). Durch die Einflüsse von Resorption, Distribution und Elimination des Ethanols entsteht eine zeitlich abhängige Blutalkoholkonzentrationskurve: Die Alkoholaufnahme wird von der Resorption dominiert und die BAK-Kurve steigt steil an. Die mit Trinkbeginn bereits einsetzende Ethanol-elimination hat bei üblichen Trinkverläufen anfangs keine signifikante Auswirkung auf die Ethanolanflutung. Die Gleichmäßigkeit und die Steilheit der Steigung dieser Kurve hängen dagegen von mehreren Faktoren ab, wie z.B. Trinkgeschwindigkeit und Alkoholmenge. Der Gipfelpunkt der BAK-Kurve liegt an dem Zeitpunkt, an dem die BAK ihren maximalen Wert erreicht hat und nun der Abbau zu überwiegen beginnt. Die BAK-Kurve sinkt folglich ab diesem Zeitpunkt. Allerdings kann die Nachresorption des noch im Magen befindlichen Alkohols bis zu zwei Stunden nach Trinkende andauern und somit die Steilheit der Kurve beeinträchtigen (BGH 4 StR 1967; Gilg 2006). Ist die Trinkgeschwindigkeit sehr hoch gewesen („Sturztrunk“), kann die BAK-Kurve ein kurzfristig steiles Absinken (ca. 0,2 - 0,3 ‰ in kürzester Zeit) zeigen, den sog. Diffusionssturz. Es kann jedoch auch - insbesondere bei starker Magenfüllung - eine sog. Plateauphase eintreten. Hierbei halten sich Resorption und Elimination die Waage. Nach vollständigem Abschluss der Resorption (spätestens zwei Stunden nach Trinkende) ist für den Kurvenverlauf eine konstante Eliminationsrate ( $\beta_{60}$ -Wert) zu beobachten. Ab einer BAK von nur noch 0,2 ‰ nähert sich die Kurve exponentiell ausschleichend der Abszisse. Somit wird ab zwei Stunden nach Trinkende bis zu einer BAK von 0,2 ‰ von einer linearen Abbauphase (Kinetik 0. Ordnung) ausgegangen (Haffner und Blank 2002; Gilg 2006).

#### Rückrechnung auf eine Alkoholkonzentration zum Vorfallszeitpunkt

Blutentnahmen, die von der Polizei veranlasst werden, finden eine gewisse Zeit nach der Alkoholfahrt oder einer sonstigen Straftat statt. Der gemessene Wert entspricht dann dem Wert zum Zeitpunkt der Blutentnahme und nicht dem rechtlich relevanten Wert des Vorfallszeitpunktes. Folglich muss aus der gemessenen BAK auf die Tatzeitpunkt-BAK rückgerechnet werden. Für die Frage nach dem Grad einer sicher beweisbaren Fahruntüchtigkeit wird, um den Probanden nicht zu benachteiligen, die Mindest-BAK (Abbaurrate: 0,1 ‰ pro Stunde) in der linearen Abbau-

phase rückgerechnet, d.h. zwei Stunden nach Trinkende (TE) bis zu einer BAK von 0,2 ‰. Daneben sind für die Rechtssprechung sowohl eine wahrscheinliche BAK (Abbaurrate: 0,15 ‰ pro Stunde) als auch eine Maximal-BAK (Abbaurrate: 0,2 ‰ pro Stunde) von Interesse, letzteres z.B. bei der Frage nach einer verminderten Schuldfähigkeit (Gilg 2006).

### Grundlagen der Atemalkoholkonzentrations-Kinetik

Unter der BAK wird, soweit nicht ausdrücklich anders angegeben, immer die Konzentration im venösen Blut verstanden. Die AAK stellt jedoch eine Funktion der arteriellen Alkoholkonzentration dar. Dies gilt vor allem für die Anflutungsphase der AAK-Kurve. Das Verhältnis von der arteriellen BAK, die der AAK proportional ist, zur venösen BAK, wird durch einen Korrekturterm (KT) beschrieben. Für die Größe von KT in der Gleichung  $c_v = c_a + KT$  ( $c_v$  = venöse Konzentration,  $c_a$  = arterielle Konzentration) spielt die Differenz der arteriellen Konzentrationsänderung über die Zeit und der venösen Konzentrationsänderung über die Zeit ( $dc_a/dt - dc_v/dt$ ) eine wesentliche Rolle (Wehner et al. 2000; Graw und Haffner 2003; Haffner et al. 2003). Nach der schon oben beschriebenen Resorption ins Pfortaderblut unterliegt Ethanol einem geringen „First-Pass-Effekt“. Dieser „First-Pass-Effekt“ wird konkurrierend mit einer unvollständigen Resorption und einer enzymatischen Degradation schon in der Magen- und Darmwand als Ursache des sog. Alkoholdefizites bei Umrechnung oder Abschätzung der BAK aus der Trinkmenge diskutiert. Die Höhe wird in Abhängigkeit vieler Einflussgrößen (Konzentration im Getränk, Dauer der Magen-Darmpassage) forensisch – gewiss zu Gunsten des Probanden oder Beschuldigten – zwischen 10 % und 30 % der konsumierten Alkoholmenge angenommen (Haffner und Blank 2002; Gilg 2006). Im Anschluss an die Leberpassage wird der Alkohol mit dem Vena cava inferior-Blut über das rechte Herz der Lunge zugeführt. Somit spiegelt die abgeatmete Alkoholkonzentration eher die danach im großen Kreislauf bestimmbare arterielle Konzentration wieder als die nach Diffusion und Distribution im Körperwasser gemessene venöse BAK (Wehner et al. 2000). In der forensischen Praxis wird zur Abschätzung der AAK im Vergleich zur BAK jedoch nicht KT herangezogen, sondern ein experimentell ermittelter Konversionsfaktor Q als Quotient aus BAK und AAK. Der Konversionsfaktor Q wird in der vorliegenden Arbeit mit der Einheit [l/g] angegeben. Auf der Grundlage verschiedener wissenschaftlicher Untersuchungen führte in der Bundesrepublik Deutschland ein Wert von 2 für Q bei

Ordnungswidrigkeitstatbeständen als Abschätzgröße zum Beispiel zu einem AAK-Grenzwert von 0,25 mg/l im Vergleich zur BAK von 0,5 ‰ (Maatz 2002). Es liegt auf der Hand, dass die Gipfelkonzentration der AAK-Kinetik früher nach Alkoholaufnahme oder Trinkende auftreten muss als die der venösen BAK-Kinetik (Wehner et al. 2000).

## 2 Problemstellung

Die Einsatzmöglichkeiten der AAK-Analyse sind forensisch auf wenige Situationen begrenzt. Mit den schon erwähnten „roadside“ eingesetzten Handgeräten kann lediglich ein orientierender Messwert erhoben werden. Ein negatives Ergebnis bei unauffälligem psychomotorischem Verhalten des Probanden schließt weitere behördliche Maßnahmen aus. Ein deutlich positives Ergebnis führt entweder zu einer BAK-Bestimmung oder einer AAK-Analyse mittels Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII®. Eine mit letzterem gemessene widerrechtlich hohe AAK kann in foro nur herangezogen werden, wenn ein Nachtrunk ausgeschlossen ist. Zudem ist die AAK-Analyse nur im Ordnungswidrigkeitenbereich zugelassen. Im Vergleich zur BAK ist auch eine Rückrechnung aus der AAK bisher weit weniger etabliert. Es wird gefordert, den Einsatz der AAK-Analyse auf den Strafrechtsbereich auszudehnen (Schoknecht 2002). Für die Umsetzung dieser Forderung wären die Validität vom Konversionsfaktor Q und die Tauglichkeit der AAK-Bestimmung für die Rückrechnung von Alkoholkonzentrationen (validierte Eliminationsrate  $\beta_{60}$ ) maßgebend. Bisherige Untersuchungen haben beides, orientierend bei geringer Fallzahl und für weitgehend standardisierte Probandenkollektive, untersucht, wobei zum Teil in Deutschland rechtlich nicht anerkannte Geräte eingesetzt wurden (Jachau et al. 2004) .

Die vorliegende Arbeit hat folgende Ziele:

Überprüfung des Konversionsfaktors Q über den gesamten Verlauf der Ethanolkinetikkurve

Ermittlung der Eliminationsrate  $\beta_{60}$  im direkten Vergleich von BAK und AAK unter realistischen Versuchsbedingungen, d.h. wenig standardisiert hinsichtlich des Probandenkollektivs (Alter und Geschlecht), Trinkverhaltens (Alkoholgewöhnung, Dauer der Alkoholaufnahme im Versuch), der Wahl der alkoholischen Getränke und begleitender Nahrungsaufnahme bei hoher Fallzahl im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen und Durchführung einer Untergruppenanalyse hinsichtlich der Geschlechtszugehörigkeit



## **3 Material und Methoden**

### **3.1 Probandenkollektiv und Auswahlkriterien**

#### **3.1.1 Probandenkollektiv**

Im Rahmen eines gemeinsamen Projektes wurden am Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München und am Institut für Rechts- und Verkehrsmedizin der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg Trinkversuche mit jeweils 100 Versuchspersonen vollzogen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Versuchsergebnissen des Probandenkollektivs des rechtsmedizinischen Instituts der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Die Versuche wurden unter ärztlicher Aufsicht an 100 freiwilligen, gesunden, erwachsenen, aufklärungs- und zustimmungsfähigen Probanden im Alter von 19 bis 67 Jahren durchgeführt. Vor Studienbeginn war der Ethikkommission ein Studienprotokoll vorgelegt und von dieser genehmigt worden. 60 Probanden waren männlich und 40 weiblich (siehe Tabelle 1). Durchschnittlich war das Probandenkollektiv 27 Jahre alt (Spannbreite: 19-67 Jahre; Median: 24 Jahre) und besaß einen Body-Mass-Index (BMI) von 22,6 (Spannbreite: 17,6-30,8; Median: 22,1). Die anamnestischen Angaben zu den durchschnittlichen wöchentlichen Konsummengen als Maß für die Alkoholgewöhnung ergaben einen Mittelwert von 1,6 g Alkohol pro Kilogramm Körpergewicht (Median: 1,1 g/kg). Der männliche Anteil des Probandenkollektivs besaß durchschnittlich einen BMI von 23,3 (Median: 23,2), trank wöchentlich 1,9 g Alkohol pro Kilogramm Körpergewicht (Median: 1,3 g/kg) und war im Schnitt 27 Jahre alt (Median: 24 Jahre). Die weiblichen Probanden waren ebenfalls durchschnittlich 27 Jahre alt (Median: 23 Jahre) mit einem durchschnittlichen BMI von 21,4 (Median: 20,8) und einer wöchentlichen Trinkgewohnheit von 1,1 g Alkohol pro Kilogramm Körpergewicht (Median: 0,7 g/kg).

Probanden	Maß	Alter [Jahre]	BMI	Alkoholgewöhnung [(g/kg)/Woche]
Gesamt (n=100)	Mittelwert	27	22,6	1,6
	Median	24	22,1	1,1
	Spannbreite	19 – 67	17,6 – 30,8	0 – 15,2
Weiblich (n=40)	Mittelwert	27	21,4	1,1
	Median	23	20,8	0,7
	Spannbreite	19 – 54	17,6 – 28,4	0,0 – 6,3
Männlich (n=60)	Mittelwert	27	23,3	1,9
	Median	24	23,2	1,3
	Spannbreite	20 – 67	18,9 – 30,8	0,2 – 15,2

Tab. 1: Alter, BMI und Alkoholgewöhnung des Probandenkollektivs

Die Probanden wurden zufällig durch Aushänge in Gebäuden der Ludwig-Maximilians-Universität akquiriert. Weitere Probanden wurden aus dem Arbeitsumfeld und dem Bekanntenkreis der Verfasserin hinzugewonnen. Jeder Proband wurde mündlich über den Versuch aufgeklärt und erhielt zusätzlich eine schriftliche Probandeninformation. Das Einverständnis wurde jeweils schriftlich erklärt. Eine Honorierung in Höhe von 50 Euro wurde nach Abschluss des jeweiligen Versuchs an jeden Versuchsteilnehmer ausbezahlt.

### 3.1.2 Auswahlkriterien

Jeder Proband wurde vor Versuchsbeginn orientierend klinisch und laborchemisch (kleines Blutbild, GOT, GPT,  $\gamma$ GT, Bilirubin und Alkalische Phosphatase) untersucht. Gesucht wurde insbesondere nach Hinweisen auf Leberschäden äthyltoxischer wie auch anderer Genese, auf Stoffwechselerkrankungen wie Diabetes mellitus und auf Gerinnungsstörungen. Wesentliche Normabweichungen wurden nicht toleriert. So hatten drei Fälle von Morbus Meulengracht, ein Fall einer abgelaufenen Hepatitis B-Infektion, zwei Asthma bronchiale Fälle und ein asymptomatischer Herzklappenfehler den Ausschluss zur Folge. Wurde von Probandinnen eine Schwangerschaft nicht ausdrücklich ausgeschlossen, erfolgte keine Aufnahme in die Studie. Zusätzlich wurden Alkoholtrinkgewohnheiten, ausgedrückt durch die

durchschnittliche wöchentliche Trinkmenge, erfragt. Ausschlusskriterien stellten Anhaltspunkte für Alkoholmissbrauch oder Abhängigkeit nach ICD-10 dar (Habel und Schneider 2002). Den eigenen Angaben zufolge lag ein geringer bis durchschnittlicher wöchentlicher Alkoholkonsum vor. Lediglich zwei Männer im Alter von 21 und 23 Jahren hatten bei der Befragung außergewöhnlich hohe Trinkmengen angegeben. Bei der Voruntersuchung hatten sie jedoch eher den Eindruck um Selbstdarstellung bemühter Persönlichkeiten vermittelt, sodass ihre diesbezüglichen Angaben zumindest als aggraviert eingeschätzt wurden. Da bei ihnen keine objektivierbaren Anzeichen normabweichenden Alkoholkonsums erkannt werden konnten, wurden sie zu den Versuchen zugelassen.

Alle Probanden waren am jeweiligen Tag der Voruntersuchung darüber aufgeklärt worden, dass sie nach dem Trinkversuch am selben Tag kein Kraftfahrzeug führen durften.

## **3.2 Trinkversuche**

### **3.2.1 Versuchsaufbau**

Aufgrund der zu erwartenden Versuchsdauer von etwa zehn Stunden pro Trinkversuch wurden die Versuche in den Vormittagsstunden begonnen. In der Regel fanden die Versuche im Rechtsmedizinischen Institut der Ludwig-Maximilians-Universität in München statt. Zwei Versuchstage mit jeweils sechs Versuchsteilnehmern wurden in Privaträumen unter gleichen Versuchsbedingungen (einschließlich der ärztlichen Aufsicht) durchgeführt. Außer der Anforderung, alkoholenüchtern zu den Versuchen zu erscheinen, wurden den Probanden keine Verhaltensvorgaben für die Zeit vor dem Trinkversuch gemacht. Nahrungsaufnahme und Rauchen waren während der Versuche freigestellt. Welche Getränke konsumiert werden sollten, war den Versuchsteilnehmern selbst überlassen. Somit variierten die Getränkewünsche von niedrig konzentrierten Alkoholika wie z.B. Bier bis zu hoch konzentrierten wie z.B. Gin, Tequila oder Wodka, denen nach individuellem Geschmack auch Beimischungen wie z.B. Orangensaft oder Tonic Water zugegeben wurden. Teilweise entschieden sich einzelne Versuchskollektive für



Kombinationen aus hoch und niedrig konzentrierten Alkoholika, damit sie das notwendige Volumen besser bewältigen konnten. Die Getränke wurden den einzelnen Probanden, nach Berechnung der individuellen Trinkmenge, abgemessen bereitgestellt, um eine kontrollierte Alkoholaufnahme zu gewährleisten. Die Alkoholbelastung wurde unter Verwendung der Widmark-Formel (siehe 4.5) so gewählt, dass die Erwartungswerte der maximalen BAK unter Berücksichtigung eines Alkoholdefizits von 10 % und einer angenommenen Eliminationsgeschwindigkeit von 0,15 g/kg/h bei etwa zweistündiger Trinkzeit und abgeschlossener Absorption im Bereich von etwa 0,8 g/kg lagen. Allerdings wurde den Probanden lediglich die Empfehlung ausgesprochen, eine Trinkzeit von zwei Stunden möglichst nicht zu überschreiten, sodass die Trinkgeschwindigkeit jedem Versuchsteilnehmer selbst überlassen wurde. Die Versuche fanden in der Regel ca. zwei Wochen nach dem Voruntersuchungstag statt. Je Trinkversuchstag nahmen zwischen drei und maximal sechs Probanden teil. Die Versuchsdauer, ohne Einrechnung der Vorbereitungszeit des Versuchs und der Zeit für die Versorgung der Proben nach dem Versuch, betrug zwischen sechs und zehn Stunden.

### **3.2.2 Versuchsablauf**

Vor Trinkbeginn wurde jeder Proband durch eine Messung der Atemalkoholkonzentration (AAK) und der Blutalkoholkonzentration (BAK) auf Alkoholnüchternheit geprüft.

Während der Trinkphase wurden in unregelmäßigen Abständen zeitgleiche AAK- und BAK- Messungen vorgenommen, um Orientierungswerte zu erhalten. Für die zeitgleichen Atemalkoholkonzentrationsanalysen (Doppelbestimmung) und Blutabnahmen für die Blutalkoholkonzentrationsmessung musste in Übereinstimmung mit anderen Untersuchern, z.B. (Lagois 2000), pro Proband zwischen fünf bis zehn Minuten aufgewendet werden. Die für eine ordnungsgemäß durchgeführte Messung erforderlichen Abstände zur letzten Alkoholaufnahme wurden deshalb großzügig gehandhabt, um möglichst wenig in den Trinkverlauf einzugreifen. Die notwendigen Intervalle zwischen letzter Alkoholaufnahme und AAK-Messungen konnten nicht immer eingehalten werden, ohne dabei den normalen Trinkverlauf zu unterbrechen. Aufgrund zu großer ansteigender Differenzen zwischen den beiden Einzelmess-

werten in der Anflutungsphase und wegen Mundrestalkohols kam es bei den AAK-Messungen in Einzelfällen zu ungültigen Doppelbestimmungen. Die AAK-Messungen wurden daraufhin wiederholt. In manchen Fällen konnte dem Ausdruck des Messprotokolls (siehe Anhang) jedoch die Einzelmesswerte entnommen werden (siehe 3.3.1), aus denen dann der Mittelwert errechnet werden konnte.

Nach Trinkende wurden zeitgleiche AAK- und BAK- Messungen durchgeführt. Für die ersten zwei Stunden nach Trinkende wurden die Messzeitpunkte in Intervallen zwischen 10 und 20 Minuten gelegt. Danach wurden die Messungen in einem Abstand von 30 bis 40 Minuten durchgeführt bis zum Unterschreiten einer AAK von 0,1 mg/l. Von da an wurde eine dichtere Messreihenfolge angestrebt (Messintervalle 10-20 Minuten), um den Ethanol-Eliminationsverlauf in der Schlussphase genauer nachvollziehen zu können. Dabei wurden auch AAK-Messwerte unterhalb des Cut off des Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII®, der bei 0,05 mg/l liegt, gewonnen. Diese Werte werden vom Gerät aus forensischen Gründen nicht angezeigt, waren jedoch dem Ausdruck des Messprotokolls zu entnehmen (siehe 3.3.1).

### **3.3 Methoden**

#### **3.3.1 Atemalkoholmessung**

Die AAK-Messungen wurden mittels geeichter Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® Geräte durchgeführt. Dieses Gerät mit der Bauartzulassung nach § 13 Eichgesetz erfüllt die Anforderungen der DIN VDE 0405 und wird auf der gesetzlichen Grundlage zur Anwendung der Atemalkoholanalyse in Deutschland nach § 24a StVG eingesetzt.

Das Gerät misst bei Analyse der Atemluft verschiedene Parameter, wie z.B. das Blasvolumen, den Ausatemstrom, die Atemtemperatur und die Alkoholkonzentration in der Atemluft (Lagois 2000). Das Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® erkennt sowohl relevante Alkoholmengen in der Umgebungsluft als auch den sog. Mundrestalkohol und soll so das Auftreten von falschen Messergebnissen bei betroffenen Autofahrern verhindern (Krause et al. 2002). Zwei Sensorsysteme (Infrarotsensor

und elektrochemischer Sensor) messen unabhängig voneinander die Atemalkoholkonzentration der tiefen Lungenluft. Die Messung ist nur dann valide, wenn die Ergebnisse beider Sensoren nahezu übereinstimmen. Je Messvorgang wurden zwei Atemproben entsprechend der Angaben von Lagois (2000) durchgeführt. Die Messergebnisse wurden als Protokolle ausgedruckt. Die Atemalkoholkonzentration wird in mg Ethanol pro Liter Atemluft [mg/l] ausgewiesen.

### **3.3.2 Blutalkoholmessung**

Die Entnahme der Blutproben erfolgte, zeitgleich zur AAK-Messung (zwischen 1. und zweiter Atemalkoholabgabe), aus einer peripheren Venenverweilkanüle, die den Versuchsteilnehmern vor Versuchsbeginn in eine Unterarmvene gelegt und zwischen den Entnahmen mit einem Mandrin verschlossen wurde. Die Serumröhrchen wurden nummeriert, nach Versuchsende zentrifugiert und im Kühlschrank aufbewahrt. Die Blutalkoholbestimmung erfolgte durch jeweils zwei gaschromatographische und zwei enzymatische Analysen aus den Serumproben. Diese wurden im Routinebetrieb des Alkoholabors des Rechtsmedizinischen Instituts unter forensischen Bedingungen durchgeführt. Der Mittelwert dieser vier Einzelbestimmungen wurde zwei Stellen nach dem Komma abgerundet und ergab so den Alkoholgehalt der untersuchten Probe (Schmitt et al. 1991). Die Blutalkoholkonzentration wird wie forensisch üblich in g Ethanol pro kg Vollblut angegeben [g/kg] oder in Promille [‰].

### **3.3.3 Dokumentation und Statistik**

Um die Daten der Versuchsteilnehmer ausreichend zu schützen, wurde jeder Person bei der Voruntersuchung eine vom Labor vorgegebene Probandennummer zugeteilt. Diese wurden während der Trinkversuche und bei der Auswertung des Materials und der Daten beibehalten. Von jedem Probanden wurde vor Versuchsbeginn ein Versuchsprotokoll erstellt, in dem das Datum des Versuchstages, die vom Labor vorgegebene Probandennummer, das Geburtsdatum, Körpergewicht, Körpergröße, Geschlecht, aufgenommene Ethanolmenge und Trinkzeit verzeichnet wurden (siehe Anhang). Während des gesamten Trinkversuchs wurden sowohl die

Zeitpunkte der Blutentnahme als auch der Beginn der Atemalkoholmessungen und deren Ergebnisse schriftlich festgehalten. Für die Zeitrechnung wurde die interne Uhr des jeweiligen AAK-Messgerätes verwendet. Die Messprotokolle mit den Ergebnissen der jeweils zwei aufeinander folgenden Einzelmessungen des Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® wurden mit dem internen oder externen Drucker ausgedruckt und zur anschließenden Auswertung aufbewahrt.

Für die Auswertung standen die Ergebnisse aus Trinkversuchen von insgesamt 100 Probanden, 40 Frauen und 60 Männer zur Verfügung. Durchschnittlich konnten von Trinkbeginn bis zu einer gemessenen Atemalkoholkonzentration von weniger als 0,005 mg/l 17 Messpunkte gewonnen werden (Spannbreite: 12-33; Median: 17). Die Messergebnisse wurden mit dem Programm Microsoft Excel 2003 graphisch in Form von Tabellen und Kurven aufbereitet. Zunächst wurde der Zeitraum ermittelt, in dem für die BAK von einer sicher linearen Elimination ausgegangen werden konnte. Der vollständige Abschluss der Absorption wurde spätestens zwei Stunden nach Trinkende angenommen, der Beginn der konzentrationsabhängigen exponentiellen Elimination frühestens ab einer BAK von 0,2 g/kg und der zeitgleich gemessenen AAK (Dettling et al. 2006). In dem gewählten Eliminationsbereich wurde an die jeweiligen Messpunkte für die AAK und für die BAK jeweils eine lineare Funktion ( $y=a+bx$ ) angepasst.

Um zu prüfen, ob eine Rückrechnung der Alkoholkonzentrationen anhand der gemessenen Werte über den sicher linearen Bereich möglich wäre, wurde zusätzlich basierend auf der Funktion ( $y=a+bx$ ) bei jedem Proband eine Erweiterung nach oben und nach unten in Erwägung gezogen. Hierfür wurden die infrage kommenden Messpunkte in die lineare Funktion eingesetzt und ihre Abweichung vom tatsächlichen Wert berechnet. Die Abweichung nach unten wurde solange durchgeführt bis folgende Bedingung zweimal hintereinander erfüllt war:

$$y_{i+1} > y_i + b(x_{i+1} - x_i) \quad i \in \text{Menge der zu erweiternden Messpunkte}$$

Ebenso wurde die Abweichung nach oben solange durchgeführt bis nachfolgende Bedingung zweimal hintereinander erfüllt war:

$$y_{i-1} > y_i + b(x_{i-1} - x_i) \quad i \in \text{Menge der zu erweiternden Messpunkte}$$

Werte, die in einer Normalverteilung außerhalb des Bereichs der vierfachen Standardabweichung lagen wurden als Ausreißer definiert. Für die linearen Funktionen wurde das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  berechnet. Schließlich wurden unter Verwendung einer Funktion 0. Ordnung ( $y=a+bx$ ) die  $c_0$ -Konzentrationen (a) und  $\beta_{60}$ -Werte (b) ermittelt. Es wurde eine nach Geschlechtern getrennte Auswertung vorgenommen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Aufgenommene Ethanolmenge, Trinkzeit und Alkoholbelastung

Die aufgenommene Ethanolmenge variierte abhängig vom Körpergewicht bei den weiblichen Probanden zwischen 40 g und 84 g (Median: 60 g), bei den Männern zwischen 40 g und 100 g (Median: 70 g). Die Trinkzeiten in Stunden (h) lagen bei den Frauen zwischen 0,8 h und 2,5 h (durchschnittlich 1,4 h) und bei den Männern zwischen 0,3 h und 2,8 h (durchschnittlich 1,5 h). Die Alkoholbelastung des weiblichen Probandenkollektivs lag somit bei Werten von 0,4 g/kg KG/h bis 1,2 g/kg KG/h (Median: 0,69 g/kg KG/h; MW  $\pm$  SD: 0,73  $\pm$  0,19 g/kg KG/h). Bei den Männern war die Alkoholbelastung größer und im Bereich zwischen 0,36 und 3,00 g/kg KG/h (Median: 0,57 g/kg KG/h; MW  $\pm$  SD: 0,67  $\pm$  0,37 g/kg KG/h) gelegen.

### 4.2 Maximalwerte der BAK und der AAK und Gipfelzeiten

Die Maximalwerte der BAK und der AAK lagen zwischen 0,56 g/kg und 1,38 g/kg (Median: 0,92 g/kg; MW  $\pm$  SD 0,93  $\pm$  0,17 g/kg) bzw. zwischen 0,34 mg/l und 0,85 mg/l (Median: 0,48 mg/l; MW  $\pm$  SD 0,50  $\pm$  0,08 mg/l) bei allen Versuchsteilnehmern. Im männlichen Untersuchungskollektiv befanden sich die BAK-Gipfelwerte im Bereich zwischen 0,56 g/kg und 1,31 g/kg (Median: 0,90 g/kg; MW  $\pm$  SD 0,91  $\pm$  0,16 g/kg), die maximalen AAK-Werte variierten zwischen 0,39 mg/l und 0,85 mg/l (Median: 0,48 mg/l; MW  $\pm$  SD 0,50  $\pm$  0,08 mg/l). Das weibliche Probandenkollektiv zeigte maximale BAK-Werte im Bereich von 0,67 und 1,38 g/kg (Median: 0,96 g/kg; MW  $\pm$  SD 0,97  $\pm$  0,17 g/kg), wohingegen die AAK-Werte zwischen 0,34 und 0,67 mg/l gemessen wurden (Median: 0,49 mg/l; MW  $\pm$  SD 0,50  $\pm$  0,08 mg/l). Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den BAK- und AAK-Maximalwerten ist eine signifikante positive Korrelation nur beim weiblichen Probandenkollektiv zu beobachten ( $r=0,86$ ;  $p<0,01$ ). Der männliche Teil besitzt insgesamt sechs Ausreißer

in den maximalen AAK-Werten, welche auf erhöhten Mundrestalkohol und gescheiterte Doppelbestimmungen bei steiler Anflutungskurve zurückzuführen waren. Blendet man diese Werte aus dem gesamten Kollektiv aus, erhöht sich der Korrelationswert von 0,42 auf 0,84 ( $p < 0,01$ ) und von 0,14 auf 0,83 ( $p < 0,01$ ) im männlichen Kollektiv. Tabelle 2 zeigt die Gipfelwerte für die BAK und die AAK mit den dazugehörigen Gipfelzeiten für das gesamte Untersuchungskollektiv (n=100).

Proband	max. BAK [g/kg]	Gipfelzeit n.TE [min]	max AAK [mg/l]	Gipfelzeit n. TE [min]
2	0,74	52	0,40	5
3	0,74	90	0,41	30
4	0,80	50	0,46	5
5	0,93	19	0,45	19
6	0,72	46	0,41	7
7	1,09	55	0,54	16
8	0,84	18	0,43	14
10	0,73	61	0,44	2
15	0,68	30	0,60	10
16	0,83	53	0,45	15
22	1,16	77	0,51	13
25	1,09	35	0,51	5
26	0,94	49	0,63	3
27	0,99	48	0,44	30
28	1,10	17	0,61	9
29	1,31	110	0,61	53
30	1,10	3	0,48	3
36	1,24	48	0,56	44
38	1,04	32	0,55	7
39	0,90	54	0,44	5
153	1,02	28	0,66	5
154	0,79	30	0,44	2
155	0,72	19	0,40	9
156	0,77	35	0,64	3
157	1,22	25	0,56	30
158	0,69	40	0,45	0
160	0,97	15	0,49	9
164	1,00	9	0,45	4
165	0,86	11	0,39	4
176	1,06	34	0,51	22
208	0,81	4	0,40	20
213	0,76	25	0,51	5
210	0,82	20	0,48	18 (min. vor Trinkende)
654	0,85	2	0,48	1
656	0,89	30	0,46	26
233	0,99	30	0,53	4
217	1,03	8	0,48	9
218	1,07	50	0,50	13

Proband	max. BAK [g/kg]	Gipfelzeit n.TE [min]	max AAK [mg/l]	Gipfelzeit n. TE [min]
219	1,03	8	0,52	4
200	1,04	35	0,52	5
222	0,98	25 (min. vor Trinkende)	0,48	2
237	0,69	55	0,61	1
239	0,92	28	0,49	27
242	0,91	46	0,46	2
664	0,66	9	0,57	7
187	0,99	6	0,47	4
U1	0,84	38	0,45	6
179	0,85	47	0,46	27
185	0,77	32	0,41	15
186	0,81	24	0,40	26
G04	1,01	50 (min. vor Trinkende)	0,57	77 (min. vor Trinkende)
668	0,93	72	0,46	72
673	0,82	47	0,44	20 (min. vor Trinkende)
667	1,07	49	0,54	47
666	1,07	70	0,52	28
180	0,67	44	0,51	8
201	0,88	24	0,40	24
206	0,81	59	0,43	5
19	0,56	27	0,85	2
671	0,96	109	0,50	4
672	0,89	50	0,57	3
162	1,02	7	0,57	4
199	0,96	27	0,48	23
230	1,14	48	0,56	46
238	0,92	55	0,51	34
223	1,32	26	0,67	24
241	1,03	32	0,47	9
663	1,02	57	0,51	55
174	0,81	26	0,43	8
183	0,91	66	0,46	11
G01	0,84	25	0,47	3
G02	1,05	10	0,49	5
G03	0,91	10	0,44	6
G05	0,77	29	0,36	10
18	0,70	30	0,34	9
9	0,85	5	0,43	5
17	0,74	39	0,44	3
21	1,38	16	0,66	10
24	1,09	37	0,50	29
161	0,88	15	0,48	0
182	0,67	25	0,45	1 (min. vor Trinkende)
181	1,08	53	0,53	50
175	1,13	26	0,59	24
209	0,85	40	0,49	9
214	0,75	5	0,37	2



Proband	max. BAK [g/kg]	Gipfelzeit n.TE [min]	max AAK [mg/l]	Gipfelzeit n. TE [min]
211	0,92	62	0,49	9
203	1,19	40	0,59	40
204	1,23	50	0,57	52
234	0,81	35	0,48	6
236	1,02	30	0,53	25
232	0,81	13	0,42	11
231	0,95	58	0,43	16
225	0,91	31	0,47	28
229	1,18	30	0,55	3 (min. vor Trinkende)
178	0,71	38	0,44	6
188	1,22	6	0,66	6
205	1,08	58	0,60	6
243	1,01	59	0,49	6
657	1,02	72	0,40	11
670	0,92	47	0,46	26

Tab. 2: Maximale BAK- und AAK-Werte mit Gipfelzeiten

Die Gipfelzeit in Minuten (min) bezeichnet die Zeitspanne zwischen Trinkende und dem Maximalwert der BAK und AAK. Im gesamten Untersuchungskollektiv lag der Median der BAK-Gipfelzeit bei 32 Minuten (Spannbreite: 50 min vor Trinkende - 110 min nach Trinkende; MW  $\pm$  SD: 35,04  $\pm$  24,05 min). Der Median der AAK-Gipfelzeit war bei 8,5 Minuten nach Trinkende (Spannbreite: 77 min vor Trinkende - 72 min nach Trinkende; MW $\pm$ SD 12,88  $\pm$  17,93min). Abbildung 1 verdeutlicht den zeitlichen Vorsprung der Gipfelzeitpunkte nach Trinkende für die AAK im Vergleich zur BAK. Die Mehrzahl der Gipfelwerte der AAK war bereits in der ersten Viertelstunde nach Trinkende zu beobachten. Die Gipfelwerte der BAK traten mehrheitlich im Zeitraum von einer Viertelstunde bis einer Stunde nach Trinkende auf. Bei fünf Probanden trat der maximale AAK-Wert bereits bis zu 77 Minuten vor Trinkende auf. Bei zwei Probanden zeigte sich der maximale BAK-Wert 25 und 50 Minuten vor Trinkende. Diese Beobachtungen können dadurch erklärt werden, dass kleine verzögerte Trinkmengen gegen Ende der Trinkphase aufgenommen wurden. Eine signifikante negative Korrelation zwischen der Trinkzeit und der Gipfelzeit in Minuten nach Trinkende konnte bezogen auf das BAK-Maximum festgestellt werden ( $r=-0,23$ ;  $p<0,05$ ). Bezogen auf das AAK-Maximum wurde eine Korrelation nicht beobachtet ( $r=-0,05$ ). Es ist anzunehmen, dass eine längere Trinkzeit die Zeit nach Trinkende bis zum Erreichen des BAK-Gipfels verkürzt. Bei Vergleich der Gipfelzeiten bis zum

AAK- und BAK-Maximum fiel eine signifikante positive Korrelation auf ( $r=0,47$ ;  $p<0,01$ ). Ein Zusammenhang der Gipfelzeiten zwischen BAK-Maximum und AAK-Maximum ist somit nicht auszuschließen.

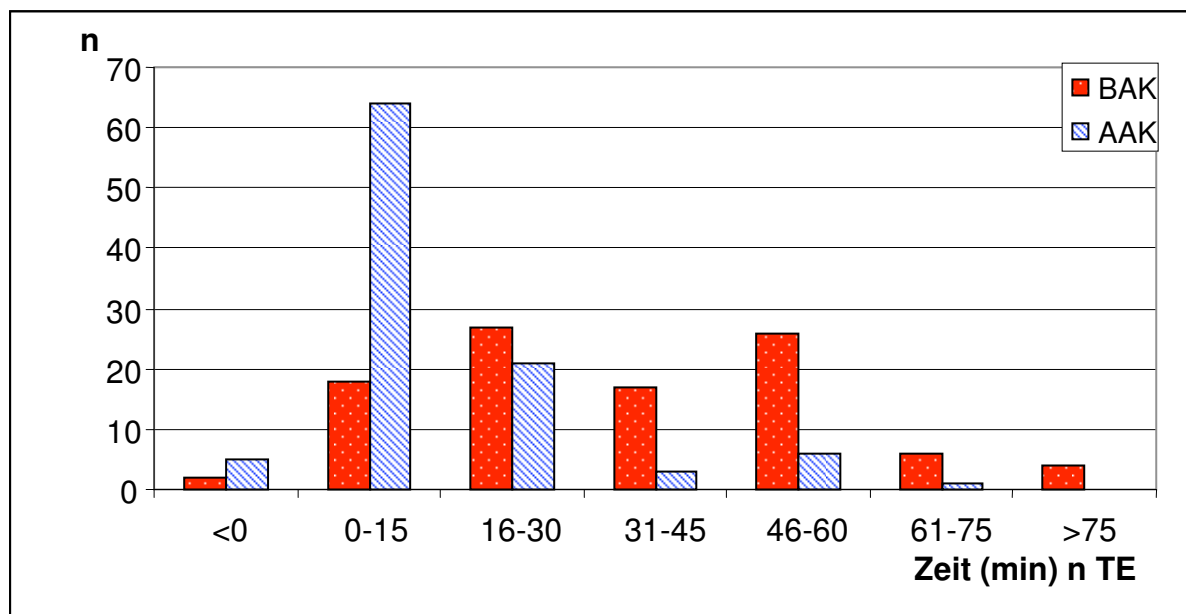


Abb. 1: Gruppen der Gipfelzeiten in Minuten nach Trinkende und deren Anzahl (n)

### 4.3 Anflutungsgeschwindigkeit

Die Trinkzeit war unabhängig von der anamnestisch erfragten Alkoholgewöhnung des Probandenkollektivs ( $r=0,10$ ). Allerdings, wie auch in Abbildung 2 gezeigt, bestand eine deutlich negative Korrelation zwischen Trinkzeit und Anflutungsgeschwindigkeit (BAK:  $r=-0,49$ ; AAK:  $r=-0,59$ ;  $p<0,01$ ). Diese Beobachtung bestätigt, dass eine kurze Trinkzeit zu einer hohen Anflutungsgeschwindigkeit führt. Die Anflutungsgeschwindigkeit ist der mittlere Konzentrationsanstieg pro Stunde bis zum Erreichen des Kurvenmaximums. Bei den Frauen lag die Anflutungsgeschwindigkeit der BAK zwischen 0,28 g/kg/h und 0,92 g/kg/h (Median: 0,48 g/kg/h; MW  $\pm$  SD: 0,52  $\pm$  0,15 g/kg/h) und der AAK zwischen 0,15 mg/l/h und 0,59 mg/l/h (Median: 0,3 mg/l/h; MW  $\pm$  SD: 0,32  $\pm$  0,1 mg/l/h). Bei Betrachtung des männlichen Untersuchungskollektivs variierte die Anflutungsgeschwindigkeit der BAK von 0,21 g/kg/h bis 1,18 g/kg/h (Median: 0,43 g/kg/h; MW  $\pm$  SD: 0,48  $\pm$  0,19 g/kg/h) und der AAK von 0,13 mg/l/h bis 1,22 mg/l/h (Median: 0,29 mg/l/h; MW  $\pm$  SD: 0,35  $\pm$  0,2 mg/l/h).

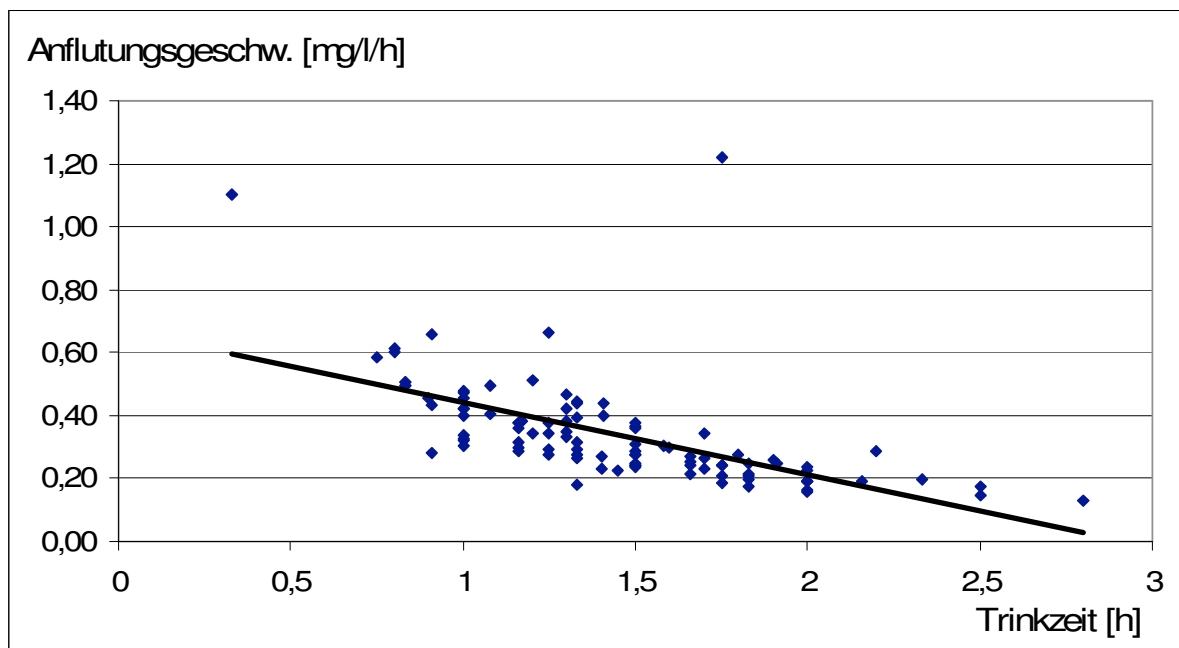


Abb. 2: AAK-Anflutungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Trinkzeit

#### 4.4 Konversionsfaktor Q

Der Konversionsfaktor Q spiegelt das Verhältnis der BAK zur AAK wider. Er wird in der Einheit [l/g] angegeben, jedoch – wie im folgenden Text – meist ohne Einheit aufgeführt. Die Gleichstellung von BAK und AAK setzt entsprechend § 24a StVG für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland die Gleichung  $BAK=2 \times AAK$  voraus (Schuff et al. 2002).

Um vergleichbare Q-Werte über den gesamten Verlauf der Alkoholkinetikkurven zu erhalten, wurde zunächst das Probandenkollektiv auf Fälle vergleichbarer Kinetikverläufe reduziert. Hierzu wurden Versuchsteilnehmer ausgewählt, die eine ähnliche Dauer bis zum BAK-Gipfelwert (75 min-100 min), ähnliche Gipfelwerte (0,9 g/kg-1,05 g/kg) und vergleichbare Eliminationsraten (0,17 g/kg/h-0,22 g/kg/h) aufwiesen. Insgesamt fünf Probanden erfüllten diese Kriterien (siehe Tabelle 3).

Proband	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körpergewicht [kg]	Körpergröße [cm]
38	m	23	64	179
217	m	24	85	195
219	m	24	80	170
233	m	28	76	190
G03	w	45	66	165

Tab. 3: Geschlecht, Alter, Körpergewicht und Körpergröße der Versuchspersonen mit vergleichbaren BAK-Kurvenverläufen

Abbildung 3 zeigt den Konversionsfaktor über den gesamten Versuchszeitraum dieser fünf Probanden. In der Anflutungsphase bewegt sich der Konversionsfaktor größtenteils unterhalb von 2. Dieses Ergebnis wird durch das gesamte Probandenkollektiv (n=100) unterstrichen, da der Konversionsfaktor Q der maximalen Werte (BAK und AAK) im Median bei 1,94 (MW  $\pm$  SD: 1,90  $\pm$  0,28; Spannbreite: 0,66 – 2,55) liegt. Das heißt, die BAK wird hier anhand der AAK falsch hoch abgeschätzt. Ab Erreichen des Gipfelwertes bis zu einer Versuchsdauer von fünf Stunden bewegt sich Q oberhalb des Wertes von 2 (Spannbreite: 1,98-2,58). In diesem Zeitraum ist der Ethanol-Abbauprozess linear. Ab einer Versuchsdauer von fünf Stunden streut der Q-Wert deutlich nach oben. Die fünf Versuchspersonen zeigen einen Q-Wert von über 3 im Median bei einem BAK-Wert von 0,06 g/kg (MW  $\pm$  SD: 0,088  $\pm$  0,07 g/kg; Spannbreite: 0,03 – 0,18 g/kg) und einem AAK-Wert von 0,008 mg/l (MW  $\pm$  SD: 0,025  $\pm$  0,02 mg/l; Spannbreite: 0,008 -0,05 mg/l). Ein Q-Wert von über 4 wurde im Median bei einem BAK-Wert von 0,035 g/kg (MW  $\pm$  SD: 0,068  $\pm$  0,08 g/kg; Spannbreite: 0,02 – 0,18 g/kg) und einem AAK-Wert von 0,007 mg/l (MW  $\pm$  SD: 0,010  $\pm$  0,01 mg/l; Spannbreite: 0,004 -0,02 mg/l) erreicht. Dies bedeutet, dass im Unterschied zur Anflutungsphase die BAK im gesamten weiteren Kurvenverlauf anhand der AAK mit einem Q-Wert von 2 falsch niedrig berechnet wird.

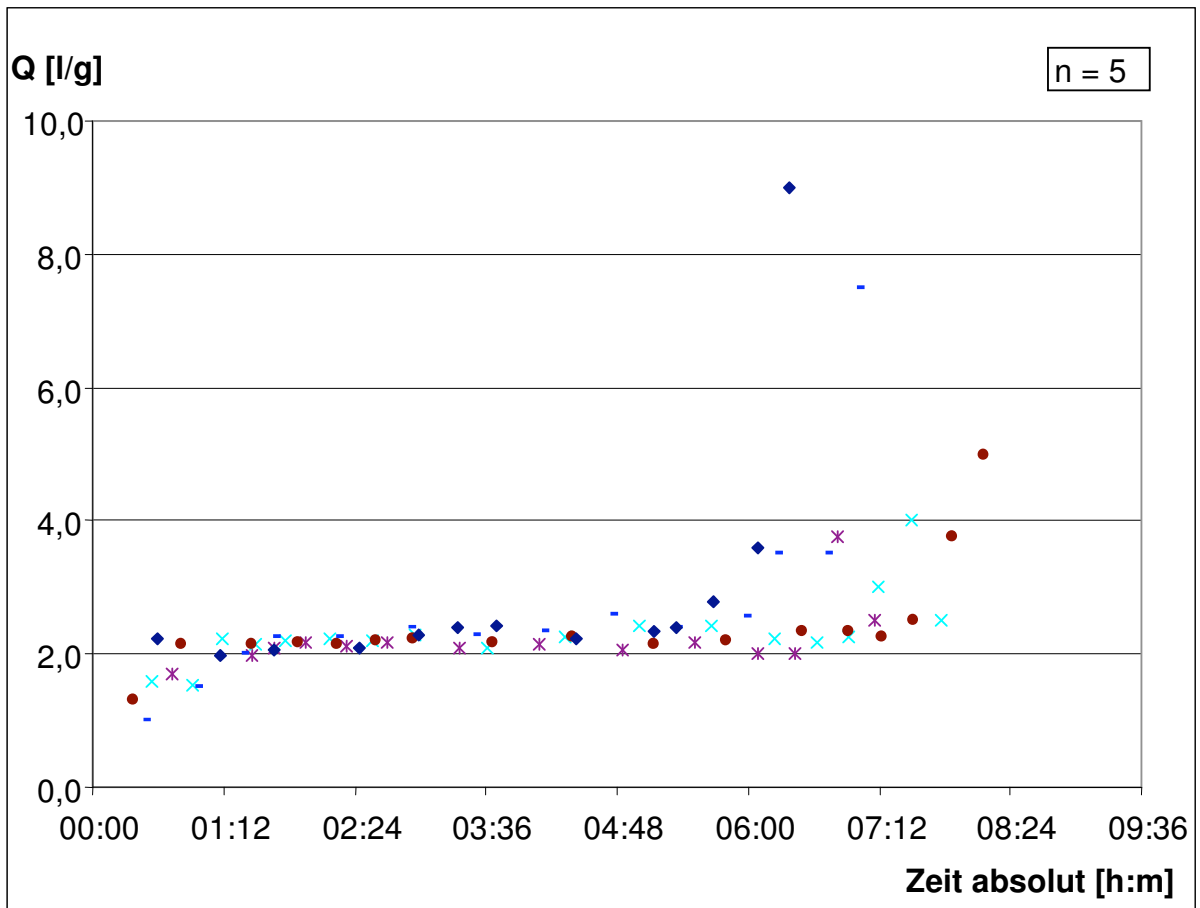


Abb. 3: Q (BAK/AAK) in Abhängigkeit zur der Zeit bei vergleichbaren Trinkverläufen (n=5) bezogen auf Zeit, BAK-Gipfelwerte und Eliminationsraten

Am Gesamtkollektiv (n=100) ergaben sich entsprechend des Zeitunterschieds der Konzentrationsgipfel von BAK und AAK auch Unterschiede der Q-Werte für diese Zeitpunkte. Der Konversionsfaktor  $Q_{AAK \max}$  zeigte einen Mittelwert von  $1,8 \pm 0,35$  (Median: 1,91; Spannbreite: 0,79 –2,94), wohingegen für  $Q_{BAK \max}$  ein Mittelwert von  $2,04 \pm 0,18$  (Median: 2,03; Spannbreite: 1,16 -2,94) zu errechnen war. Abbildung 4 veranschaulicht, ab welchem Zeitpunkt nach Trinkende der Konversionsfaktor Q den Wert 2 erreicht und dauerhaft überschreitet.

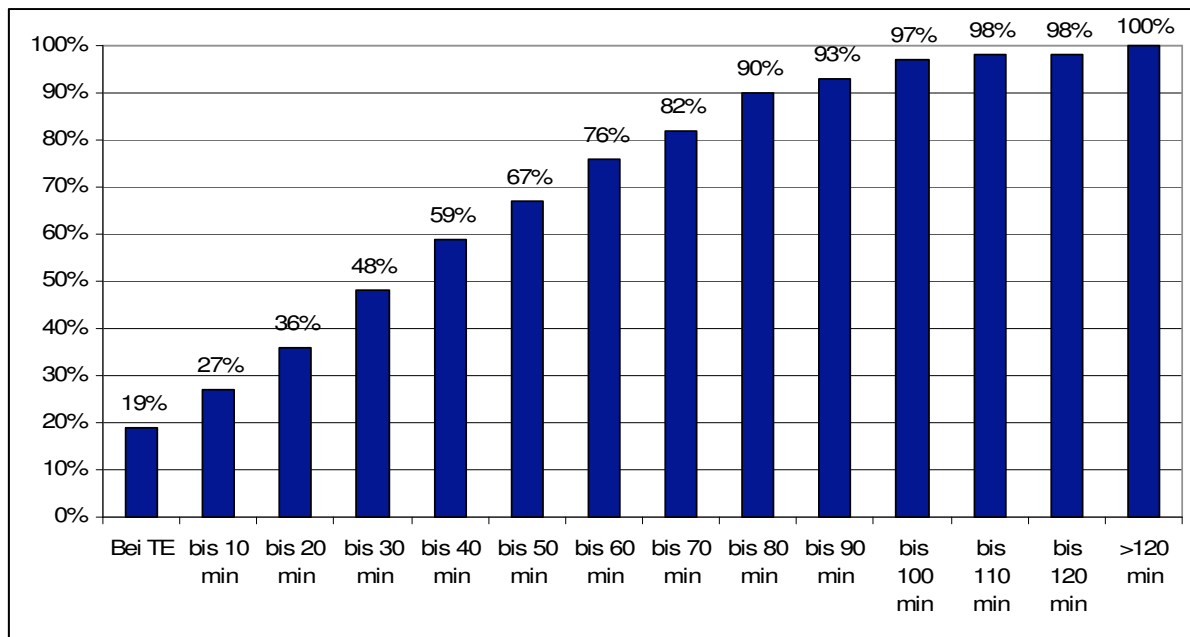


Abb. 4: Zeitpunkt nach Trinkende, zu dem der Konversionsfaktor Q den Wert 2 erreicht oder dauerhaft überschreitet (n=100)

Bei 19 Probanden lag der Konversionsfaktor Q bereits bei Trinkende bei oder über 2. Nicht einmal die Hälfte des Untersuchungskollektivs hatte 30 Minuten nach Trinkende ein Q von 2 erreicht. Zwei Stunden nach Trinkende, bereits in der linearen Eliminationsphase, wiesen alle 100 Probanden ein Q bei oder über 2 auf. Bei zwei Probanden (Versuchsperson 208 und 214) unterschritt der Q-Wert nach Erreichen von 2 in der Eliminationsphase den Wert von 2. Unmittelbar darauf (Versuchsperson 214) bzw. gegen Versuchsende (Versuchsperson 208) stieg der Konversionsfaktor Q wieder auf einen Wert von über 2.

Da die Gesetzgebung einen Grenzwert von 0,25 mg/l bei der Atemalkoholanalyse definiert, sollte der Konversionsfaktor Q gerade in diesem Bereich genauer betrachtet werden. Bezogen auf die AAK-Konzentrationen um 0,25 mg/l (0,2 – 0,3 mg/l) ließen sich rechnerisch Werte für den Konversionsfaktor Q in der Anflutungsphase ( $Q_{0,25A}$ ) und in der Eliminationsphase ( $Q_{0,25E}$ ) ermitteln. Da in der Anflutungsphase lediglich Orientierungswerte bestimmt wurden, standen in diesem AAK-Bereich für die Auswertung Daten von 44 Probanden zur Verfügung (n=100). Der Mittelwert von  $Q_{0,25A}$  lag bei  $1,54 \pm 0,44$  (Spannbreite: 0,14 - 2,28). Für die Bestimmung des Mittelwertes von  $Q_{0,25E}$  konnten Daten von 99 Probanden ausgewertet werden (MW  $\pm$  SD:  $2,33 \pm 0,16$ ; Spannbreite: 1,8 - 2,82).

Abbildung 5 zeigt die Mittelwerte der gerade beschriebenen Konversionsfaktoren und der für die Gipfelkonzentrationen berechneten Konversionsfaktoren in Abhängigkeit vom Lebensalter. Wie aus der Graphik ersichtlich wird, zeigt sich kein relevanter Einfluss des Lebensalters auf den Konversionsfaktor Q.

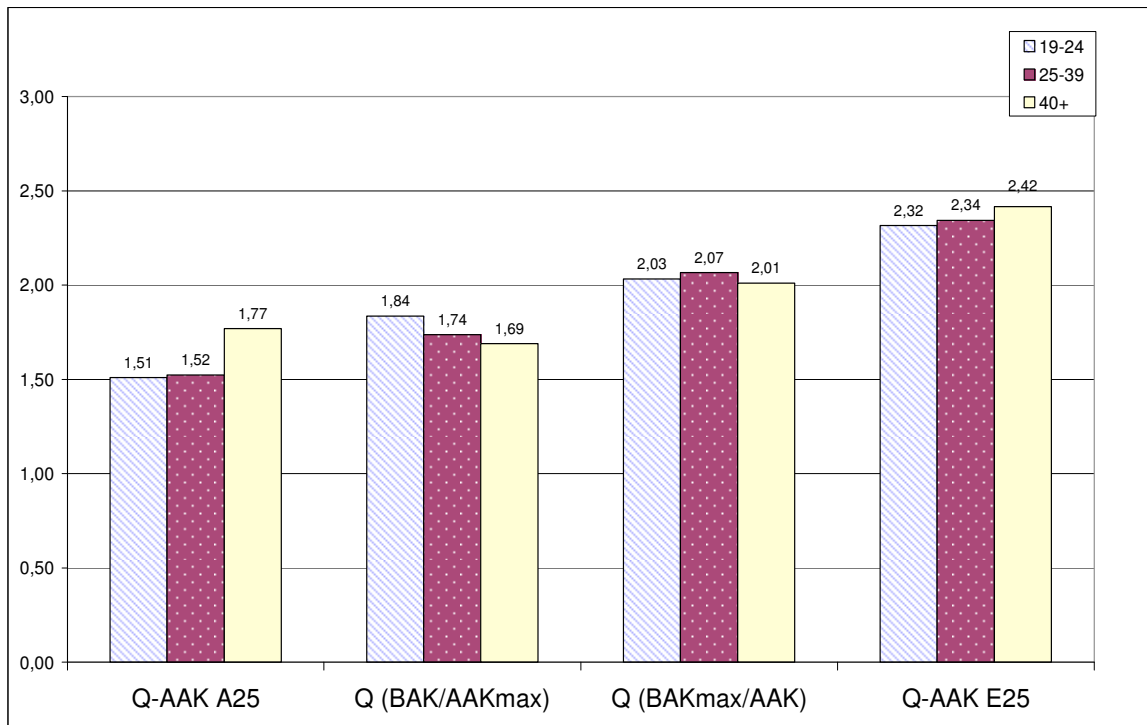


Abb. 5: Konversionsfaktor Q für Konzentrationswerte in der Anflutungsphase, im Gipfelbereich und in der Eliminationsphase mit Unterscheidung der Altersgruppen 19 – 24 Jahre (n=66), 25 – 39 Jahre (n=22) und über 40 Jahre (n=12)

## 4.5 Widmark-Faktor r

Der Widmark-Faktor r ist in der forensischen Praxis von Bedeutung, da mit seiner Hilfe und dem Körpergewicht aus der Trinkmenge die Alkoholkonzentration geschätzt werden kann. Die Formel lautet:

$$c_0 = \frac{\text{g Alkohol}}{\text{Widmarkfaktor } r \times \text{kg Körpergewicht}} = \frac{\text{g}}{\text{kg}} = \text{‰}$$

Der Reduktionsfaktor r liegt, begründet im unterschiedlichen Anteil des Körperwassers am Körpergewicht, für Frauen bei 0,6 und Männer bei 0,7 (Gilg 2006).

In dem vorliegenden Versuch lag beim gesamten Probandenkollektiv der Mittelwert von  $r$  für die BAK bei  $0,66 \pm 0,1$  (Spannbreite: 0,43-0,95; Median: 0,65) und für die AAK bei  $1,45 \pm 0,24$  (Spannbreite: 0,6 - 2,16; Median: 1,46). Ein deutlicher Unterschied zwischen dem weiblichen und dem männlichen Untersuchungskollektiv war nicht zu erkennen (MW $\pm$ SD weiblich:  $0,66 \pm 0,1$  bei  $r_{BAK}$ ;  $1,43 \pm 0,24$  bei  $r_{AAK}$ ; MW $\pm$ SD männlich:  $0,66 \pm 0,11$  bei  $r_{BAK}$ ;  $1,47 \pm 0,23$  bei  $r_{AAK}$ ). Die geschlechtsspezifische Betrachtung des Widmarkfaktors aller normgewichtigen Probanden ( $20 \leq \text{BMI}_i \leq 25$ ;  $i \in n$ ;  $n = 64$ ) ergab keine signifikanten Unterschiede zum Gesamtkollektiv.

#### 4.6 $c_0$ – Konzentrationen

$c_0$  ist eine fiktive maximale Alkoholkonzentration, die durch Rückrechnung mittels der Widmarkformel errechnet wird. Dabei wird von dem Konstrukt erstens zeitgleicher Aufnahme der gesamten Alkoholmenge, zweitens vollständig abgeschlossener Resorption und drittens Distribution ohne Elimination ausgegangen (Alt et al. 1998).  $c_0$ -Konzentrationen liegen zwangsläufig über den tatsächlich gemessenen maximalen Alkoholkonzentrationen (Gilg 2006).

Wie bereits in Kapitel 3.3.3 beschrieben, konnten die  $c_0$ -Konzentrationen hier aus der an die Messpunkte angelegten Funktion 0. Ordnung ermittelt werden. Bei der BAK wiesen die  $c_0$ -Werte einen Mittelwert ( $\pm$ SD) von  $1,39 \pm 0,21$  g/kg (Median: 1,39 g/kg; Spannbreite: 0,93 g/kg -1,93 g/kg) auf. Die Werte für die AAK zeigten einen Mittelwert ( $\pm$ SD) von  $0,63 \pm 0,1$  mg/l (Median: 0,6 mg/l; Spannbreite: 0,38 mg/l-0,89 mg/l) (siehe Tab. 4a für Frauen und 4b für Männer).

Nach Regressionserweiterung unter Einbeziehung weiterer Messwerte lag der Mittelwert für die BAK bei  $1,37 \pm 0,21$  g/kg (Median: 1,29 g/kg; Spannbreite: 0,94 g/kg-1,95 g/kg) und für die AAK bei  $0,62 \pm 0,09$  mg/l (Median: 0,58 mg/l; Spannbreite: 0,42 mg/l-0,88 mg/l).



## 4.7 Eliminationsrate $\beta_{60}$

Zur Berechnung der Eliminationsraten wurde für die BAK- und die AAK-Werte der Zeitraum der Ethanolabbauphase gewählt, bei dem von einer sicher linearen Elimination ausgegangen werden konnte (siehe Kap.1 Einleitung, Grundlagen der Blutalkoholkonzentrationskinetik). An die Messwerte wurde eine lineare Funktion angepasst ( $y=a+bx$ ). Abbildung 6 zeigt eine beispielhafte Darstellung einer linearen Anpassung an eine AAK-Kurve. Unter dieser Funktion wurden die  $c_0$ -Konzentrationen (a) und die  $\beta_{60}$ -Konzentrationen (b) ermittelt (siehe 4.3). Zusätzlich wurde das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  berechnet (siehe 3.3.3). Im definierten Auswertungszeitraum standen je nach individueller Pharmakokinetik 2-13 Messpunkte für die BAK (MW  $\pm$  SD: 5,48  $\pm$  2,03) und für die AAK (MW  $\pm$  SD: 5,49  $\pm$  2,03) zur Verfügung. Eine nur geringe Anzahl von Messpunkten während der sicher linearen Elimination ergab sich bei einigen wenigen Probanden mit geringen Gipfelwerten, steil abfallender Eliminationskurve und zum Teil (vorwiegend bei Probandinnen) infolge technisch erschwerter Blutentnahmen und schlechter Compliance bei der AAK-Analyse (zu geringes Blasvolumen).

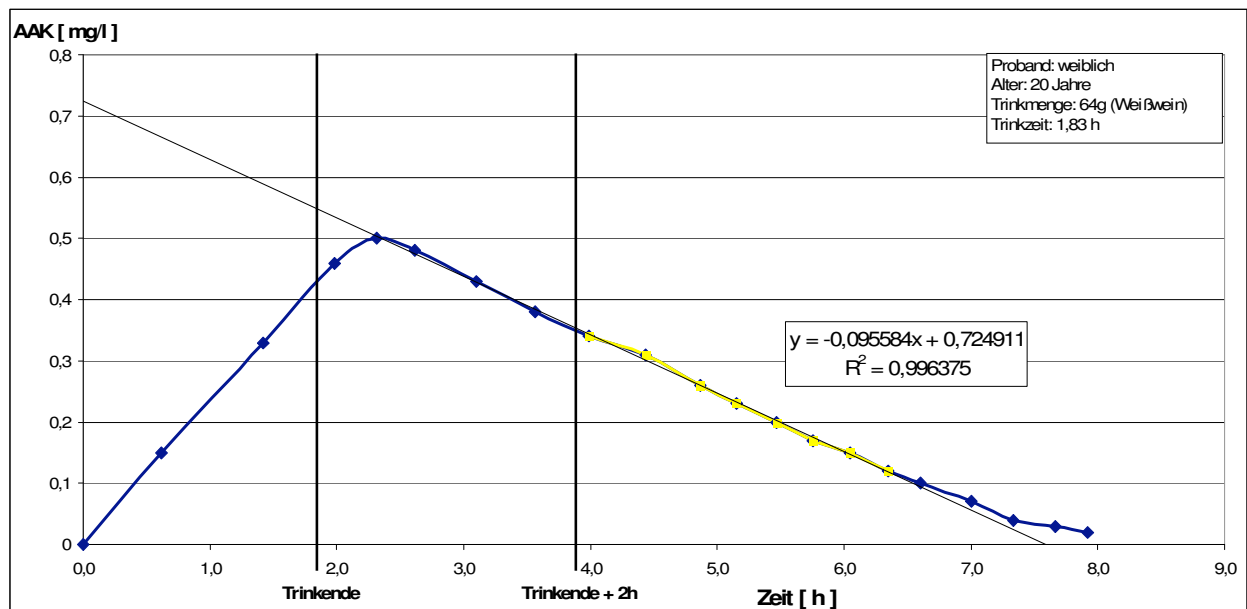


Abb. 6: Beispielhafte Darstellung einer linearen Anpassung der Messwerte bei einer Atemalkoholkonzentrationskurve (Versuchsperson 24)

Tabelle 4 zeigt die Eliminationsraten  $\beta_{60}$  der AAK- und BAK-Kurven. Dabei wird deutlich, dass die Eliminationsgeschwindigkeiten für Frauen im Vergleich zu den Männern größer waren. Bei beiden Geschlechtern lagen die Eliminationsraten höher als in der Literatur erwartet. Es konnte keine Korrelation zwischen der Alkoholgewöhnung und der Höhe der Eliminationsrate festgestellt werden. Auch zwischen Anflutungsgeschwindigkeit und Eliminationsgeschwindigkeit bestand keine Korrelation.

	$a \equiv C_0$		$b \equiv \beta_{60}$	
	für AAK [mg/l]	für BAK [g/kg]	für AAK [mg/l]	für BAK [g/kg]
Mittelwert	0,658	1,441	- 0,096	- 0,201
Standardabweichung	$\pm 0,099$	$\pm 0,218$	$\pm 0,014$	$\pm 0,034$
Median	0,632	1,415	- 0,094	- 0,194
Minimum	0,458	1,017	- 0,067	- 0,141
Maximum	0,867	1,904	- 0,127	- 0,275

Tab. 4a: Glieder der linearen Eliminationsfunktion  $y = a + bx$  der AAK und der BAK bei Frauen (n = 40)

	$a \equiv C_0$		$b \equiv \beta_{60}$	
	für AAK [mg/l]	für BAK [g/kg]	für AAK [mg/l]	für BAK [g/kg]
Mittelwert	0,605	1,348	- 0,081	- 0,173
Standardabweichung	$\pm 0,091$	$\pm 0,204$	$\pm 0,012$	$\pm 0,029$
Median	0,600	1,351	- 0,080	- 0,172
Minimum	0,379	0,931	- 0,057	- 0,124
Maximum	0,890	1,977	- 0,107	- 0,245

Tab. 4b: Glieder der linearen Eliminationsfunktion  $y = a + bx$  der AAK und der BAK bei Männern (n = 60)

Unter Betrachtung des Gesamtkollektivs zeigte sich für die BAK ein Mittelwert von  $0,184 \pm 0,034$  g/kg/h (Median: 0,18 g/kg/h; Spannbreite: 0,124-0,275 g/kg/h) und für die AAK ein Mittelwert von  $0,087 \pm 0,015$  mg/l/h (Median: 0,086 mg/l/h; Spannbreite: 0,057-0,127 mg/l/h). Abbildung 7 stellt die Korrelation zwischen den AAK-Eliminationsraten  $\beta_{60-AAK}$  und den BAK-Eliminationsraten  $\beta_{60-BAK}$  für das gesamte Untersuchungskollektiv graphisch dar. Sie zeigt den hochsignifikanten Zusammenhang ( $r=0,89$ ;  $p<0,01$ ); es ist jedoch auch die erhebliche Streuung um die Regressionsgerade zu erkennen.

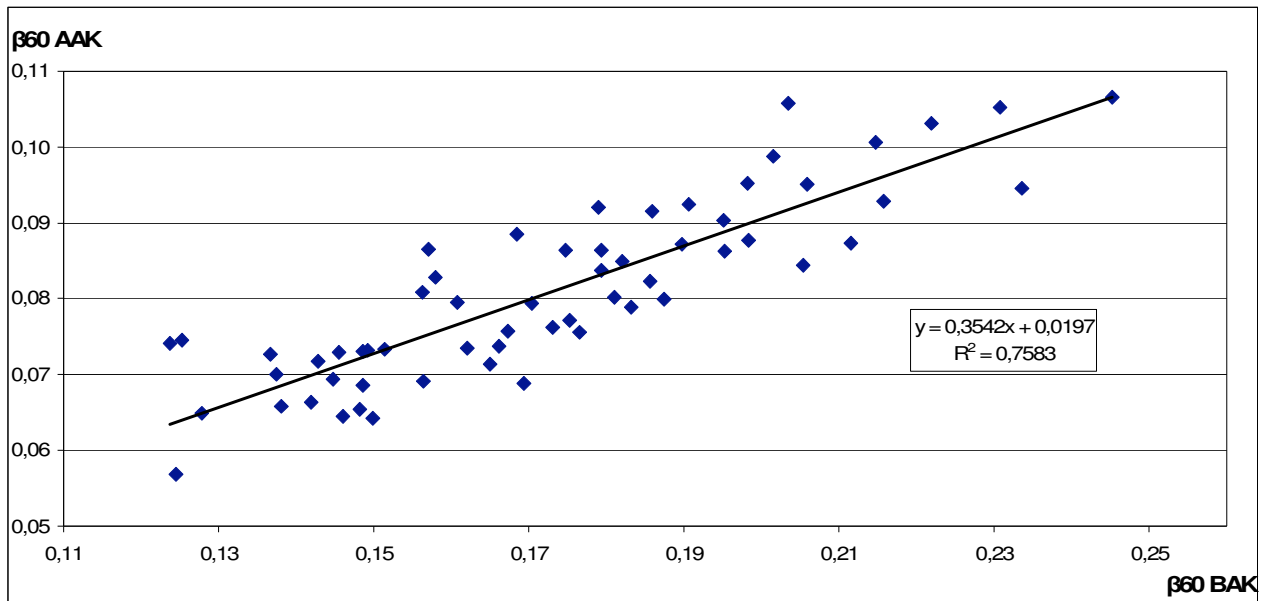


Abb. 7: Korrelation der AAK-Eliminationsraten und der BAK-Eliminationsraten

Die in jedem Eliminationskurvenbereich versuchte Erweiterung der Messpunkte und die lineare Anpassung änderten die Ethanol eliminationsgeschwindigkeiten nur sehr geringfügig. Bei den Frauen ergab sich danach eine Spannbreite bei der BAK von 0,14 g/kg/h bis 0,27 g/kg/h (MW  $\pm$  SD: 0,2  $\pm$  0,03 g/kg/h; Median: 0,18 g/kg/h) und bei der AAK von 0,08 mg/l/h bis 0,12 mg/l/h (MW  $\pm$  SD: 0,1  $\pm$  0,01 mg/l/h; Median 0,09 mg/l/h). Im männlichen Probandenkollektiv variierten die Werte bei der BAK zwischen 0,12 g/kg/h und 0,23 g/kg/h (MW  $\pm$  SD: 0,17  $\pm$  0,03 g/kg/h; Median: 0,17 g/kg/h) und bei der AAK zwischen 0,06 mg/l/h und 0,1 mg/l/h (MW  $\pm$  SD: 0,08  $\pm$  0,01 mg/l/h; Median: 0,08 mg/l/h).

#### 4.8 Bestimmtheitsmaß $R^2$

Zuletzt wurde das Bestimmtheitsmaß berechnet. Da die Zahl der Messpunkte in die Berechnung des Bestimmtheitsmaßes eingeht, wurden ausschließlich die Fälle berücksichtigt, bei denen die Anzahl der Messpunkte für die AAK- und BAK-Kurvenbereiche identisch waren. Sechs Fälle führten daher zum Ausschluss (siehe 4.7). Die Überprüfung des Datenmaterials wies zusätzlich zwei Ausreißer auf, deren BAK-Bestimmtheitsmaß über der vierfachen Standardabweichung des Mittelwertes lag.

Diese wurden ebenfalls ausgeschlossen, wodurch 60 Männer und 32 Frauen in den Vergleich der Bestimmtheitsmaße eingingen.

Weiterhin wurden die Bestimmtheitsmaße der erweiterten Kurven berechnet. Da nicht in jedem Kurvenbereich erweitert werden konnte, ergaben sich für die Berechnung der Bestimmtheitsmaße bei der AAK für die männlichen Probanden 51 Werte und für die weiblichen Probanden 32 Werte. Bei der BAK konnten 53 Werte bei den Männern und 28 Werte bei den Frauen berechnet werden. Tabelle 5 zeigt unter Betrachtung des Mittelwertes, dass sich das Bestimmtheitsmaß bei den erweiterten Kurven erhöht hatte.

	konservativ		erweitert	
	AAK	BAK	AAK	BAK
Mittelwert	0,9966	0,9951	0,9978	0,9971
Standard-abweichung	±0,0032	±0,0076	±0,0013	±0,0027
Median	0,9977	0,9974	0,9977	0,9961
Minimum	0,9856	0,9631	0,9947	0,9890
Maximum	1,0000	1,0000	0,9995	0,9996

Tab. 5a: Bestimmtheitsmaße der linearen Eliminationsfunktion in der konservativen und erweiterten Regression bei Frauen

	konservativ		erweitert	
	AAK	BAK	AAK	BAK
Mittelwert	0,9918	0,9935	0,9959	0,9963
Standard-abweichung	±0,0160	±0,0093	±0,0062	±0,0062
Median	0,9966	0,9965	0,9970	0,9979
Minimum	0,8903	0,9537	0,9673	0,9580
Maximum	1,0000	1,0000	0,9997	1,0000

Tab. 5b: Bestimmtheitsmaße der linearen Eliminationsfunktion in der konservativen und erweiterten Regression bei Männern



## 5 Diskussion

### 5.1 Probandenauswahl und Versuchsbedingungen

Ziel der Studie war der Vergleich von BAK- und AAK-Kinetik an einer genügend großen Fallzahl von Probanden. Die vorliegende Studie wurde daher parallel an den rechtsmedizinischen Instituten der Ludwig-Maximilians-Universität München und der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg durchgeführt. Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind die an der LMU München durchgeführten Untersuchungen.

Die Probandenzahl mit  $n=100$  in jedem der beiden Zentren, folglich 200 Probanden insgesamt, überstieg die Fallzahlen bisheriger Studien deutlich. So standen Jones und Andersson (2003) in einem vergleichbaren Versuch 18 Probanden zur Verfügung. Jachau et al. (2004) untersuchten ein Kollektiv von 56 Probanden. Die hohe Fallzahl war notwendig, um erstens auf unrealistische Standardisierung verzichten zu können, und zweitens sollte eine geschlechtsspezifische Untergruppenanalyse durchgeführt werden (siehe 5.7).

Vorgabe war, den Versuch möglichst restriktionsfrei und damit realistisch zu gestalten. So war im Unterschied zu früheren Untersuchungen eine Nahrungsaufnahme freigestellt und nicht limitiert worden. Der Einfluss von Nahrungsingestion vor allem auf die Alkoholresorption im Vergleich zur Nüchternheit wurde vielfältig untersucht und diskutiert. Interessanterweise beeinflusst enterale Nahrungsaufnahme auch die Alkoholelimination nach parenteraler Alkoholinfusion (Hahn et al. 1994).

Bei den Trinkzeiten wurde den Probanden ebenfalls eine relativ freie Einteilung bis zu ca. 2,5 h zugestanden. Die meisten Versuchsgruppen veranstalteten eine gesellige Trinkrunde. Einigen fiel es schwer, die individuell berechnete Alkoholmenge in der vorgegebenen Zeit aufzunehmen. In Ausnahmefällen, z.B. bei Probanden die vegetative Reaktionen zeigten, wurde eine etwas verlängerte Trinkzeit akzeptiert. Andere versuchten, die Trinkmenge durch „forciertes“ Trinken so schnell wie möglich zu bewältigen. Hierbei kam es bei manchen Versuchsteilnehmern zu extrem

hohen Alkoholbelastungen (z.B. bis 1,18 g/kg/h, siehe 4.1), die weit über dem Bereich von 0,5-0,8 g/kg/h lagen, der in der Rechtsprechung des Bundesgerichtshofes als „normaler“ Trinkverlauf angesehen wird. Über diesen Bereich hinaus wird von „forciertem“ Trinken gesprochen (BGH 4 StR 1974). Hohe Alkoholbelastungen sind in standardisierten Experimenten eher selten zu beobachten (Zink und Reinhardt 1980; Rüdell et al. 1981). In Fällen von „forciertem“ Trinken waren psychomotorische, jedoch nicht vegetative Symptome der Versuchsteilnehmer – im subjektiven Eindruck der Versuchsleiterin – deutlich vorhanden. Sie unterschieden sich jedoch nicht von denen der anderen Probanden. Auch bei Vergleich der Trinkzeit mit der anamnestisch erfassten Alkoholgewöhnung war keine Korrelation festzustellen (siehe 4.3).

## **5.2 Anflutungskinetik von BAK und AAK, Gipfelzeiten**

Ebenso wie die Alkoholbelastung und die Trinkzeit variierte auch die Anflutungsgeschwindigkeit. Die Trinkzeit beeinflusste im vorliegenden Versuch die Anflutungsgeschwindigkeit deutlich (siehe 4.3). Die Anflutungsgeschwindigkeit zeigte sich in der Steilheit des Anstiegs der Konzentrationskurven. Auffällig war, dass die Kurvenanstiege bei der AAK steiler zum Gipfelzeitpunkt zuliefen als bei der BAK. Im Vergleich der AAK mit der BAK zeigte sich ein umso steilerer Anstieg der Konzentrationskurve, je kleiner der Konversionsfaktor  $Q$  (BAK/AAK) war. Wie schon in Kapitel 1 beschrieben, verlaufen arterielle BAK – proportional dazu die AAK – und venöse BAK in der Anflutungsphase zeitversetzt. Der Konversionsfaktor  $Q$  zeigt sich daher in dieser Phase niedrig. So berichteten auch Gilg et al. (2000) und Jones und Andersson (2003) von niedrigen  $Q$ -Werten in der Resorptionsphase. Allerdings konnten gerade in dieser Phase die forensisch vorgeschriebenen Wartezeiten für die Atemalkoholmessung – wegen unerwünschten Aufhaltens des Trinkablaufes und somit der Anflutung - nicht immer eingehalten werden (siehe 3.2.2). So konnte es im vorliegenden Versuch in Einzelfällen zu fälschlichen Überhöhungen der AAK-Messwerte z. B. durch Mundrestalkohol kommen, die ebenfalls zur Absenkung des Konversionsfaktors  $Q$  geführt hatten. Fehler, die dadurch entstanden sind, blieben allerdings verhältnismäßig klein. Durch Kontrolle der Differenz der Einzelmessergebnisse konnten große Verfälschungen ausgeschlossen werden

(siehe 3.2.2). Weiterhin muss erwähnt werden, dass die Anflutungsphase aus wissenschaftlicher Sicht nur mit parenteraler Ethanolapplikation genau untersucht werden kann (Dettling et al. 2006). Für forensische Zwecke ist eine solche Standardisierung jedoch nicht relevant, da in der Realität eine parenterale Zuführung von Alkohol nicht gegeben ist und eine rechnerische Beurteilung in der Anflutungsphase in foro nicht stattfindet.

Die Anflutungsgeschwindigkeit hängt nach dem Fick'schen Gesetz vom Konzentrationsgefälle zwischen den Verteilungsräumen ab. Bei etwa gleich bleibender Zufuhr und mit zunehmender Höhe der Ethanolkonzentration sinkt die Anflutungsgeschwindigkeit. Im weiteren Verlauf steigt der Q-Wert an. Im vorliegenden sowie auch in anderen Versuchen (Wittig et al. 2000) wiesen die Q-Werte in der Anflutungsphase - insbesondere im Vergleich zu Q bei gleicher Konzentration in der Eliminationsphase - eine sehr hohe Schwankungsbreite auf (siehe 4.4). Mit dem Ausdruck  $(dca/dt - dcv/dt)$  im KT in der von Wehner et al. (2000) aufgestellten Gleichung ist das gut nachzuvollziehen. In der Anflutungsphase werden die Konzentrationsänderungen durch Einflüsse wie Trinkzeit und Resorption bedingt.

Die unterschiedliche Lage der Gipfel der AAK-Kurve und der BAK-Kurve ergibt sich durch die physiologischen Hintergründe (siehe Kapitel 1) zwangsläufig. Der Zeitunterschied der Kurvengipfel von AAK und BAK lag im Durchschnitt bei etwas über 15 Minuten. Die maximale AAK wurde meist bereits in der ersten Viertelstunde nach Trinkende erreicht. Die Gipfelwerte der BAK traten mehrheitlich im Zeitraum von einer Viertelstunde bis einer Stunde nach Trinkende auf (siehe Abb. 1). Es muss daher beachtet werden, dass Messungen der Atemalkoholkonzentration, die zu früh nach Trinkende im Bereich der Gipfelkonzentration durchgeführt werden, zu einer in Bezug auf die BAK relativ überhöhten AAK führen. Im Vergleich zur BAK, je nach forensischer Fragestellung, führt dies gegebenenfalls zu einer (ungerechtfertigten) Belastung des Probanden.



### 5.3 Bedeutung des Konversionsfaktors Q und seiner Einflussgrößen

Der Konversionsfaktor Q ist von entscheidender Bedeutung bei der Diskussion um die Anwendung von AAK in forensischen Verfahren, da über ihn auf Blutalkoholkonzentrationen geschlossen wird (Schuff et al. 2002).

Der unter Kapitel 5.2 diskutierte Zeitversatz der Gipfelkonzentrationen und die dadurch bedingte Phasenverschiebung der Kinetikkurven ergaben auch deutliche Unterschiede bei den jeweiligen Konversionsfaktoren Q. Von Bedeutung sind aber unter forensischen Aspekten weniger die zeitparallelen Veränderungen des Faktors Q, sondern in erster Linie das jeweils erreichte Werte-Niveau. Geht man von der in der gegenwärtigen Rechtsprechung vorausgesetzten Relation der AAK-Grenzwerte von 1 zu 2000 ( $0,5 \text{ g/kg BAK} \times (0,25 \text{ mg/l})^{-1} \text{ AAK}$ ) im Vergleich zu den BAK-Grenzwerten aus, die in erster Linie die Relation in der Elimination repräsentieren soll, so sollten AAK-Messungen zum Nachweis einer Grenzwertüberschreitung auch nur in einem Bereich angewandt werden, in dem Resorptionsvorgänge so weitgehend abgeschlossen sind, dass Q-Werte in einer Größenordnung von 2 angenommen werden können.

Q ist weitaus abhängiger vom Zeitpunkt der Probengewinnung, als das herangezogene Verhältnis von BAK- zu AAK-Grenzwerten bei Ordnungswidrigkeitstatbeständen suggeriert. Bei der Betrachtung von Q sollen im Folgenden vier Phasen der Alkoholkinetik differenziert werden (siehe Abbildung 3): Resorptionsphase, Distributionsphase, lineare Eliminationsphase, asymptotische Eliminationsphase.

Resorptionsphase: In der Anflutungsphase bewegt sich der Konversionsfaktor deutlich unterhalb 2, wie eindrücklich an der Analyse von fünf Probanden (siehe Abb. 3) gezeigt wurde, deren Kinetiken sich quantitativ wie auch im Zeitverlauf (Trinkende, Gipfelkonzentrationen und  $\beta_{60}$ ) entsprachen. Auch am Gesamtkollektiv zeigt sich, dass 30 Minuten nach Trinkende nicht einmal 50 % des Untersuchungskollektivs ein Q von 2 erreicht hatten (siehe Abbildung 4). Die Ursache hierfür ist

eben in dem oben beschriebenen Zeitversatz der Gipfelkonzentrationen zu suchen (Schuff et al. 2002).

Distributionsphase: Die Gipfelkonzentrationen fallen in die Distributionsphase (Gilg 2006) . Der Konversionsfaktor der maximalen Werte (BAK und AAK) bezogen auf den Median wurde in der vorliegenden Untersuchung mit 1,91 ermittelt. Das heißt, in forensischen Verfahren wird mit einem Q von 2 die BAK anhand der AAK falsch hoch berechnet, wenn auch im Mittel nur gering (4,5 % bezogen auf den Median), so doch im Einzelfall bis zu 60,5 %.

Lineare Eliminationsphase: In der sicher linearen Elimination, d.h. zwei Stunden nach Erreichen der maximalen BAK, weisen alle 100 Probanden ein Q von über 2 auf (siehe Abbildung 4). Die parallel zu unserer Studie durchgeführte Untersuchung an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg zeigt jedoch - bei gleich großem Probandenkollektiv (n=100) - vier Probanden, die während der gesamten Eliminationsphase ein Q von 2 nicht erreichen (Dettling et al. 2006). Die Beobachtung in unserem Probandenkollektiv deckt sich mit den orientierenden Untersuchungen einer schwedischen Gruppe (Jones und Andersson 2003; Lindberg et al. 2006). Auch eine neuseeländische Feldstudie mit alkoholisierten Autofahrern zeigte deutlich über 2 liegende Konversionsfaktoren (Gainsford et al. 2006).). Zu berücksichtigen ist bei diesen zitierten Arbeiten, dass landesspezifische Geräte eingesetzt wurden. Die Auswahl des Gerätes, die Durchführung deren gesetzlich vorgeschriebenen Eichung und Wartung sowie die Anwendung standardisierter Protokolle bei ihrem Einsatz sind von kritischer Bedeutung. Eine vergleichende Untersuchung in verschiedenen US-amerikanischen Bundesstaaten belegt die Notwendigkeit dieser Faktoren (Gullberg 2003). Mit fortlaufender linearer Elimination, gerade im forensisch relevanten Bereich (AAK um 0,25 mg/l), erreichte in unserem Untersuchungsgut Q mittlere Werte von 2,3-2,4 (siehe Abbildung 3 und 5). Das heißt, in forensischen Verfahren wird mit einem Q von 2 die BAK anhand der AAK falsch niedrig berechnet. Die Schwankungsbreite ist allerdings nicht mehr so hoch wie in der Resorptionsphase (siehe 4.4). Hier wird der von Wehner et al. (2000) beschriebene Ausdruck ( $dca/dt - dcv/dt$ ) konstant, da die Eliminationsgeschwindigkeit weitestgehend gleich bleibt. Veränderungen von Q werden nicht mehr von den Konzen-

trationsänderungen und nur noch in geringem Ausmaß vom Konzentrationsniveau provoziert (Graw und Haffner 2003; Haffner et al. 2003).

Asymptotische Eliminationsphase: Wie schon unter Kapitel 1 beschrieben, nähert sich die BAK-Kinetikkurve in dieser Phase, unter einer BAK von 0,2 g/kg, mit einer Michaelis-Menten-Kinetik asymptotisch der Abszisse (Zeitverlauf) an. Dies trifft dagegen nicht auf die AAK-Kinetikkurve zu, die überwiegend in Form einer Kinetik der 0. Ordnung auf die Abszisse zuläuft. Da also die AAK-Werte die zugehörigen BAK-Werte unterlaufen, ergeben sich extrem ansteigende Q-Werte. Eine Umrechnung in dieser Phase, mit welchem Konversionsfaktor auch immer, kann nicht als sinnvoll betrachtet werden (Schuff et al. 2002).

## 5.4 Widmark-Faktor $r$

Der Reduktionsfaktor  $r$  wird allgemein, begründet im unterschiedlichen Anteil des Körperwassers am Körpergewicht, für Frauen mit 0,6 und Männer mit 0,7 (Gilg 2006) angenommen. In Studien wurde allerdings eine erhebliche Streuung der Mittelwerte des Widmark-Faktors  $r$  für die BAK unter Berücksichtigung des Resorptionsdefizites allgemein zwischen 0,7 und 0,8 ermittelt (Zink und Wendler 1978). Somit befand sich der Mittelwert des Widmark-Faktors  $r$  im vorliegenden Versuch für die BAK (MW  $\pm$  SD:  $0,66 \pm 0,11$ ; Spannbreite: 0,47 – 0,95 für Männer; MW  $\pm$  SD:  $0,66 \pm 0,10$ ; Spannbreite: 0,43 – 0,89 für Frauen) unter den in der Literatur angegebenen Werten. Nach Einbeziehung von weiteren Messpunkten, die im Rahmen der Erweiterung der 0. Funktion an die Kurve angelegt wurde (siehe 3.3.3), betrug die Spannbreite der Werte für den Widmarkfaktor  $r_{\text{BAK erw}}$  zwischen 0,43 und 1,17 (MW  $\pm$  SD:  $0,66 \pm 0,11$ ; Median: 0,63). Für den Widmark-Faktor  $r_{\text{AAK erw}}$  variierten die Werte zwischen 0,94 und 2,68 (MW  $\pm$  SD:  $1,48 \pm 0,25$ ; Median: 1,40). Damit waren keine Veränderungen hinsichtlich des Wertes für den Widmark-Faktor zu verzeichnen. Die geschlechtsspezifische Betrachtung des Widmarkfaktors wird unter Kapitel 5.6 diskutiert.

## 5.5 Akzeleration der Eliminationsrate $\beta_{60}$

In der vorliegenden Untersuchung wurde die BAK-Eliminationsrate  $\beta_{60}$  mit  $0,173 \pm 0,029$  g/kg/h (MW  $\pm$  SD) bei Männern und  $0,201 \pm 0,034$  g/kg/h (MW  $\pm$  SD) bei Frauen ermittelt. Beim Vergleich mit der zurückliegenden Literatur fiel nicht nur auf, dass diese Werte vergleichsweise hoch lagen, sondern auch, dass die berichteten Eliminationsgeschwindigkeiten über die Jahre zunahmen. Dies schien vor dem Hintergrund einer angenommenen ebenfalls zunehmenden Alkoholgewöhnung über die Jahrzehnte nicht verwunderlich. Andererseits könnten auch veränderte Untersuchungsbedingungen bei den neueren Arbeiten für dieses als Akzeleration interpretiertes Phänomen verantwortlich zeichnen. Deshalb wurde die Literatur hinsichtlich Arbeiten zu  $\beta_{60}$ -Werten ausgewertet, die einen vergleichbaren Versuchsaufbau aufwiesen. Dies bezog sich überwiegend auf männliche Probanden, Trinkmenge, Alkoholbelastung und Nahrungsaufnahme. Sieben streng vergleichbare Studien aus den Jahren 1936 bis 1994 konnten herangezogen werden (Abele 1955; Elbel 1956; Forster und Joachim 1975; Dittmann 1985; Graw et al. 1990; Jones 1993). So beschrieb Elbel 1956 zwei Studien aus den 30er Jahren (Kriebs 1934; Mayer 1936), die Eliminationsraten von 0,108 g/kg/h und 0,138 g/kg/h aufwiesen. Abele (1955) berichtete über eine Eliminationsrate von 0,14 g/kg/h bei neun männlichen Probanden. Bei der Studie von Forster (1961) mit 92 männlichen Probanden ergab sich eine durchschnittliche Eliminationsrate von 0,161 g/kg/h, ebenso wie bei Dittmann (1985) mit einem Probandenkollektiv von sieben Männern. In der Studie mit 10 männlichen Probanden von Graw et al. (1990) wurde ein  $\beta_{60}$ -Wert von 0,136 g/kg/h bestimmt. Bei Jones (1993) lag die Eliminationsgeschwindigkeit, ermittelt aus 65 männlichen Probanden, bei 0,141 g/kg/h.

Fischer et al. (2005) zogen zum Vergleich mit den genannten Literaturstellen die Eliminationsraten aus dem gesamten männlichen Kollektiv der Daten der Heidelberger Versuchsreihe (siehe 5.1) und derer der vorliegenden Versuchsreihe heran (n=97). Dabei war bei einseitiger Testung eine signifikante Steigerung des  $\beta_{60}$ -Wertes festzustellen ( $p < 0,05$ ). Vergleicht man die in der Literatur recherchierten sieben Daten zu den Eliminationsgeschwindigkeiten der BAK mit dem durchschnittlichen  $\beta_{60}$ -Wert des männlichen Untersuchungskollektives (n=60) der vorliegenden

Arbeit (0,173 g/kg/h), so stellt sich hier bei einseitiger Testung ebenfalls eine signifikante Akzeleration ( $p < 0,05$ ) dar (siehe Abbildung 8).

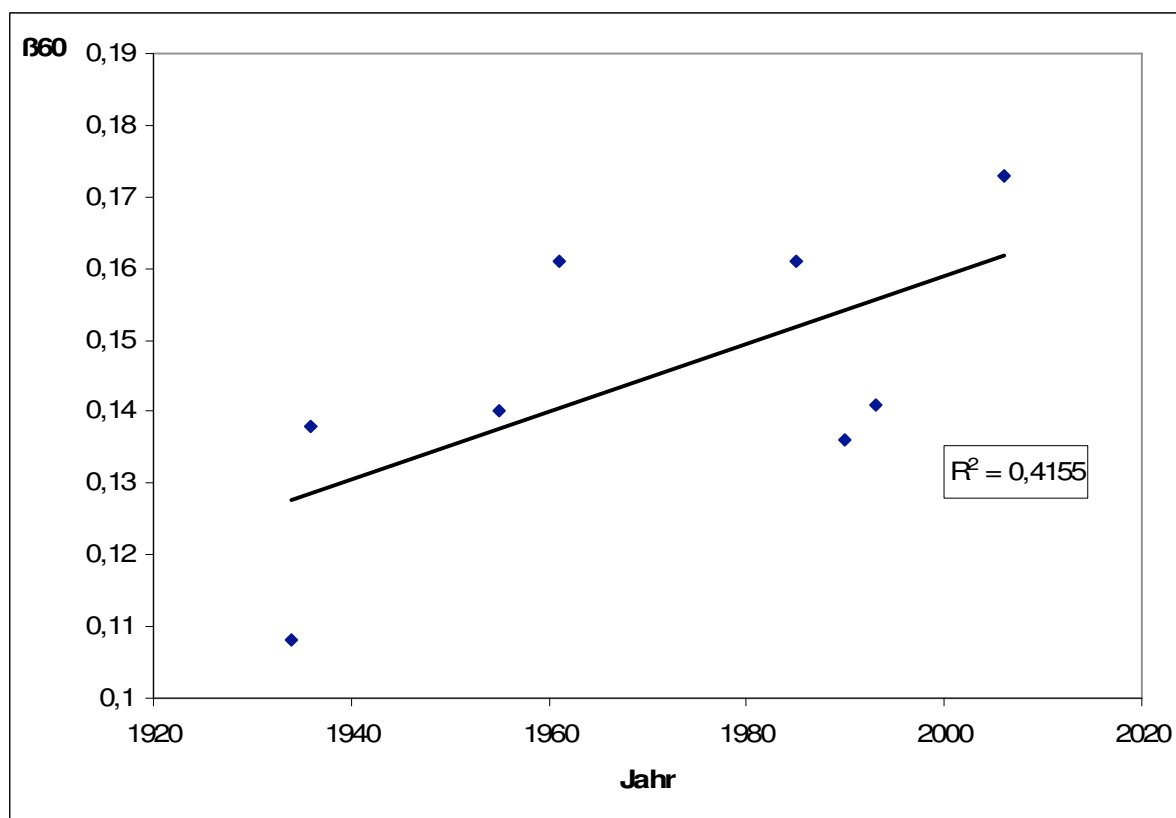


Abb. 8: Streudiagramm vergleichbarer Studien zur Ethanolabbaugeschwindigkeit (überwiegend männliche Kollektive)

Die These, dass eine zunehmende Alkoholgewöhnung die Ursache für die beobachtete Akzeleration darstellen könnte, ließ sich allerdings durch die eigenen Daten nicht untermauern. Ein Zusammenhang zwischen Alkoholgewöhnung und Eliminationsrate war nicht nachweisbar. Dies zeigt in graphischer Darstellung Abbildung 9. Diese Beobachtung steht jedoch im Widerspruch zu den Angaben anderer Untersucher (Bonnichsen et al. 1968; Adachi et al. 1989; Haffner et al. 1991; Schröter et al. 1995). Haffner et al. 1992 fordern sogar, eine Eliminationsrate von mindestens 0,3 g/kg/h bei Rückrechnungen von Alkoholkranken zu Grunde zu legen, um diese in forensischen Gutachten nicht zu benachteiligen. Die in der vorliegenden Arbeit erfragten Gewöhnungswerte von durchschnittlichen 150 g Ethanol/Woche liegen jedoch deutlich unter dem in der jüngeren Literatur angegebenen Gefährdungsgrenzwert von 210 g Ethanol/Woche (Fischer et al. 2005). Auch waren

sämtliche Laborwerte im Normbereich, so dass es sich hier um ein valides Normalkollektiv handelt.

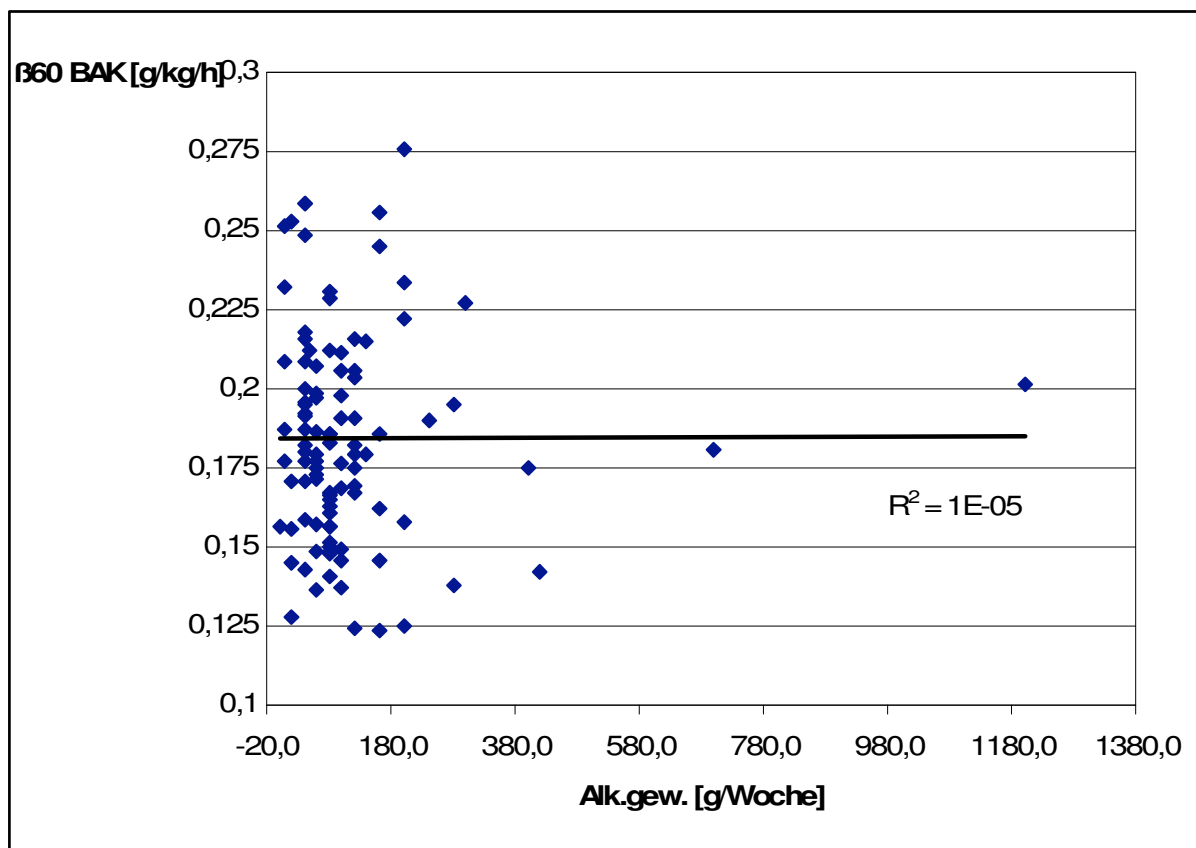


Abb. 9: Abhängigkeit der  $\beta_{60}$ -Werte ( $n=100$ ) der Blutalkoholkonzentration von der anamnestisch erfassten Alkoholgewöhnung

Im Endeffekt sprechen die diskutierten Beobachtungen, gerade im Hinblick auf die forensische Praxis, für eine Neubetrachtung und differenzierte Anwendung der Eliminationsraten zur Rückrechnung. Eine Benachteiligung von Probanden bei der Berechnung der Maximal-BAK mit derzeitigen  $\beta_{60}$ -Werten erscheint wahrscheinlich.

## 5.6 Geschlechtsabhängigkeit der BAK- und AAK-Eliminationsraten und des Widmarkfaktors

Wie im vorangegangenen Kapitel 5.5 schon berichtet wurde, hatten die Eliminationsgeschwindigkeiten ( $\beta_{60}$ ) von Frauen die von Männern um deutlich über 15 % sowohl bei der BAK als auch bei der AAK signifikant überstiegen. Aufgrund der Unterschiede scheint es wissenschaftlich nicht mehr gerechtfertigt, Frauen und Männer einer gemeinsamen Bewertung zu unterziehen. Zwar werden bei der Abschätzung einer Alkoholkonzentration aus der Trinkmenge mittels der Widmark-Formel Geschlechtsunterschiede berücksichtigt, nicht aber bei der Rückrechnung der BAK über die Eliminationsrate. Diese forensische Praxis einer geschlechtsunabhängigen Festlegung von Rückrechnungswerten ist vor dem Hintergrund der eigenen wie der in der Literatur berichteten in Zweifel zu ziehen. Auch die Höhe und Variationsbreite der Eliminationsgeschwindigkeit, gestützt auf die BAK-Eliminationsraten, entsprechen weder bei den Männern noch bei den Frauen der Spannbreite, die nach höchstrichterlicher Rechtsprechung für die forensische Anwendung vorgegeben ist. Während man allgemein von einer durchschnittlich BAK-Eliminationsgeschwindigkeit von ca. 0,15 g/kg/h ausgeht, lagen die mittleren Eliminationsraten in den vorgestellten Kollektiven zumindest bei den Frauen mit 0,201 g/kg/h deutlich darüber. Über 50 % aller Frauen überschritt den üblicherweise in forensischen Verfahren angewandten maximalen Rückrechnungswert von 0,20 g/kg/h. Die langsamste Eliminationsgeschwindigkeit bei einer Frau lag mit 0,14 g/kg/h in deutlichem Abstand zur bisherigen Mindest-Eliminationsrate von 0,10 g/kg/h. Bei den Männern war die Abweichung zu den bisherigen forensischen Rückrechnungswerten geringer. Auch hier lag die kleinste beobachtete Eliminationsrate mit 0,124 g/kg/h über der Mindest-Eliminationsrate von 0,10 g/kg/h. Bei über 18 % der Männer betrug die Eliminationsrate mehr als 0,20 g/kg/h.

Ungewöhnlich hohe Eliminationsraten waren in den letzten Jahren verschiedentlich auch in anderen Untersuchungskollektiven beobachtet worden, ohne dass sich bei den Probanden Hinweise auf normabweichenden Alkoholkonsum ergeben hätten (Schröter et al. 1995; Haffner et al. 2002; Jachau et al. 2004). Es erscheint also nicht nur notwendig, künftig geschlechtsspezifische Unterschiede, sondern auch ein

verändertes Niveau und veränderte Spannbreiten der Eliminationsgeschwindigkeit zu beachten.

Die  $\beta_{60}$ -Werte für die Rückrechnungen der Alkoholkonzentration aus der AAK sind weit weniger untersucht worden. Jachau et al. (2004) berichteten über 56 Einzelkurven, 28 Frauen und 28 Männer, mit einer Eliminationsgeschwindigkeit von  $0,079 \pm 0,0195$  mg/L/h bei geschlechtsunabhängiger Auswertung.

In der vorliegenden Arbeit wird die beschleunigte Elimination bei Frauen auch für die AAK voll bestätigt. Jones und Andersson errechneten für insgesamt neun Frauen eine AAK-Eliminationsrate von  $0,086 \pm 0,011$  mg/L/h und für insgesamt neun Männer von  $0,075 \pm 0,006$  mg/L/h (Jones und Andersson 2003). Im Vergleich dazu liegen die hier vorgestellten Werte höher. Dies entspricht aber auch den Relationen der jeweils parallel berechneten BAK-Eliminationsraten, die in den zitierten Untersuchungen ebenfalls etwas unterhalb der hier ermittelten Werte lagen.

Der hier beobachtete Geschlechtsunterschied wurde auch von anderen Arbeitsgruppen beobachtet (Sutker et al. 1987; Li et al. 2000; Gubala und Zuba 2003; Jones und Andersson 2003), wobei die Ursachen noch nicht geklärt sind. Diskutiert werden u. a. Einflüsse von Geschlechtshormonen auf alkoholabbauende Enzymsysteme (Arthur et al. 1984; Sutker et al. 1987; Van Thiel et al. 1988; Mezey et al. 1989; Mezey 2000), geschlechtsspezifische Unterschiede im „First-Pass“-Metabolismus (Frezza et al. 1990; Seitz et al. 1993; Lieber 2000) und die unterschiedliche Relation von Verteilungsvolumen und Lebermasse (Van Thiel et al. 1988; Kwo et al. 1998; Li et al. 2000; Mezey 2000; Baraona et al. 2001; Sato et al. 2001). Nur von wenigen Autoren wurden die Geschlechtsunterschiede negiert (Hahn et al. 1994; Lucey et al. 1999; Seidl et al. 2000; Nyberg et al. 2004). Aus Sicht der Verfasserin kann allerdings der „First-Pass“-Metabolismus nur für eine insgesamt beschleunigte Elimination im Sinne eines erhöhten Alkoholdefizits ursächlich sein, nicht aber für Eliminationsraten, die zwei Stunden nach Trinkende bezogen auf systemvenöse Konzentrationen gemessen werden. Für die beschleunigte Eliminationsrate  $\beta_{60}$  ist nach Mezey (2000) eher der eliminationshemmende Einfluss von Androgenen bei Männern verantwortlich, weniger ein eliminationsfördernder



Effekt von Östrogenen bei Frauen, wie auch von King und Hunter (2005) bestätigt wurde.

Dagegen sind die auch in dieser Arbeit beobachteten höheren Gipfelkonzentrationen bei Frauen gegenüber Männern mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das geringere Verteilungsvolumen bei Frauen zurückzuführen wie im geschlechtsspezifischen Widmarkfaktor schon berücksichtigt wurde (Mezey 2000). Dieser Beobachtung widerspricht allerdings, dass die in dieser Arbeit sowohl aus BAK als auch aus AAK ermittelten Widmarkfaktoren sich zwischen Männern und Frauen nicht unterscheiden. Eine mögliche Erklärung wäre, dass die Lebermasse bei Frauen in Relation zum Verteilungsraum größer ist als bei Männern (Dettling et al. 2007).

## **5.7 Erweiterung der Eliminationskinetik über den linearen Bereich hinaus**

Ex post lässt sich bei einer Anzahl individueller Probanden ein linearer Verlauf der Alkoholelimination weit außerhalb des Bereiches beobachten, welcher ex ante als sicherer linearer Bereich definiert werden musste, z.B. auch innerhalb der ersten beiden Stunden nach Trinkende. Deshalb wurde versucht, mittels mathematischer Anpassung weiterer Anteile der Eliminationskurve, mehr Messzeitpunkte für die Berechnung der Eliminationskinetik ( $\beta_{60}$ -Werte,  $c_0$ , Widmarkfaktor  $r$  sowie Ermittlung vergleichbarer Konversionsfaktoren  $Q$ ) zu gewinnen. Das unter Ergebnisse (siehe 4.7) beschriebene Verfahren zur Erweiterung des linearen Bereiches konsolidiert die schon errechneten kinetischen Größen. Tatsächlich erhöht sich das Bestimmtheitsmaß  $R^2$  durch Erweiterung der linearen Regression über den als sicher linear definierte Elimination hinaus. Dies kann auf die zusätzlich zur Berechnung verfügbaren Messzeitpunkte zurückgeführt werden (Tabellen 3a und 3b). Allerdings muss, anders als bei einer ausschließlich wissenschaftlichen Fragestellung, die Zulässigkeit eines solchen mathematischen Vorgehens bei forensischen Verfahren kritisch diskutiert werden.

## 5.8 Möglichkeiten und Limitationen der AAK-Bestimmung

### Zeitfenster der Analyse

Der Konversionsfaktor Q lässt sich entsprechend § 24a StVG für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit der Gleichung  $BAK = AAK \times 2000$  (0,5 g/kg BAK / 0,25 mg/l AAK) angeben (Schuff et al. 2002). Die Mindest-Wartezeit für eine Atemalkoholanalyse liegt nach den derzeitigen Durchführungsbestimmungen bei 20 Minuten nach Trinkende (Maatz 2002). Zu diesem Zeitpunkt hatten nicht einmal 40 % des vorliegenden Untersuchungskollektivs einen Konversionsfaktor von 2 erreicht. Die Bedeutung des Wertes 2 wurde bereits an früherer Stelle erklärt (s. Kap.1 Einleitung, Grundlagen der Atemalkoholkonzentration-Kinetik). Diese Beobachtung bestätigen auch die Ergebnisse von Schuff et al. (2002). Wie bereits in Kapitel 5.2 und von Schuff et al. (2002) angesprochen, ist zu diskutieren, ob eine Wartezeit von zwanzig Minuten nach Trinkende ausreicht. Dies gilt nicht nur für Fragen nach der Grenzwertüberschreitung, sondern auch bei Fragestellungen, in denen die AAK-Messwerte die Basis einer Rückrechnung bilden sollen. Es geht nicht allein darum, ob Q den Wert 2 erreicht hat, sondern vielmehr um einen stabilen linearen Verlauf der Kinetikkurve. Allerdings ist eine Rückrechnung so kurz nach Trinkende nur in seltenen Fällen notwendig, außer es liegt eine Nachtrunkbehauptung vor. Hat ein Nachtrunk tatsächlich stattgefunden, kann dieser zu einer vorübergehenden relativen Überhöhung der AAK-Werte führen (siehe 5.3). Dies wirkt sich bei nicht abgeschlossener Resorption auf den Probanden zum Nachteil aus (bei postulierter verminderter Schuldfähigkeit u.U. auch zum Vorteil). Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass - so wie für die BAK in der forensischen Ethanolkinetik ein rückrechnungsfreier Zeitraum festgelegt wurde - auch für Berechnungen mit der AAK ein gewisser Zeitabstand vom Trinkende zu bestimmen ist. Darüber hinaus muss genauer diskutiert werden, inwieweit die in Kapitel 5.5 besprochene Akzeleration der Eliminationsgeschwindigkeit und der in Kapitel 5.6 beschriebene Geschlechtsunterschied – letzteres im vorliegenden Versuch auch für die AAK-Kinetik festgestellt - Anlass geben, die Rückrechnungswerte, gerade im Hinblick auf die forensische Praxis, differenzierter anzuwenden.

### Compliance

Gerade bei der Atemalkoholanalyse ist der Anwender des Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® auf die Compliance des Probanden angewiesen. Zum einen muss der Proband in einem definierten Zeitfenster jeweils ein Mindestblasvolumen aufwenden. Zum anderen ist hier die Mitwirkung des Probanden, ähnlich wie bei der Abgabe einer Urinprobe, eine aktive Maßnahme, die er verweigern kann. Dagegen kann die Blutentnahme - als passiv zu duldenende Maßnahme – angeordnet und auch unter polizeilichem Zwang durchgeführt werden (Gilg 2006).

### Doppelbestimmung

Der Begriff Doppelbestimmung wird bei der Blutalkoholmessung und der Atemalkoholanalyse unterschiedlich verwendet. Bei der Blutalkoholmessung werden aus einer identischen Probe jeweils eine Doppelbestimmung mit wiederum jeweils zwei unterschiedlichen Verfahren durchgeführt, also vier Messungen aus einer Probe. Man erhält in jedem Fall den Alkoholwert zu einem definierten Zeitpunkt. Zur Atemalkoholbestimmung mit dem Gerät Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII® müssen zwei verschiedene Proben in einem definierten Zeitfenster gewonnen werden, die mit jeweils zwei verschiedenen Verfahren analysiert werden. Erhalten werden also vier Messungen aus zwei Zeitpunkten. Zusätzlich zu den oben beschriebenen möglichen Problemen mit der Probanden-Compliance können bei steiler Resorptionskinetikkurve oder anfänglicher steiler Eliminationskinetikkurve (siehe 5.2) - beides z.B. im Rahmen eines Sturztrunkes - keine übereinstimmenden Ergebnisse aus den beiden Proben gewonnen werden. Auch in der vorliegenden Arbeit konnte dieses Phänomen beobachtet werden. Unter forensischen Bedingungen darf eine solche Atemalkoholmessung nicht verwertet werden. Inwieweit allerdings Atemalkoholanalysen in der Resorptions-, Distributions- und frühen Eliminationsphase überhaupt sinnvoll sein können, wird ausführlich bei der Betrachtung des Konversionsfaktors Q (siehe 5.2 und 5.3) diskutiert.

### Nicht-ingestierte Alkohole und chemische verwandte Substanzen

Schmidt et al. (2000) berichteten von Fehlermeldungen seitens des Gerätes, hervorgerufen durch zahlreiche Störfaktoren wie z.B. beim Tragen von bestimmten alkoholhaltigen Kosmetika oder bei der Verwendung von Mundpflegemitteln. Problematisch, weil vom Gerät nicht als Fehler erkannt und ausgewiesen, kann die

Anwendung von medizinischen Aerosolen, im besonderen  $\beta$ -mimetischen Antiasthmatica kurz vor der Atemalkoholmessung sein. Eine Wartezeit vor der Messung von fünf bis zehn Minuten wird deshalb in der Literatur empfohlen (Gomez et al. 1995; Ignacio-Garcia et al. 2005; O'Connell und Beckert 2006); vorgeschrieben in Deutschland ist eine zehnminütige Kontrollzeit, in der der Proband nichts konsumieren darf.

### Diätetische Faktoren

Auf den Einfluss von begleitender Nahrungsaufnahme sowohl auf die Alkoholresorption, als auch -elimination wurde zu Beginn der Diskussion (siehe 5.1) schon eingegangen. Nicht ausgeschlossen werden kann aber auch der Einfluss von diätetischen Faktoren auf die Atemalkoholmessung. So können die unter einer eiweißreichen Diät anfallenden Acetone zu Isopropanol reduziert und in der Ausatemluft als falsch hohe Ethanolkonzentrationen gemessen werden (Jones und Rossner 2006). Die sog. „Energy Drinks“ (z.B. Red Bull®) haben dagegen keine Auswirkung auf die Messung der Atemalkoholkonzentration (Ferreira et al. 2006).

### Begleitstoffanalyse, Drogenscreening

Im Unterschied zum Ordnungswidrigkeitsverfahren wird im Strafrechtsverfahren häufiger der Auftrag für eine Begleitstoffanalyse und/oder ein Drogenscreening erteilt. Beides kann noch in Nachhinein aus einer asservierten Blutprobe durchgeführt werden. Die Atemalkoholanalyse leistet dies nicht. Hier bleibt nur die nachträgliche Urin- oder Haaranalyse. Letztere Verfahren sind mit neuen Proben-  
gewinnungen verbunden, müssen je nach gesuchter Droge und Probenmaterial zeitnah (Urin) durchgeführt werden und eignen sich kaum mehr für die Begleitstoffanalyse.

### Probenidentität

Bei Zweifeln an der Probenidentität, d.h. der Übereinstimmung von Probe und Proband, kann diese an einer Blutprobe nachträglich gesichert werden. Die Atemalkoholprobe ist flüchtig und es liegt nur das Messprotokoll vor. Allerdings dürften sich hier weit weniger Möglichkeiten zur Verwechslung ergeben, als bei Kennzeichnung, Transport und prozessualer Verarbeitung einer Blutprobe im Labor.

## Fazit

Das Bestreben von Behörden, deren Aufgabe die Strafverfolgung darstellt, sowie von gesellschaftlichen Gruppen, die sich der immer noch eklatanten Problematik von Alkoholisierung im Straßenverkehr angenommen haben, die Zulassung der AAK-Analyse als alleinige Methode (unter Verzicht von BAK-Bestimmungen) in forensischen Strafverfahren zu verwenden, ist nur allzu verständlich. Der Kostenaufwand für Gewinnung, Bestimmung und gutachterliche Interpretation und die dadurch mitbedingte Verfahrensdauer wären damit eventuell zu reduzieren. Auf dem Boden der in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse ist die alleinige Verwendung von AAK-Analysen zur Rückrechnung unter bestimmten Bedingungen vorstellbar, allerdings ebenso wie die BAK-Bestimmung nur mit sorgfältiger rechtsmedizinischer Interpretation in jedem Einzelfall. Aufgrund der zeitverschobenen Eliminationsphasen von AAK und BAK, sowie dem aus wissenschaftlicher Sicht willkürlichen Verhältnis von  $Q = 2$  bei rechtlich relevanten Grenzwerten wird eine Umrechnung von gemessenen oder rückgerechneten AAK-Werten in BAK-Werte, die dann forensisch herangezogen werden sollen, nie möglich sein. Vielmehr erscheint es sinnvoll, dass AAK-Grenzwerte mit eigener forensischer Bedeutung und durch Studien validiert, auch in Bezug auf den psychomotorischen Status, definiert werden. Die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Phase der Alkoholkinetik, Probandengeschlecht und den neuen Erkenntnissen zur Höhe von Eliminationsraten und vor allem der Konversionsfaktoren erschließen sich aus den in dieser Arbeit vorliegenden Daten eindrücklich.

## 6 Zusammenfassung

Durch die Änderung des § 24a des Straßenverkehrsgesetzes im Jahre 1998 wurde erstmals - alternativ zu dem bisher gültigen Grenzwert von 0,5 bzw. 0,8 g/kg (‰) für die Blutalkoholkonzentration - ein Grenzwert von 0,25 bzw. 0,4 mg/l für die Atemalkoholkonzentration im Bereich der Ordnungswidrigkeiten etabliert.

Verschiedene Institutionen fordern nun die Ausdehnung von Atemalkoholanalysen auch auf den Bereich des Strafrechts.

Die vorliegende Arbeit prüft erstens die hierfür notwendige Validität des Konversionsfaktors für die Umrechnung von Atemalkoholkonzentrationen (AAK) zu Blutalkoholkonzentrationen (BAK) und zweitens die Eignung der Atemalkoholanalyse für die zeitliche Rückrechnung von Blutalkoholkonzentrationen.

Hierzu wurden parallel an den rechtsmedizinischen Instituten der Universitäten Heidelberg und München jeweils eine prospektive vergleichende Untersuchung der Kinetiken von je 100 Probanden im Trinkversuch durchgeführt. Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich mit dem Münchner Probandenkollektiv aus 40 Frauen und 60 Männern. Im Unterschied zu früheren Untersuchungen erlaubt die hohe Fallzahl jedes Untersuchungszentrums eine geschlechtsspezifische Subgruppenanalyse bei dem ansonsten nicht weiter standardisierten Probandenkollektiv und der forensischen Realität entsprechenden nicht standardisierten Trinkbedingungen.

1. Im Vergleich mit der Literatur zeigt die Untersuchung eine über die Berichtsjahre beschleunigte Blutalkoholabbaurate (Akzeleration).
2. Im Gesamtkollektiv überstiegen die mittleren stündlichen Eliminationsgeschwindigkeiten ( $\beta_{60}$ ) sowohl der AAK (MW  $\pm$  SD: 0,087 mg/l/h  $\pm$  0,015) als auch der BAK (MW  $\pm$  SD: 0,184 g/kg/h  $\pm$  0,034) den in der derzeitigen forensischen Begutachtung angenommen Wert (0,15 g/kg/h).
3. Abweichend von der forensischen Praxis, die keine geschlechtsspezifischen Eliminationsgeschwindigkeiten zu Grunde legt, überstiegen zudem die  $\beta_{60}$ -Werte von Frauen (MW  $\pm$  SD: 0,201  $\pm$  0,034 g/kg/h) die der Männer (MW  $\pm$  SD: 0,173  $\pm$  0,029 g/kg/h) um rund 15%.

4. In Abhängigkeit von den - in der vorliegenden Arbeit beschriebenen - vier Phasen der AAK- und BAK-Kinetikkurven, weicht der individuelle Konversionsfaktor  $Q$ , der sich entsprechend § 24a des Straßenverkehrsgesetzes mit 2 ableiten lässt, deutlich unter oder über diesem Wert ab. In der für die Rückrechnung entscheidenden linearen Abbauphase betrug der Konversionsfaktor  $Q_{0,25E}$  (bei einem Atemalkoholwert von 0,25 mg/l in der Eliminationsphase)  $2,33 \pm 0,16$  (MW  $\pm$  SD, Spannweite: 1,8 - 2,82).

Die dargelegten Ergebnisse legen

1. höhere als bisher angenommene Blutalkoholeliminationsgeschwindigkeiten ( $\beta_{60}$ ) und auch entsprechend hohe Atemalkoholeliminationsgeschwindigkeiten nahe, bieten
2. Evidenz für die Berücksichtigung geschlechtsspezifischer Eliminationsgeschwindigkeiten ( $\beta_{60}$ ) und
3. fordern eine Neubewertung des Konversionsfaktors  $Q$  in Abhängigkeit der Phase der Alkoholkinetik.

Aus der Studie ergibt sich, dass die Atemalkoholkonzentration nicht problemlos in der heutigen Version (Trinkenende + 20 min Wartezeit) verwendet werden kann. In der sicher linear definierten Eliminationsphase ist eine Rückrechnung auch mit der AAK möglich, jedoch keine forensisch verwertbare Transformation in die BAK. Als Voraussetzung für die juristische Verwertbarkeit ist die Betrachtung der AAK als eigenes Konstrukt, unabhängig von der BAK, erforderlich. Die dafür notwendigen wünschenswerten Daten liegen derzeit nur teilweise vor.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abele G (1955). "Die Abhängigkeit des Faktors  $\beta$  von der Konzentrationshöhe." Deutsche Zeitschrift für gerichtliche Medizin **44**: 374-382.
- Adachi J, Mizoi Y, Fukunaga T, Ogawa Y, Imamichi H (1989). "Comparative study of ethanol elimination and blood acetaldehyde between alcoholics and control subjects." Alcoholism **13**: 601-604.
- Alt A, Jensen U, Seidl S (1998). "Berechnung der Blutalkoholkonzentration aus Trinkmengenangaben unter Berücksichtigung individueller Parameter bei Frauen." Blutalkohol **35**: 275-304.
- Arthur M, Lee A, Wright R (1984). "Sex differences in the metabolism of alcohol and acetaldehyd in normal subjects." Clin Sci **67**: 397-401.
- Baraona E, Abittan C, Dohmen K, Moretti M, Pozzato G, Chayes Z, Schaefer C, Lieber C (2001). "Gender differences in pharmacokinetics of alcohol." Alcohol Clin Exp Res **25**(4): 502-507.
- BGH 4 StR (1967). Anforderungen an die Durchführung des Revisionsverfahrens — Grundlagen der Darlegung von Revisionsgründen im Strafprozess — Voraussetzungen für eine Strafbarkeit wegen Trunkenheit im Straßenverkehr, Strafgerichte (BGH). **509/67**.
- BGH 4 StR (1974). Strafbarkeit wegen fahrlässiger Trunkenheit im Straßenverkehr — Anforderungen an die Ermittlung der Blutalkoholkonzentration — Voraussetzungen für die Ermittlung des Mindestabbauwertes. Blutalkohol, Strafgerichte (BGH). **130/73**.
- Bonnichsen R, Dimberg R, Maehly A, Aqvist S (1968). "Die Alkoholverbrennung bei Alkoholikern und übrigen Versuchspersonen." Blutalkohol **5**: 301-317.
- Dettling A, Fischer F, Böhler S, Ulrichs\* F, Schuff A, Skopp G, von Meyer L, Haffner H, Graw M (2005). Annäherung an eine forensische Ethanol-Pharmakokinetik auf der Grundlage von Atemalkoholkonzentrationsmessungen – Atemalkoholkonzentration-Eliminationsraten. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Dettling A, Fischer F, Böhler S, Ulrichs\* F, Skopp G, Von Meyer L, Haffner H-T, Graw M (2005). "AAK- und BAK-Eliminationsraten bei Frauen - Anpassung an die forensischen Rückrechnungswerte." Rechtsmedizin **15**: 336.
- Dettling A, Fischer F, Böhler S, Ulrichs\* F, Schuff A, Skopp G, Von Meyer I, Graw M, Haffner H-T (2006). "Grundlagen der Pharmakokinetik des Ethanols anhand

---

\* Heute: Armbrecht F



von Atemalkoholkonzentrationen. Teil I: Anflutung und Gipfelkonzentrationen." Blutalkohol **43**: 257-268.

Dettling A, Fischer F, Böhler S, Ulrichs\* F, Schuff A, Skopp G, Von Meyer I, Graw M, Haffner H-T (2006). "Grundlagen der Pharmakokinetik des Ethanol anhand von Atemalkoholkonzentrationen. Teil II: Vergleich der mathematischen Approximation der AAK- und BAK-Kurven in der Eliminationsphase." Blutalkohol **43**: 376-384.

Dettling A, Fischer F, Böhler S, Ulrichs\* F, Skopp G, Graw M, Haffner H-T (2007). "Ethanol Elimination Rates in Men and Women in Consideration of the Calculated Liver Weight." Alcohol (in press).

Dittmann V (1985). "Äthanolelimination beim Menschen unter Einfluss häufig verordneter  $\beta$ -Rezeptorenblocker." Blutalkohol **22**: 364-370.

Elbel H (1956). Blutalkohol. Stuttgart, Georg Thieme Verlag.

Ferreira S, de Mello M, Pompeia S, de Souza-Formigoni M (2006). "Effects of energy drink ingestion on alcohol intoxication." Alcohol Clin Exp Res **30**: 598-605.

Fischer F, Dettling A, Ulrichs\* F, Graw M, Haffner H-T (2005). "Akzeleration der durchschnittlichen Eliminationsrate in Trinkversuchen." Rechtsmedizin **15**: 336.

Fischer F, Graw M, Ulrichs\* F, Dettling A, Haffner H-T (2005). "Zunahme der Ethanol-Eliminationsrate bei Trinkversuchen seit 1930." Rechtsmedizin **15**: 336.

Forster B, Joachim H (1975). Blutalkohol und Straftat. Stuttgart, Thieme Verlag.

Frezza M, di Padova C, Pozzato G, Terpin M, Baraona E, Lieber C (1990). "High blood alcohol levels in women. The role of decreased gastric alcohol dehydrogenase activity and first-pass metabolism." N Engl J Med **322**: 95-99.

Gainsford A, Fernando D, Lea R, Stowell A (2006). "A large scale study of the relationship between blood and breath alcohol concentrations in New Zealand drinking drivers." J Forensic Sci. **51**: 173-178.

Gilg T (2006). Alkohol und Verkehrssicherheit. Rechtsmedizin systematisch. R. Penning. Bremen, UNI-MED Verlag: 217 - 239.

Gilg T, Priemer F, Jocham N, Eisenmenger W (2000). "BAK/AAK-Quotienten in verschiedenen Alkoholisierungsphasen - Untersuchungen mit dem Dräger Evidential 7110 bei 20 Trinkversuchen." Rechtsmedizin **10**: S6.

---

\* Heute: Armbrecht F

- Gomez HF, Moore L, McKinney P, Phillips S, Guven H, Brent J (1995). "Elevation of Breath Ethanol Measurements by Metered-Dose Inhalers." Annals of Emergency Medicine **25**(5): 608-611.
- Graw M, Haffner H-T (2003). "Berechnungsmodell für intraindividuell-situative BAKven / AAK-Konversionsfaktoren Q in der postresorptiven Eliminationsphase - Vorschlag für ein standardisiertes Verfahren zur Gewinnung vergleichbarer experimenteller Ergebnisse." Blutalkohol **40**: 1-4.
- Graw M, Schmidt V, Freisleder A, Riedl F, Schweinsberg F, Besserer K (1990). "Vergleichende humanexperimentelle Untersuchung der Ethanolkinetik im Blut nach Konsum von Weizenschankbier und Weizenvollbier." Monatsschrift für Brauwissenschaft **43**: 274-277.
- Gubala W, Zuba D (2003). "Gender differences in the pharmacokinetics of ethanol in saliva and blood after oral ingestion." Pol. J. Pharmacol. **55**: 639-644.
- Gullberg R (2003). "Breath alcohol measurement variability associated with different instrumentation and protocols." Forensic Sci Int. **131**: 30-35.
- Habel U, Schneider F (2002). Diagnostik und Symptomatik von Alkoholintoxikation. Alkohol und Schuldfähigkeit - Entscheidungshilfe für Ärzte und Juristen. F. Schneider and H. Frister. Berlin-Heidelberg, Springer. **1**: 24-54.
- Haffner H-T, Besserer K, Stetter F, Mann K (1991). "Die Ethanol-Eliminationsgeschwindigkeit bei Alkoholikern unter besonderer Berücksichtigung der Maximalwertvariante der forensischen BAK-Rückrechnung." Blutalkohol **28**: 46-54.
- Haffner H-T, Blank J (2002). Berechnung und Stellenwert der Blutalkoholkonzentration bei der Schuldfähigkeitsbeurteilung. Alkohol und Schuldfähigkeit - Entscheidungshilfen für Ärzte und Juristen. F. Schneider and H. Frister. Berlin - Heidelberg, Springer. **1**: 68-89.
- Haffner H-T, Graw M, Dettling A, Schmitt G, Schuff A (2003). "Concentration dependency of the BAC/BrAC (blood alcohol concentration / breath alcohol concentration) conversion factor during the linear elimination phase." Int J Legal Med **117**: 276-281.
- Haffner H-T, Graw M, Jeske A, Schmitt G, Goll M, Dietz K (2002). "Die Präzision von Atemalkohol-(AAK)- Messungen mit dem Dräger Alcotest 7110 Evidential im Vergleich zur Präzision der forensischen Blutalkohol-(BAK)-Bestimmungen." Blutalkohol **39**: 397-406.
- Hahn R, Norberg A, Gabrielsson J, Danielsson A, Jones A (1994). "Eating a meal increases the clearance of ethanol given by intravenous infusion." Alcohol Alcohol. **29**: 673-677.
- Ignacio-Garcia J, Almenara-Barríos J, Chocron-Giraldez M, Hita-Iglesias C (2005). "A comparison of standard inhalers for asthma with and without alcohol as the propellant on the measurement of alcohol in breath." J Aerosol Med **18**: 193-197.

- Jachau K, Sauer S, Krause D, Wittig H (2004). "Comparative regression analysis of concurrent elimination-phase blood and breath alcohol concentration measurements to determine hourly degradation rates." Forensic Sci Int **143**: 115-120.
- Jones A (1993). "Disappearance Rate of Ethanol from the Blood of Human Subjects: Implications in Forensic Toxicology." Journal of Forensic Sciences **38**: 104-118.
- Jones A, Andersson L (2003). "Comparison of ethanol concentrations in venous blood and end-expired breath during a controlled drinking study." Forensic Sci Int **132**: 18-25.
- Jones A, Rossner S (2006). "False-positive breath-alcohol test after a ketogenic diet." Int J Obes (Lond).
- Krause D, Wittig H, Römhild W, K J (2002). "Thesen zu den naturwissenschaftlichen Grundlagen eines strafrechtsrelevanten Atemalkoholgrenzwertes." Blutalkohol **39**: 2-7.
- Kwo P, Ramchandani V, O'Connor S, Amann D, Carr L, Sandrasegaran K, Kopecky K, Li T (1998). "Gender differences in alcohol metabolism: relationship to liver volume and effect of adjusting for body mass." Gastroenterology **115**: 1552-1557.
- Lagois J (2000). "Dräger Alcotest 7110 Evidential - das Meßgerät zur gerichtsverwertbaren Atemalkoholanalyse in Deutschland." Blutalkohol **37**: 77-91.
- Li T, Beard J, Orr W, Kwo P, Ramchandani V, Thomasson H (2000). "Variation in ethanol pharmacokinetics and perceived gender differences in alcohol elimination." Alcohol Clin Exp Res **24**: 415-416.
- Lieber C (2000). "Ethnic and gender differences in ethanol metabolism." Alcohol Clin Exp Res **24**: 417-418.
- Lindberg L, Brauer S, Wollmer P, Goldberg L, Jones AW, Olsson SG (2006). "Breath alcohol concentration determined with a new analyzer using free exhalation predicts almost precisely the arterial blood alcohol concentration." Forensic Sci Int.
- Lucey M, Hill E, Young J, Demo-Dananberg L, Beresford T (1999). "The influence of age and gender on blood ethanol concentrations in healthy humans." J Stud Alcohol **60**: 103-110.
- Maatz K (2002). "Atemalkohomessung - Forensische Verwertbarkeit und Konsequenzen aus der AAK-Entscheidung des BGH." Blutalkohol **39**: 21-35.
- Mezey E (2000). "Influence of sex hormones on alcohol metabolism." Alcohol Clin Exp Res **24**: 421.
- Mezey E, Hamilton B, Potter J (1989). "Effect on testosterone administration on rates of ethanol elimination in hypogonadal patients." Alcohol **6**: 331-333.

- Nyberg S, Wahlström G, Bäckström T, Poromaa I (2004). "No difference in responsiveness to a low dose of alcohol between healthy women and men." Pharmacol Biochem Behav **78**: 603-610.
- O'Connell O, Beckert L (2006). "Asthmatics: too drunk to drive? The time curve of exhaled ethanol levels after use of Salamol in normal subjects." N Z Med J. **119**: 1244.
- Rüdell E, Bonte W, Sprung R, Frauenrath C (1981). "Anflutungssymptomatik nach exzessivem Trinkverhalten." Blutalkohol **18**: 326-330.
- Sato N, Lindros K, Baraona E, Ikejima K, Mezey E, Järveläinen H, Ramchandani V (2001). "Sex difference in alcohol related organ injury." Alcohol Clin Exp Res **25**: 40S-45S.
- Schmidt U, Jachau K, Wittig H, Bartels H, Krause D (2000). "Praktische Erfahrungen beim Einsatz des Atemalkoholtestgerätes Alcotest 7110 Evidential MK III." Blutalkohol **37**: 92-100.
- Schmitt G, Aderjan R, Schmidt G (1991). "Zur Präzision der Blutalkoholbestimmung mittels GC- und ADH-Methode " Blutalkohol **28**: 325-328.
- Schoknecht G (2002). "Qualitätsvergeleich von Atem- und Blutalkoholbestimmungen im Ordnungswidrigkeiten- und Strafrechtsbereich." Blutalkohol **39**: 8-20.
- Schröter A, Sopp M, Brettel H (1995). "Trinkversuche zur Rückrechnung bei langen Rückrechnungszeiten." Blutalkohol **32**: 344-352.
- Schuff A, Riepert T, Erkens M, Weirich V, Graß H, Iffland R (2002). "Untersuchungen zum Quotienten BAK/AAK in der Resorptionsphase und dessen Bedeutung für die Wartezeit bei der Atemalkoholmessung." Blutalkohol **39**: 145-153.
- Seidl S, Jensen U, Alt A (2000). "The calculation of blood ethanol concentrations in males and females." Int J Legal Med **114**: 71-77.
- Seitz H, Egerer G, Simanowski U, Waldherr R, Eckey R, Agarwal D, Goedde H, von Wartburg J-P (1993). "Human gastric alcohol dehydrogenase activity: Effect of age, sex and alcoholism." Gut **34**: 1433-1437.
- Sutker P, Goist K, Allain A, Bugg F (1987). "Acute alcohol intoxication: Sex comparisons on pharmacokinetic and mood measure." Alcohol Clin Exp Res **11**: 507-511.
- Van Thiel D, Tarter R, Rosenblum E, Gavaler J (1988). "Ethanol, its metabolism and gonadal effects: Does sex makes a difference?" Adv Alcohol Subst Abuse **7**: 131-169.
- Wehner HD, Wehner A, Subke J (2000). "Die Genauigkeit des veno-alveolären Ethanolkonzentrationsquotienten " Blutalkohol **37**: 18-29.
- Wittig H, Schmidt U, Jachau K, Römhild W, Krause D (2000). "Beeinflussung des BAK/AAK - Quotienten durch verschiedene Umgebungstemperaturen -

Untersuchungen mit dem Alcotest 7110 Evidential MK III." Blutalkohol **37**: 30-38.

Zink P, Reinhardt G (1980). "Anstiegsgeschwindigkeit und Anstiegszeit der Blutalkoholkurve bei kurzen Trinkzeiten." Blutalkohol **17**: 400-410.

Zink P, Wendler K (1978). "Der Widmarkfaktor  $r$  und seine Streubreite." Blutalkohol **15**: 409 - 420.

## 8 Anhang

### 8.1 Übersicht der Probanden

Proband	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körper- gewicht [kg]	Größe [cm]	Trinkmenge [g]	Trinkzeit [h]
2	m	23	66	179	60	2
3	m	22	76	179	70	2
4	m	22	65	184	50	0,83
5	m	23	85	183	70	1,83
6	m	23	83	187	70	2
7	m	25	67	188	70	0,83
8	m	21	84	190	70	2
9	w	22	59	163	60	2,16
10	m	22	92	193	80	1,5
15	m	24	62	173	60	1,5
16	m	23	80	180	70	1,7
17	w	23	60	171	40	1
18	w	29	60	168	48	2
19	m	24	80	188	60	1,25
21	w	22	58	175	60	1,33
22	m	24	72	176	60	0,9
24	w	20	60	170	64	1,83
25	m	25	77	185	60	1
26	m	24	70	173	50	1,3
27	m	22	77	184	70	1,4
28	m	24	82	175	80	1,3
29	m	28	93	185	100	1,4
30	m	24	75	186	60	1,5
36	m	23	88	177	80	1
38	m	23	64	179	55	0,8
39	m	23	78	190	70	1,2
153	m	51	84	184	80	2,2
154	m	37	81	186	80	2,5
155	m	44	75	175	60	1,5
156	m	45	92	185	80	1,2
157	m	56	86	168	100	2,33
158	m	67	77	170	55	2
160	m	25	70	175	50	1,7
161	w	20	55	170	60	1,58
162	w	25	65	169	52	1,08
164	m	22	75	188	70	1
165	m	21	82	185	70	1,5
174	w	24	63	177	50	1,33
175	w	20	60	169	60	1,16
176	m	21	71	165	62	1,75
178	w	36	61	173	40	1
179	m	21	80	191	80	1,75
180	m	28	64	176	40	0,33
181	w	21	52	162	58	1,66
182	w	19	60	166	54	1
183	w	20	63	177	60	1,5

Proband	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körper- gewicht [kg]	Größe [cm]	Trinkmenge [g]	Trinkzeit [h]
185	m	22	77	182	70	1,83
186	m	24	78	178	70	1,83
187	m	24	75	193	70	1,83
188	w	20	56	168	60	1,41
199	w	22	48	163	40	1,25
200	m	22	79	198	85	1,8
201	m	22	70	179	78	1,75
203	w	25	62	170	64	1,75
204	w	27	85	173	70	1,5
205	w	20	64	167	60	1,41
206	m	28	84	184	60	0,91
208	m	22	65	182	66	2,8
209	w	22	52	160	54	1,66
210	m	25	60	178	50	1,7
211	w	22	48	163	40	1,16
213	m	22	68	180	72	1,9
214	w	21	60	170	60	2,5
217	m	24	85	195	60	1,3
218	m	24	70	184	60	1,25
219	m	24	80	170	60	1,3
222	m	20	76	190	85	1,25
223	w	24	72	170	84	1
225	w	21	60	173	60	1,33
229	w	24	60	165	66	1,5
230	w	24	56	160	66	1,25
231	w	36	60	175	60	1
232	w	22	47	150	64	1,16
233	m	28	76	190	65	0,8
234	w	26	54	175	40	1,08
236	w	24	77	174	78	1,66
237	m	22	73	180	66	0,91
238	w	20	60	172	54	1
239	m	25	73	178	56	1,33
241	w	25	59	172	48	1,33
242	m	24	61	174	56	1,17
243	w	22	57	169	55	1,3
654	m	22	76	180	70	2
656	m	22	64	174	60	1,5
657	w	22	71	173	50	1,16
663	w	45	48	160	40	0,91
664	m	47	83	182	60	1,33
666	m	22	58	173	56	1,66
667	w	23	88	184	80	1
668	m	25	89	189	98	1,33
670	w	25	73	169	78	1,16
671	m	27	92	183	70	1,60
672	m	21	85	184	70	1,5
673	m	23	77	170	60	1,33
G01	w	53	68	178	52	0,75
G02	w	54	74	163	65	1,91
G03	w	45	66	165	70	1,5
G04	m	65	103	183	76	1,75
G05	w	45	61	161	62	1,45

Proband	Geschlecht [m/w]	Alter [Jahre]	Körpergewicht [kg]	Größe [cm]	Trinkmenge [g]	Trinkzeit [h]
U1	m	25	77	183	60	1,16

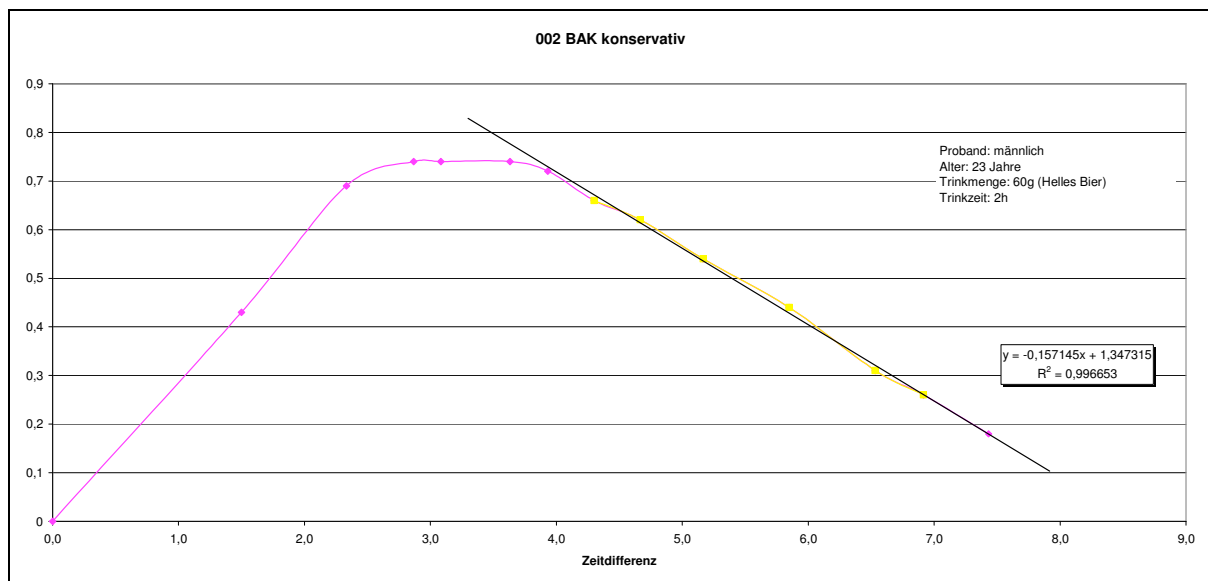
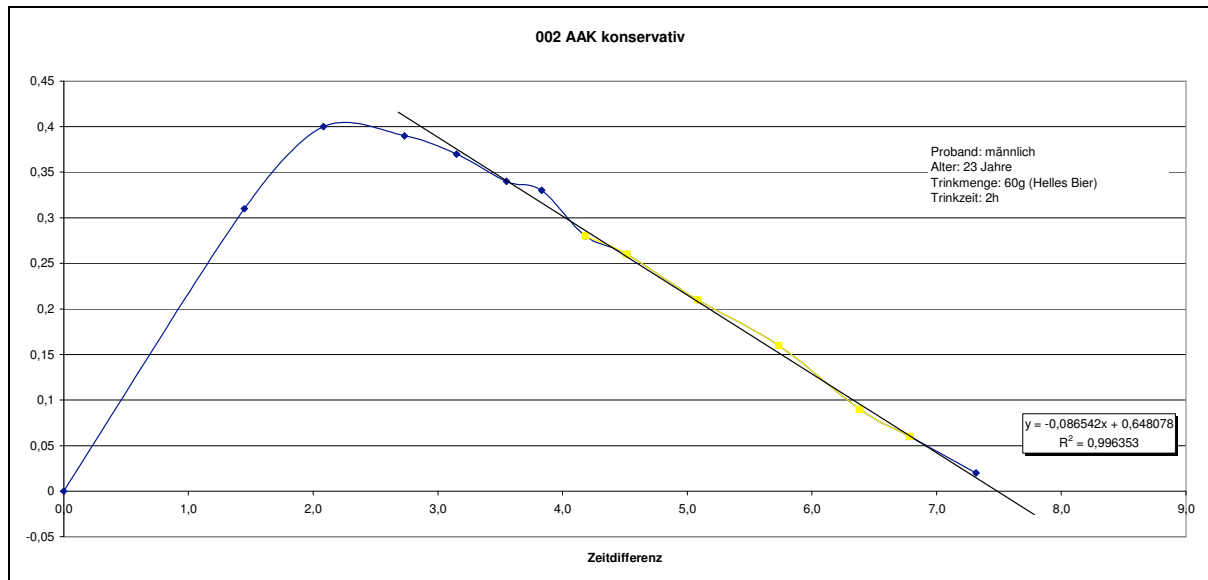
## 8.2 Übersicht über $c_0$ -Konzentrationen, $\beta_{60}$ -

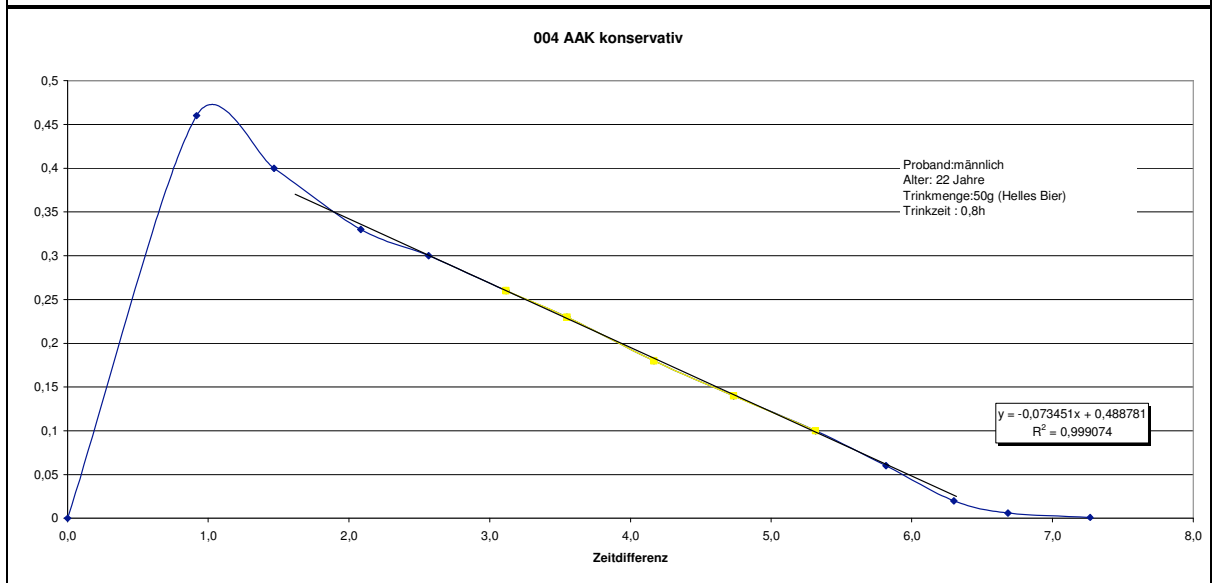
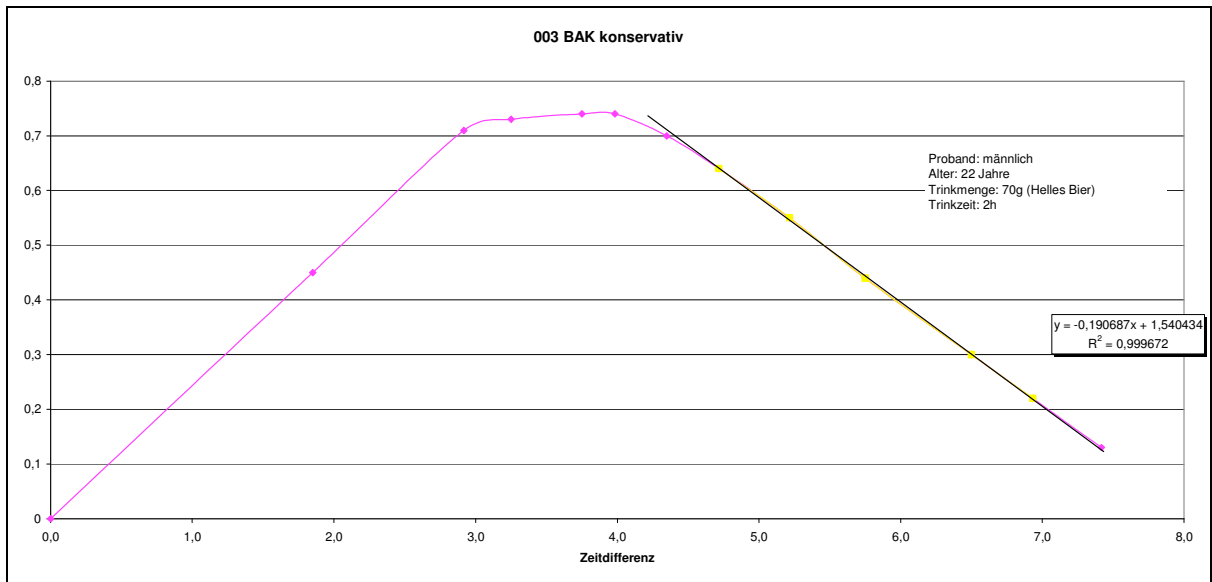
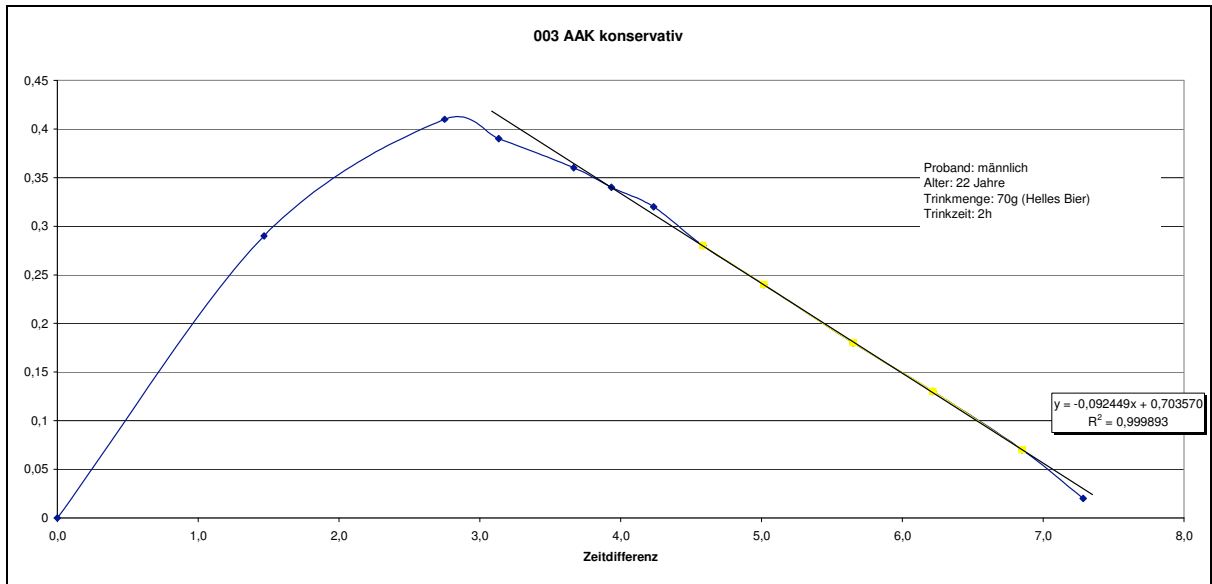
### Eliminationsgeschwindigkeiten und Widmarkfaktoren $r$

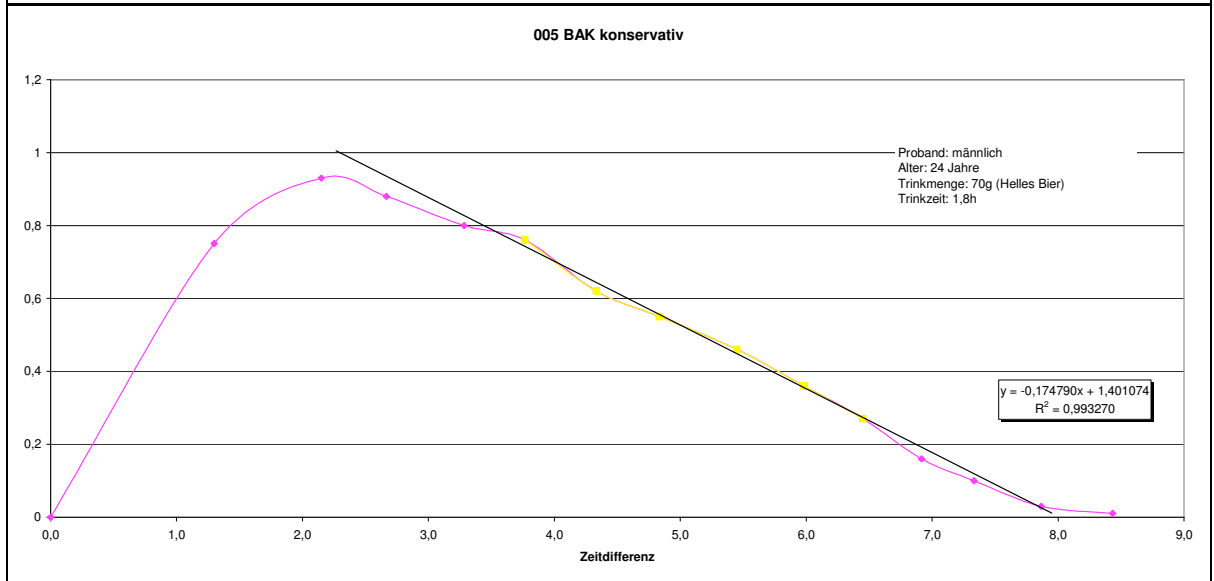
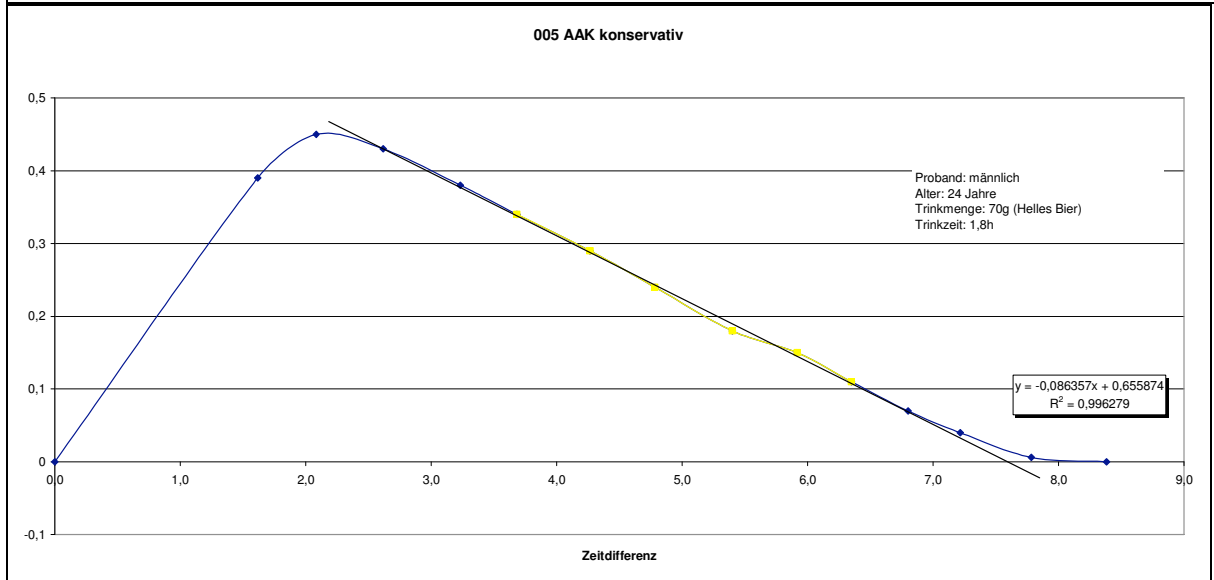
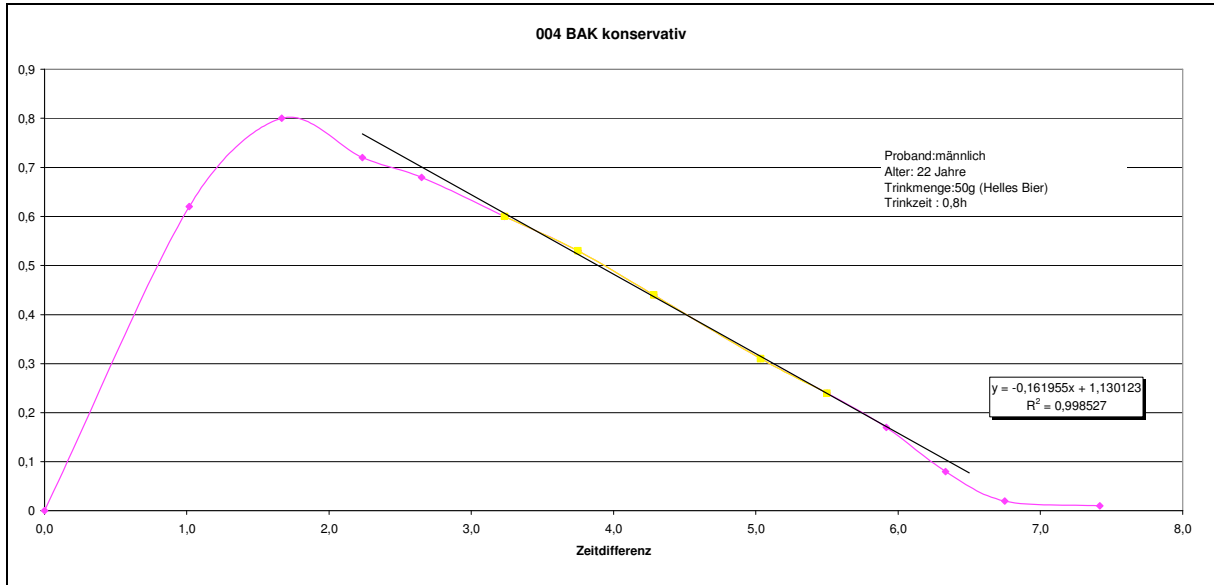
			Mittelwert	Standardabweichung	Median	Minimum	Maximum
$C_0$	Gesamt	BAK	1,386	0,214	1,391	0,931	1,977
		AAK	0,626	0,097	0,604	0,379	0,890
	Männl.	BAK	1,348	0,204	1,351	0,931	1,977
		AAK	0,605	0,091	0,600	0,379	0,890
	Weibl.	BAK	1,441	0,218	1,415	1,017	1,904
		AAK	0,658	0,099	0,632	0,458	0,867
$\beta_{60}$	Gesamt	BAK	0,184	0,034	0,180	0,124	0,275
		AAK	0,087	0,015	0,086	0,057	0,127
	Männl.	BAK	0,173	0,029	0,172	0,124	0,245
		AAK	0,081	0,012	0,080	0,057	0,107
	Weibl.	BAK	0,201	0,034	0,194	0,141	0,275
		AAK	0,096	0,014	0,094	0,067	0,127
$r$	Gesamt	BAK	0,658	0,104	0,649	0,433	0,954
		AAK	1,455	0,231	1,455	0,790	2,164
	Männl.	BAK	0,656	0,106	0,645	0,471	0,954
		AAK	1,470	0,227	1,475	1,065	2,164
	Weibl.	BAK	0,660	0,102	0,651	0,433	0,885
		AAK	1,433	0,237	1,431	0,790	1,925

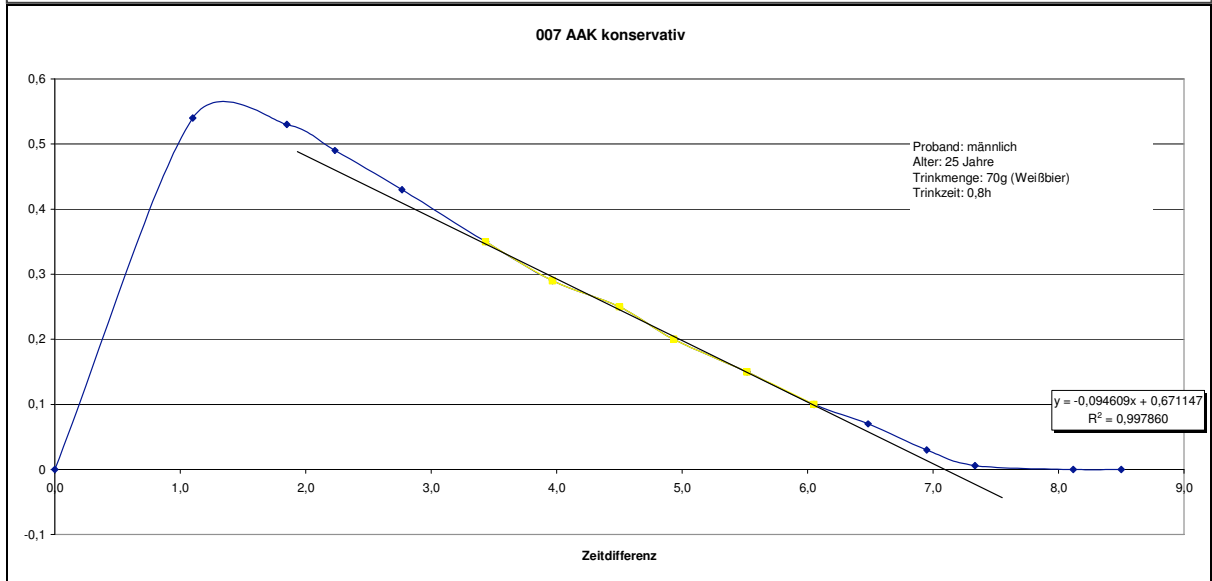
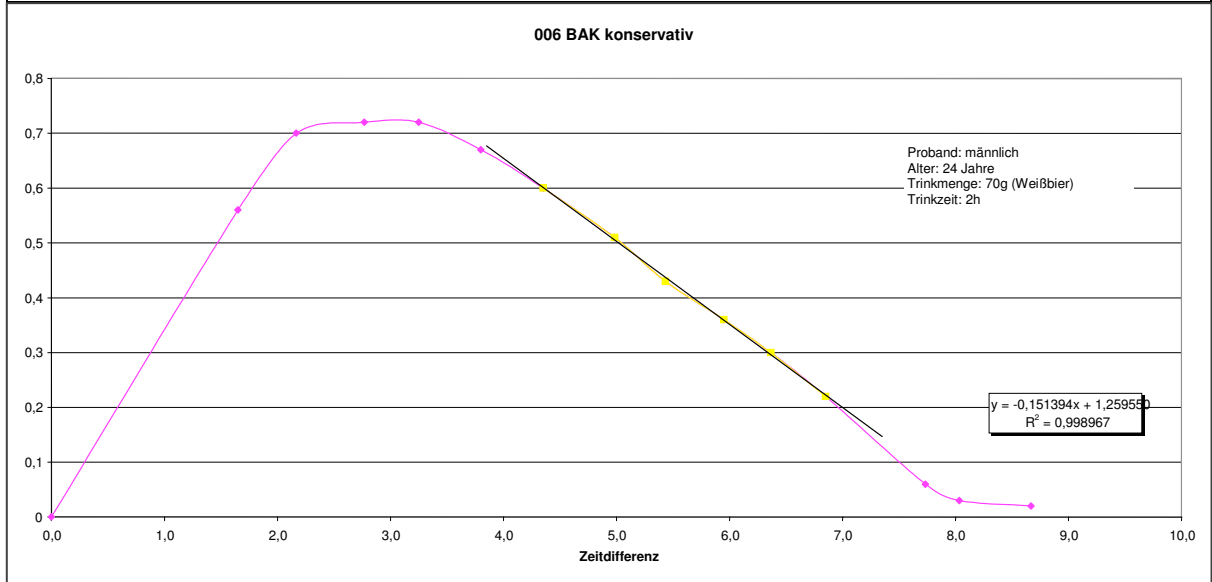
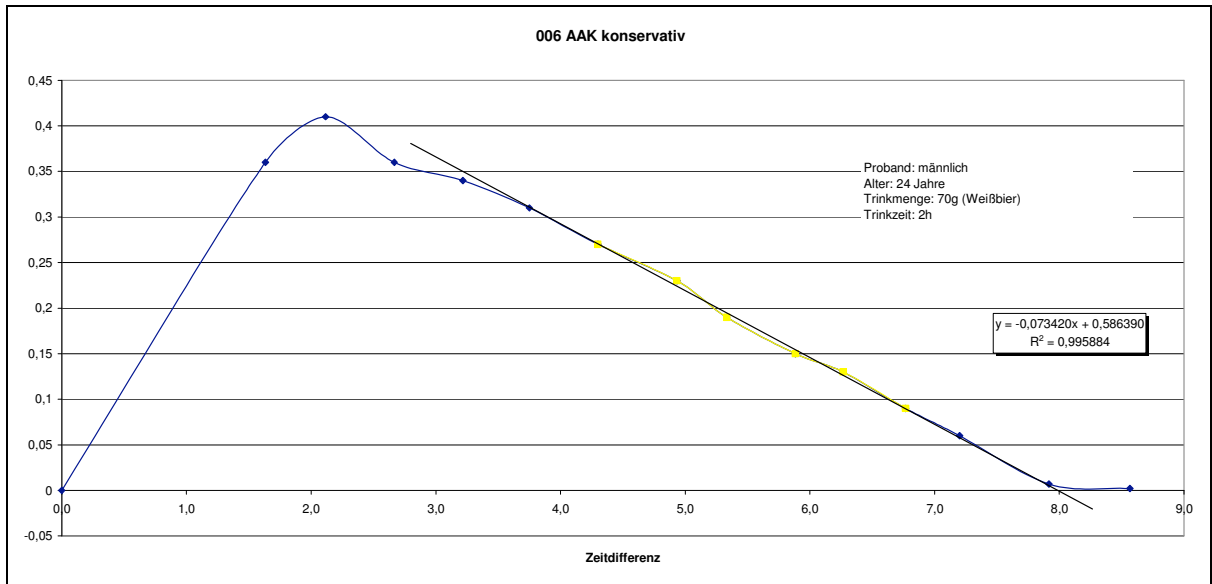


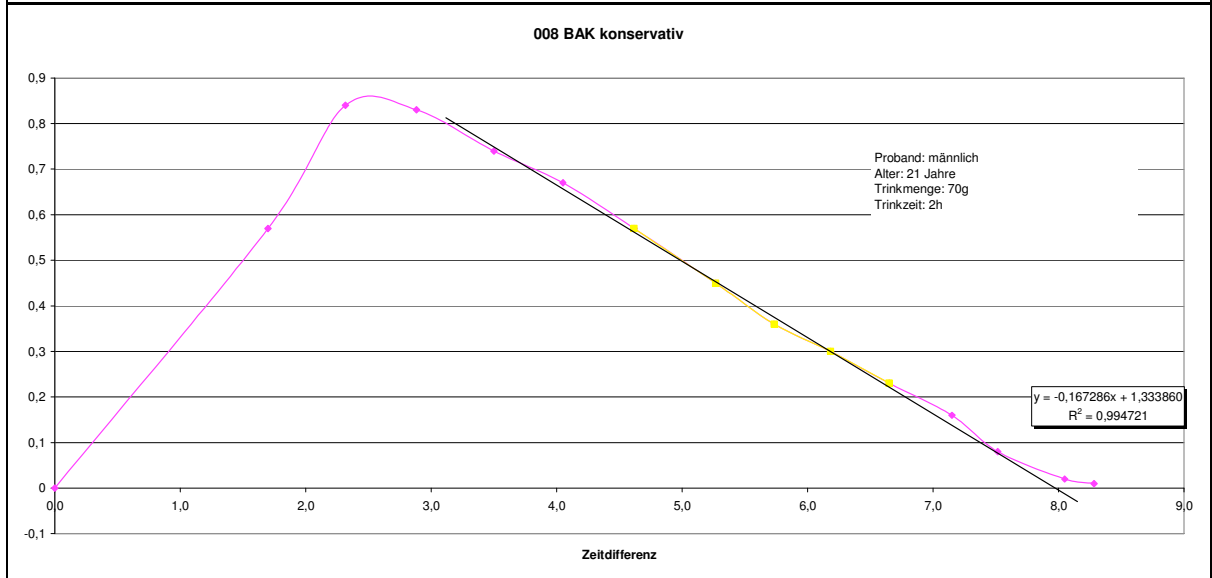
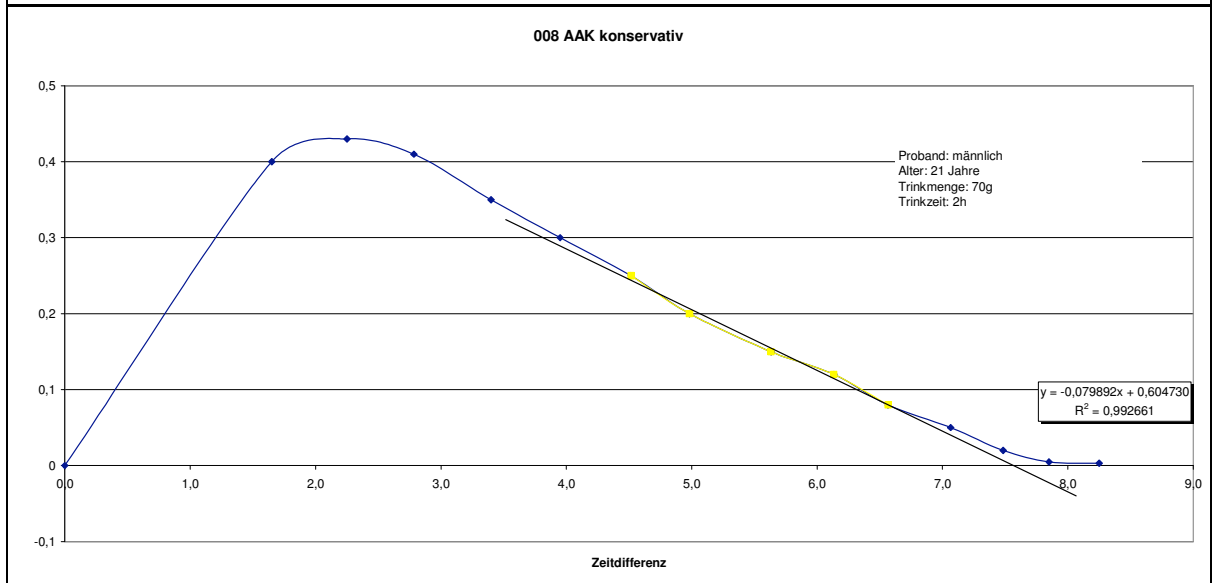
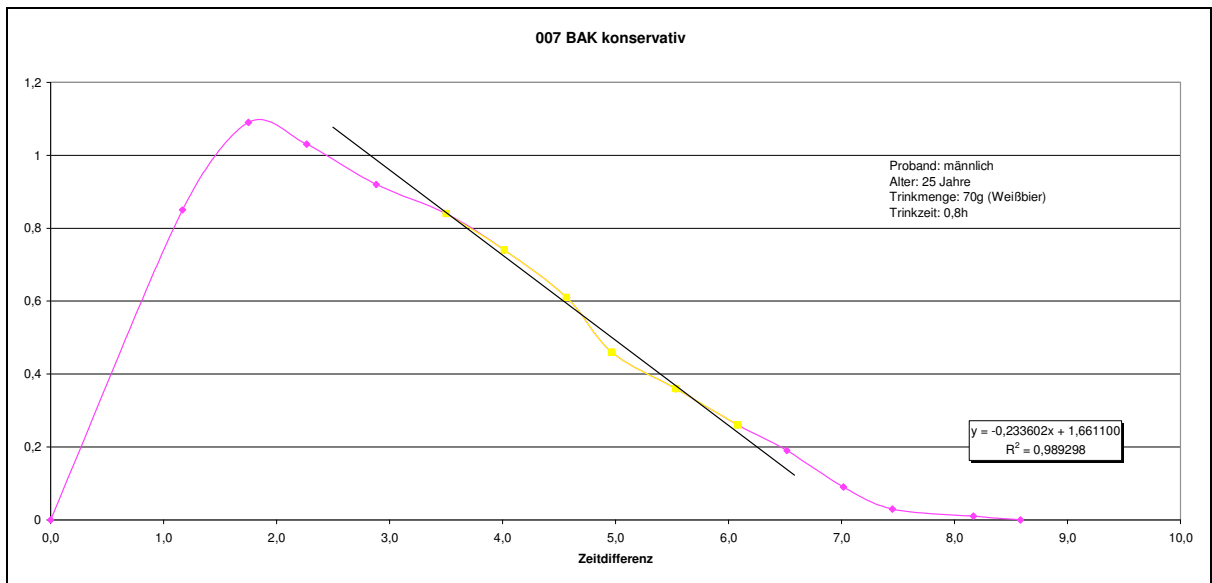
### 8.3 Blutalkohol- und Atemalkoholkurven der 100 Probanden

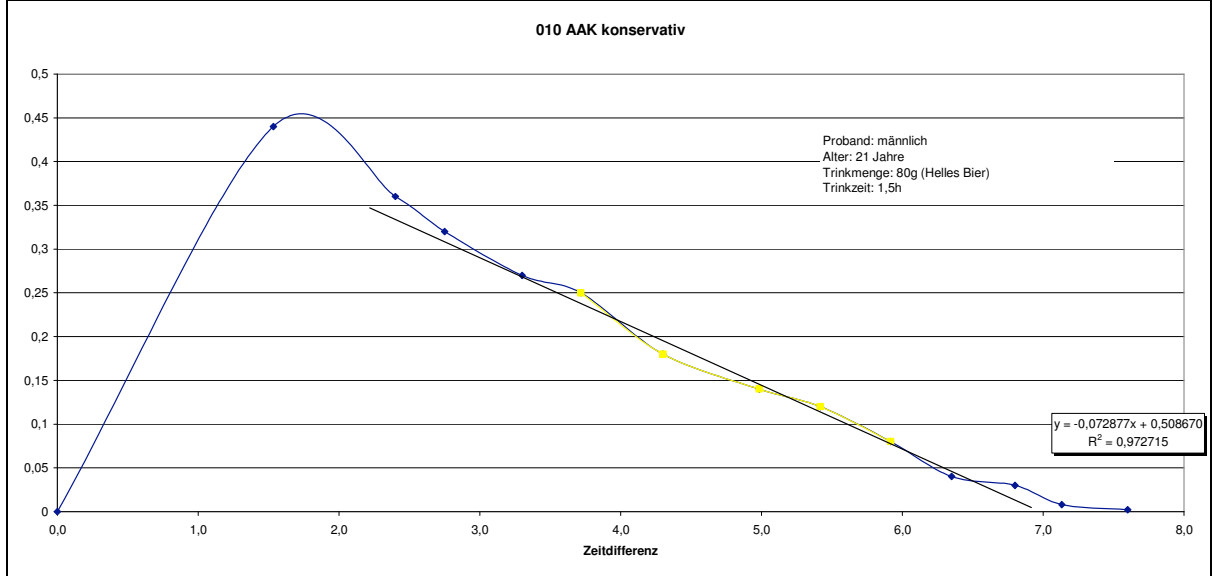
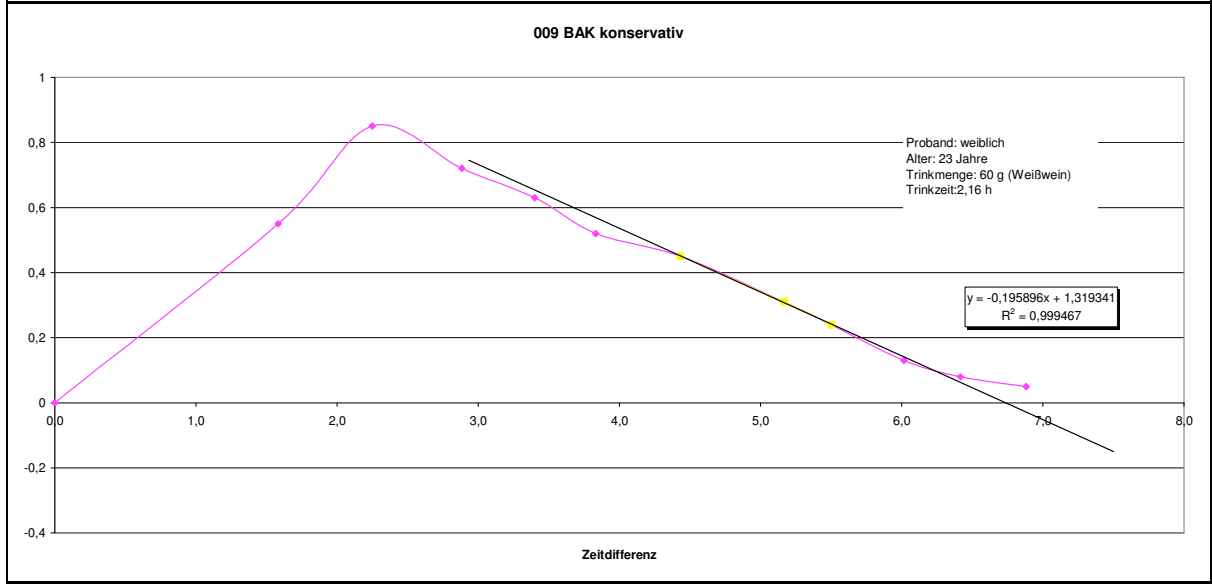
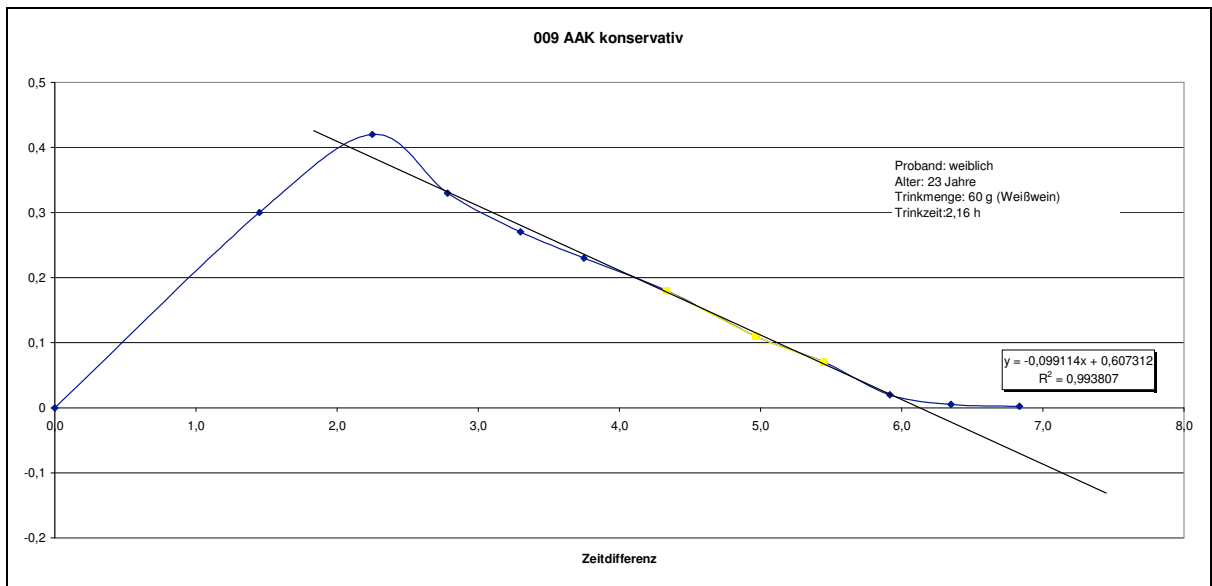


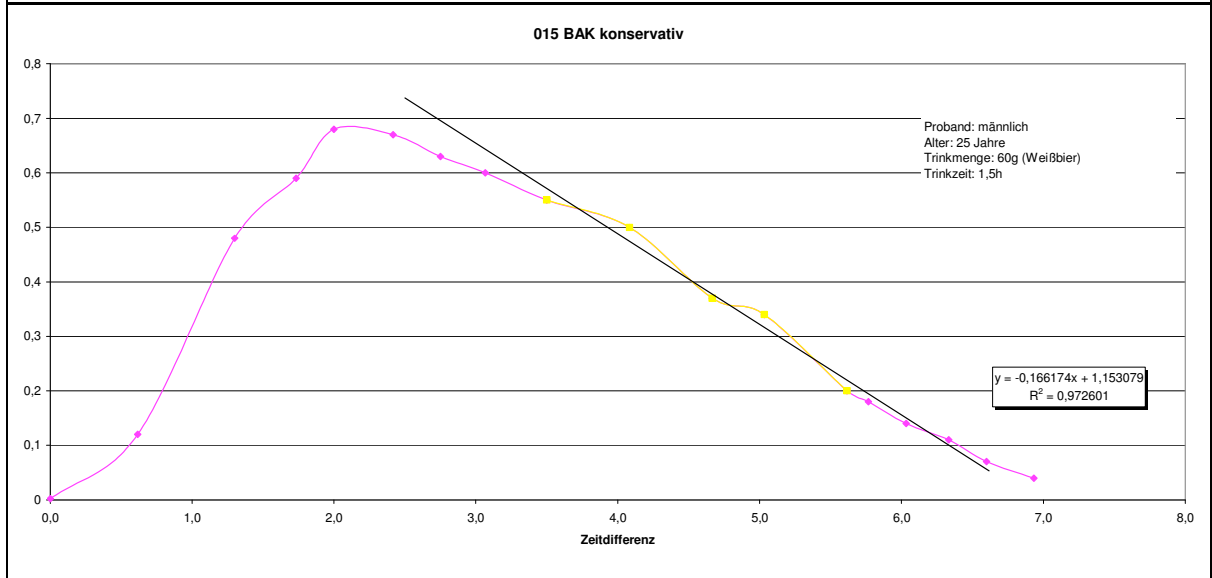
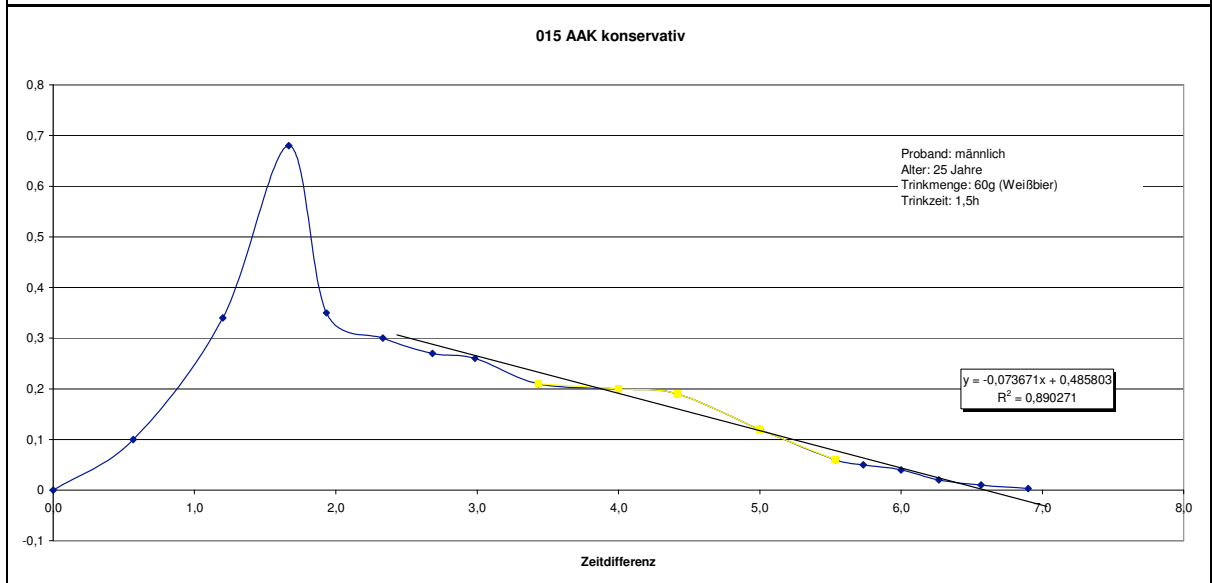
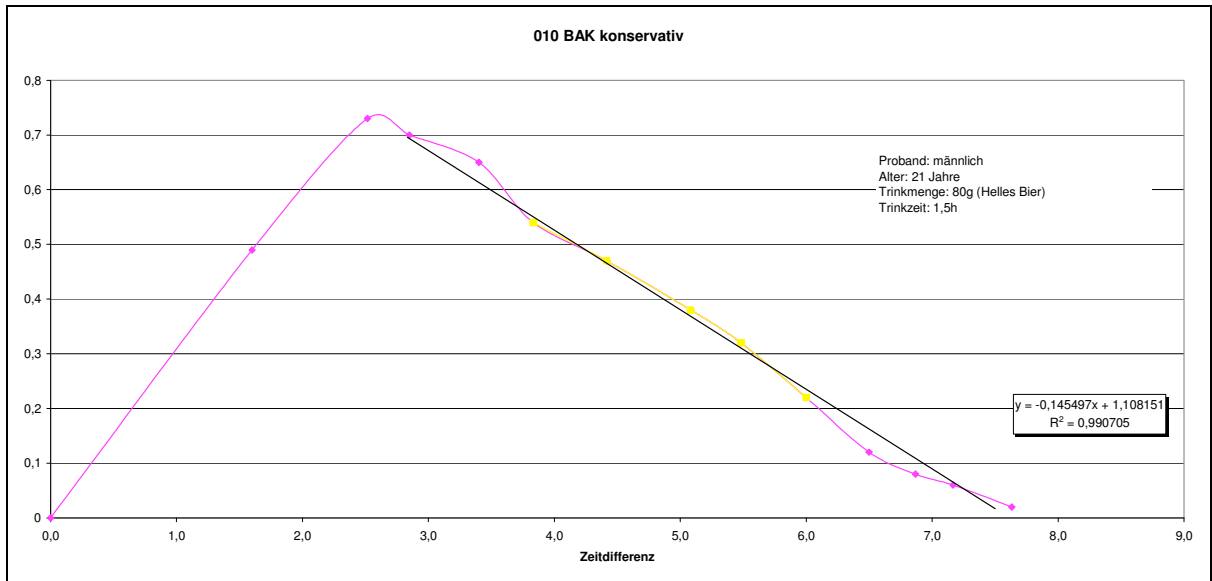


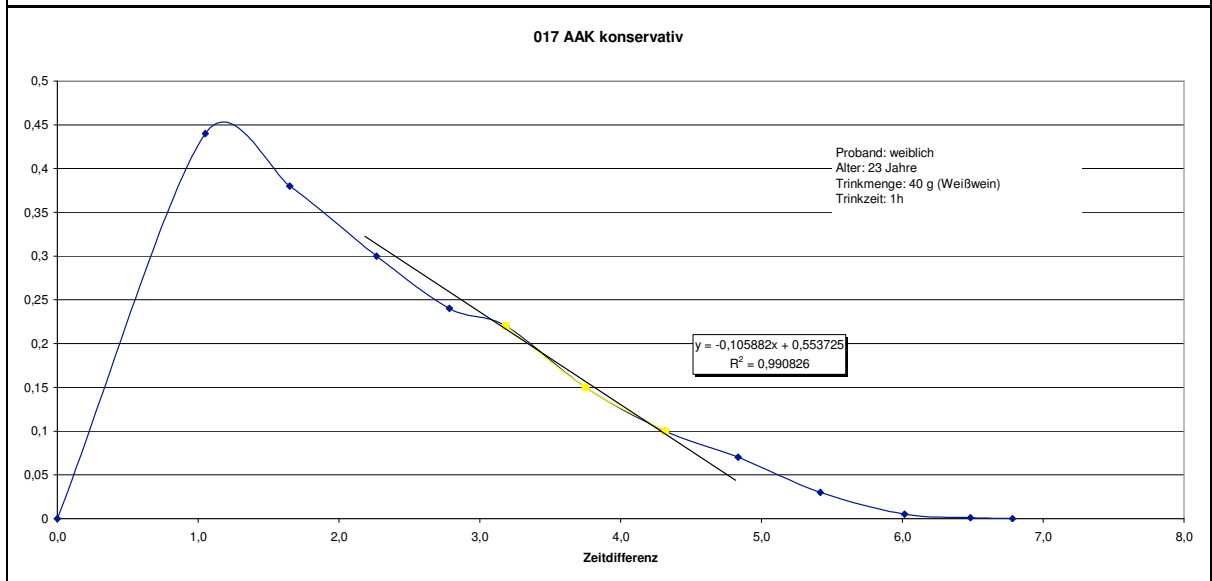
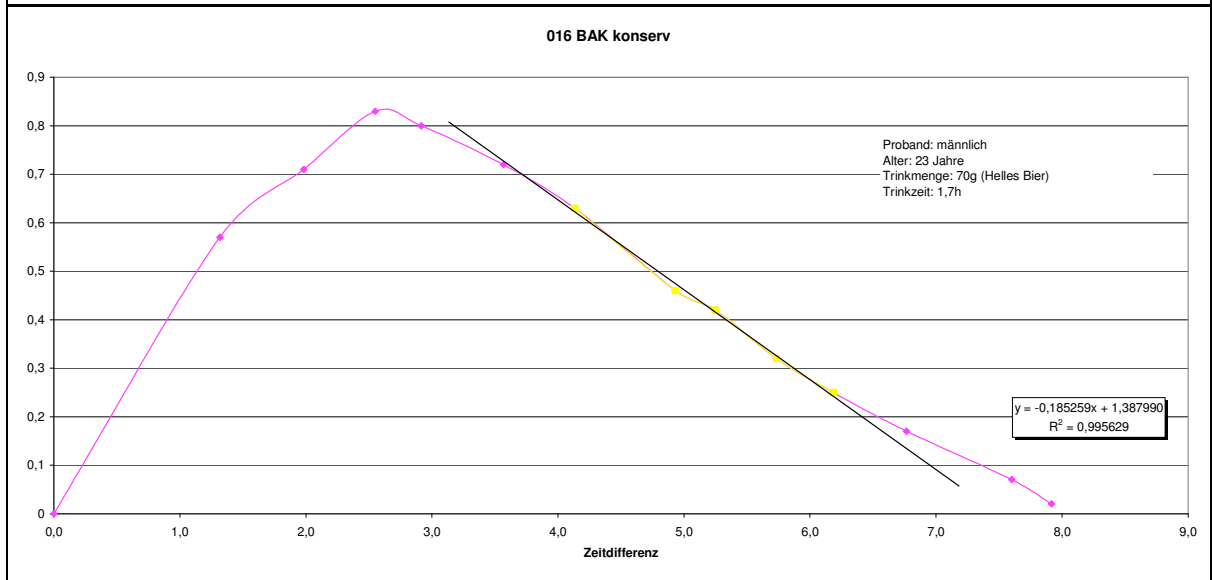
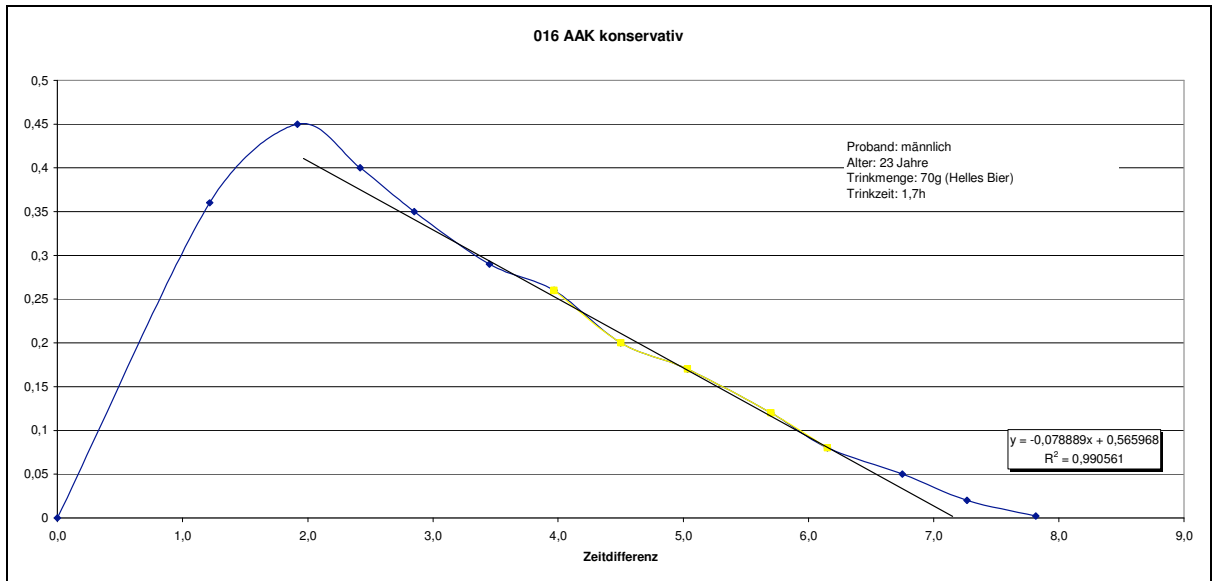




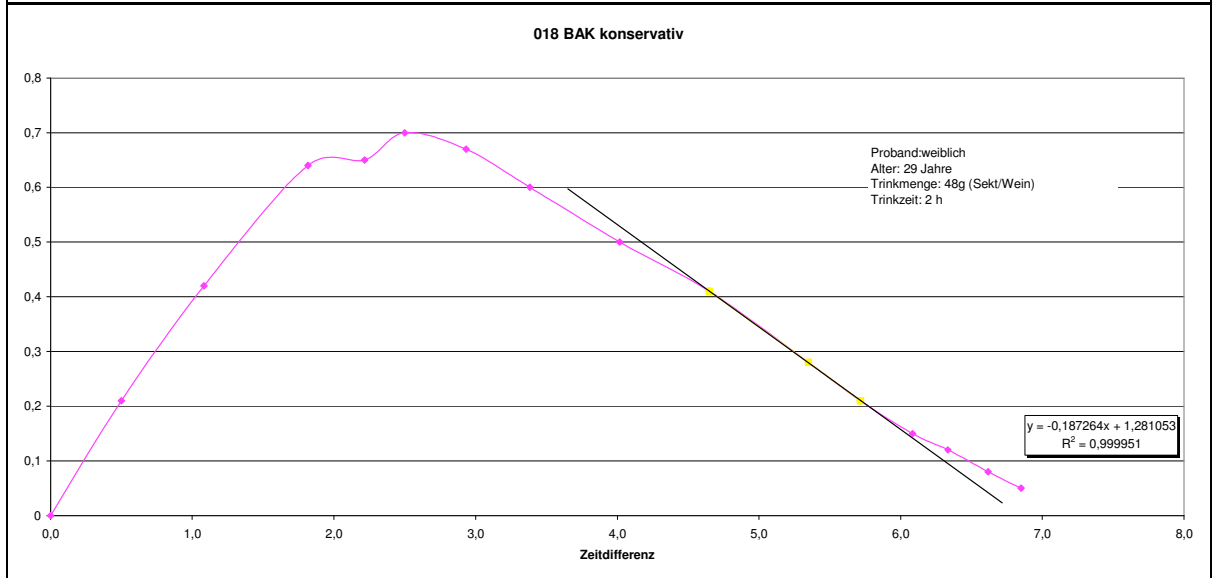
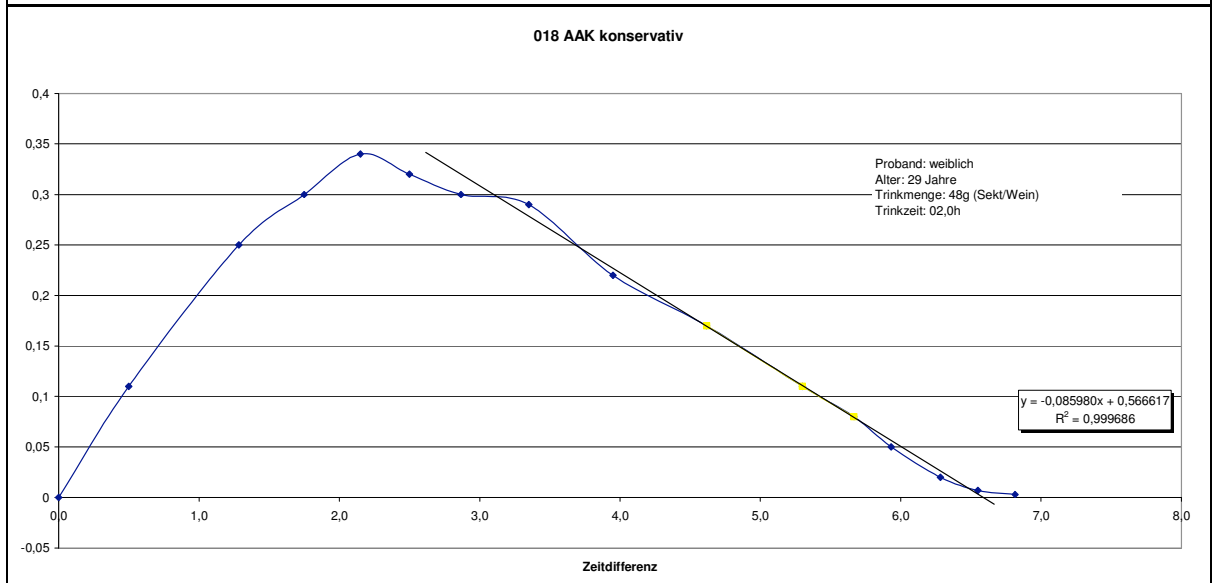
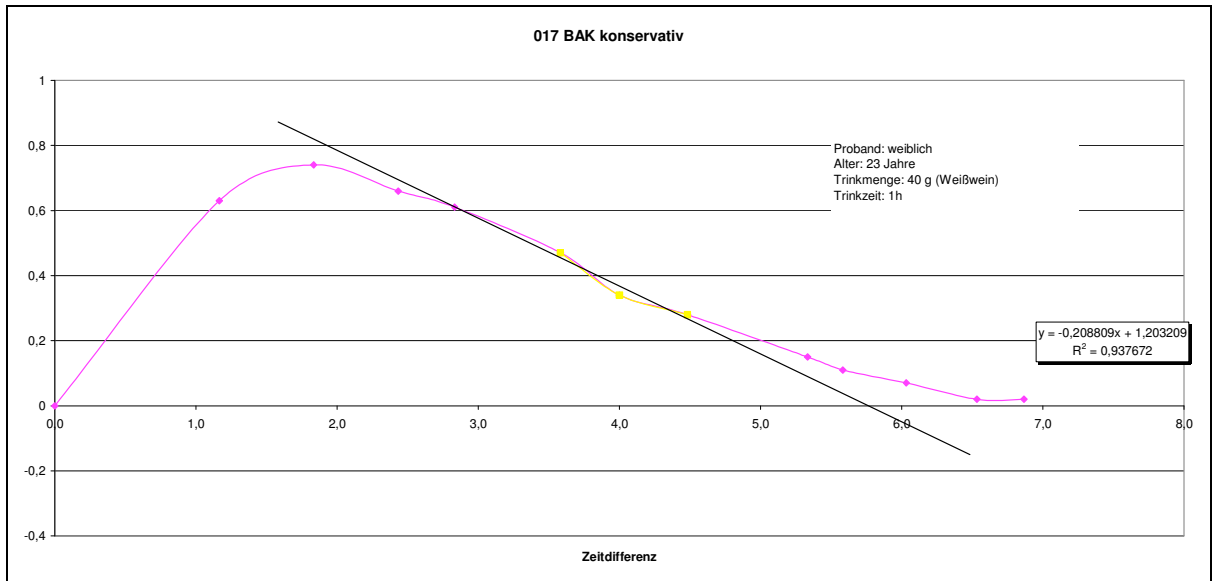


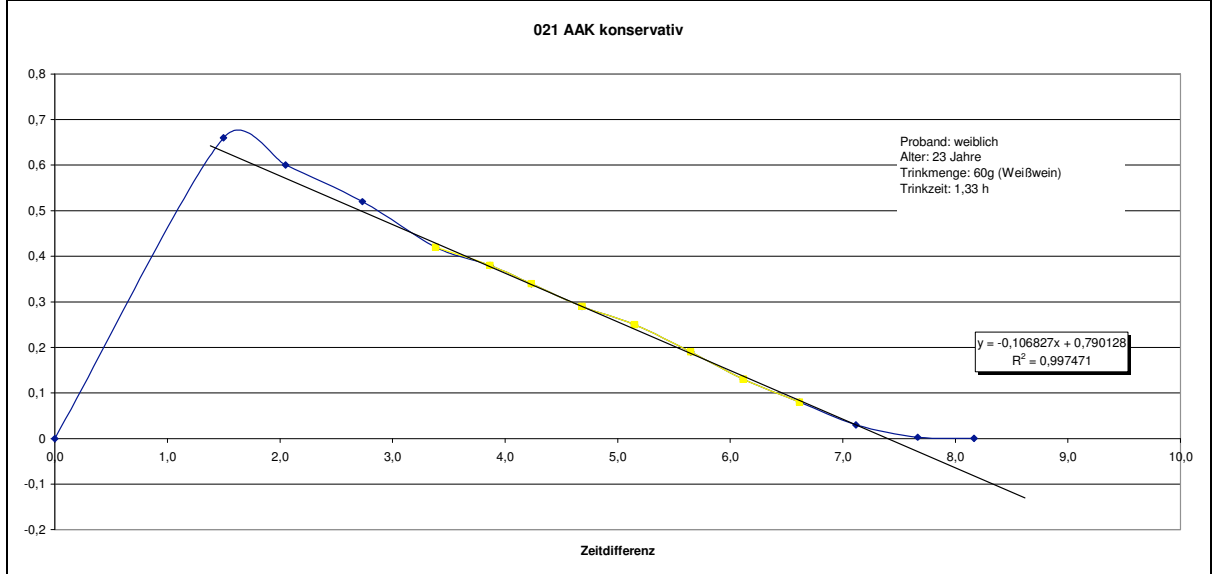
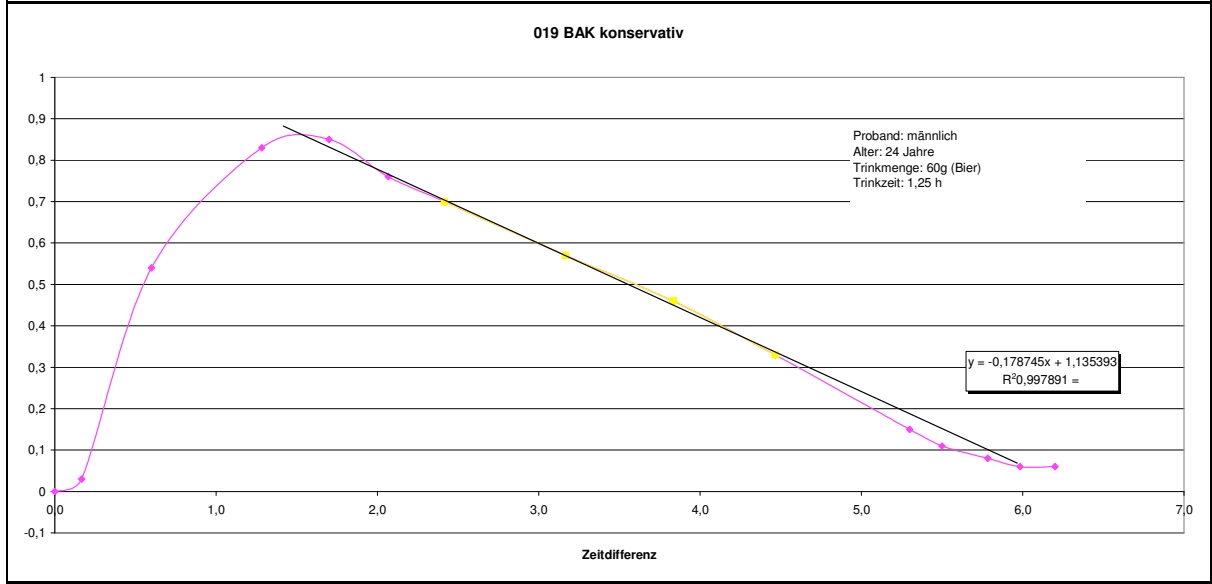
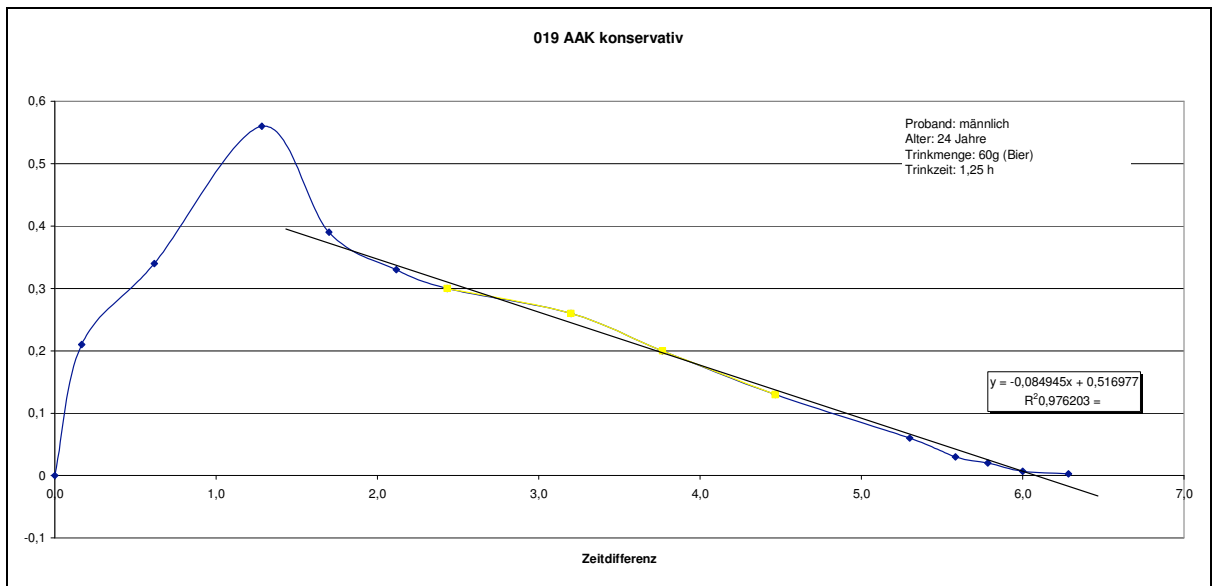


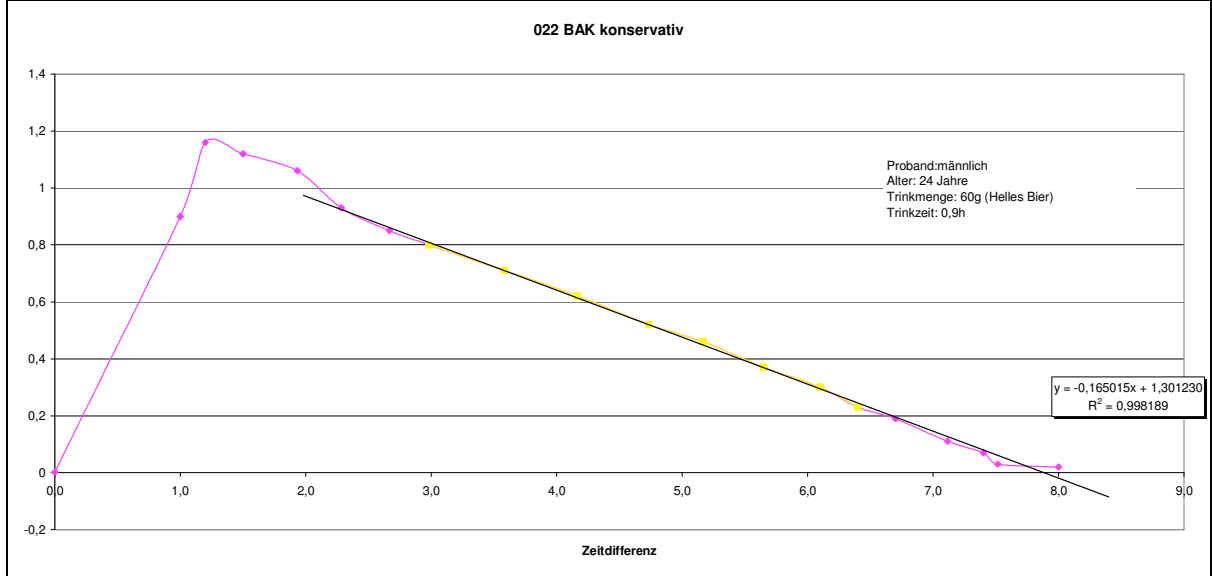
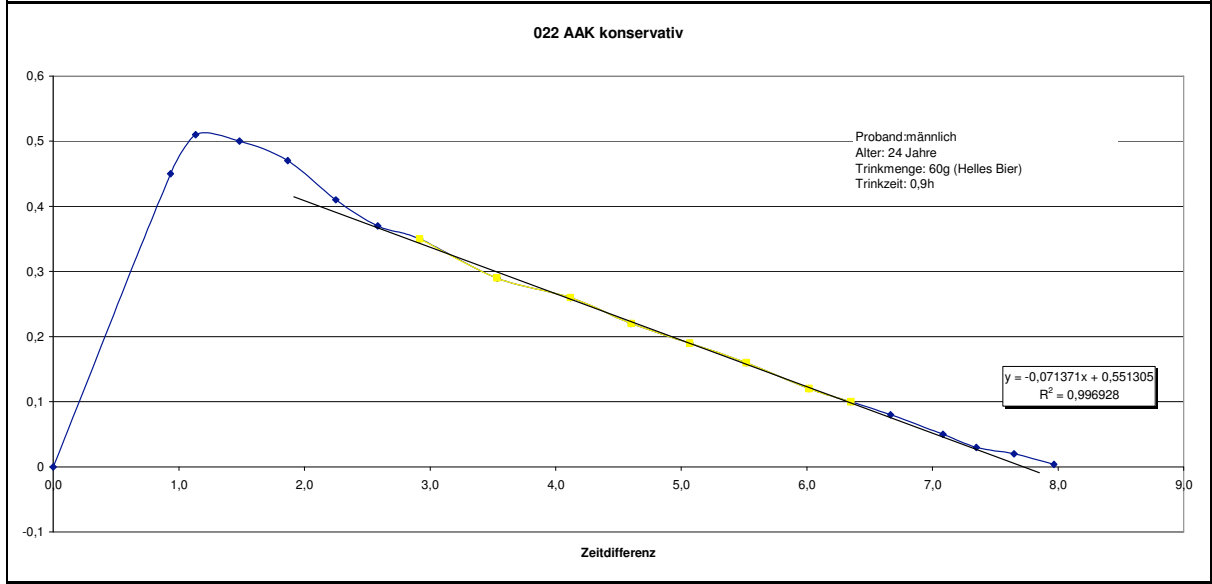
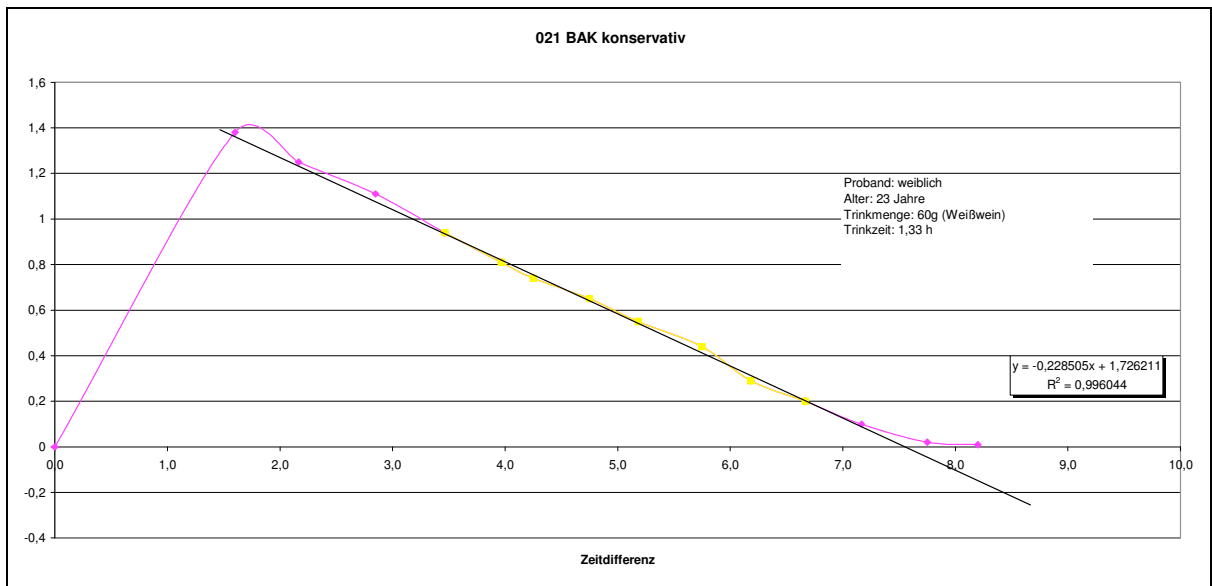


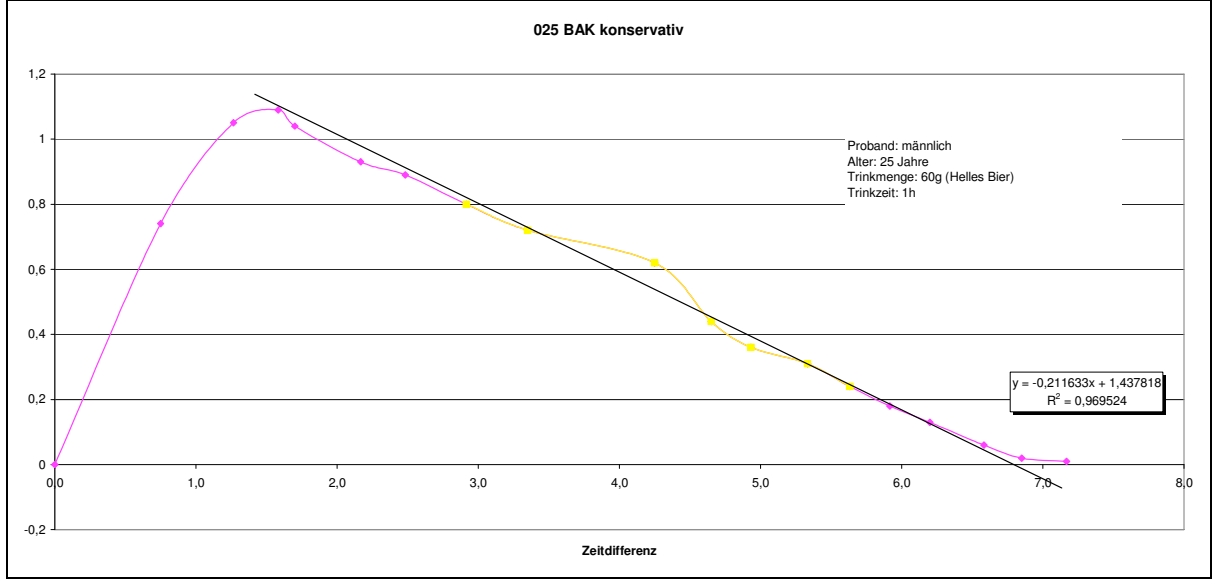
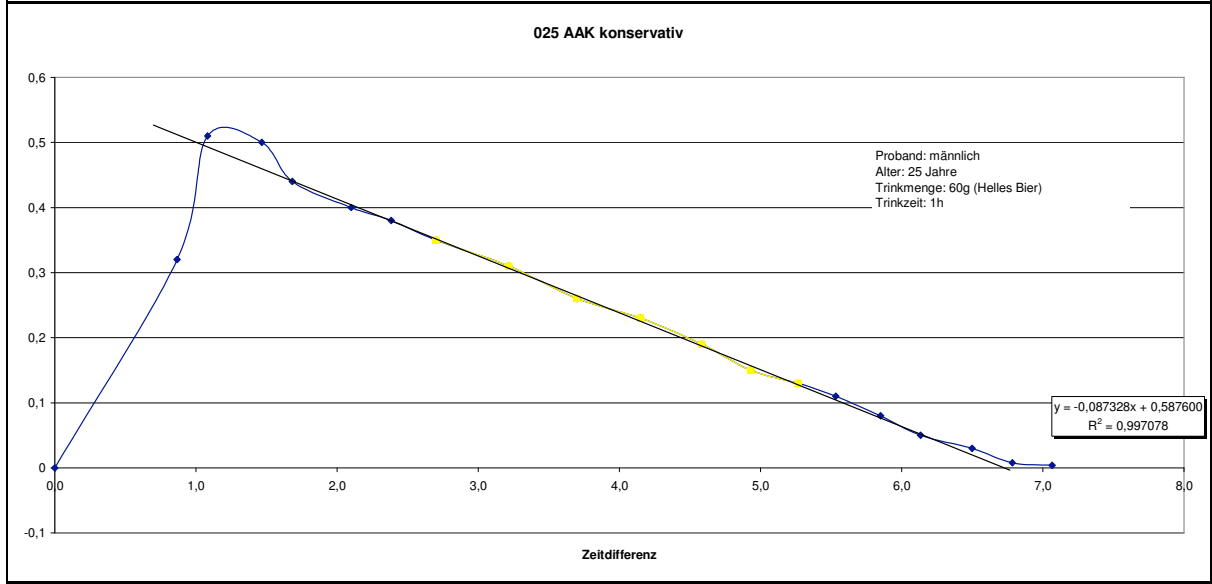
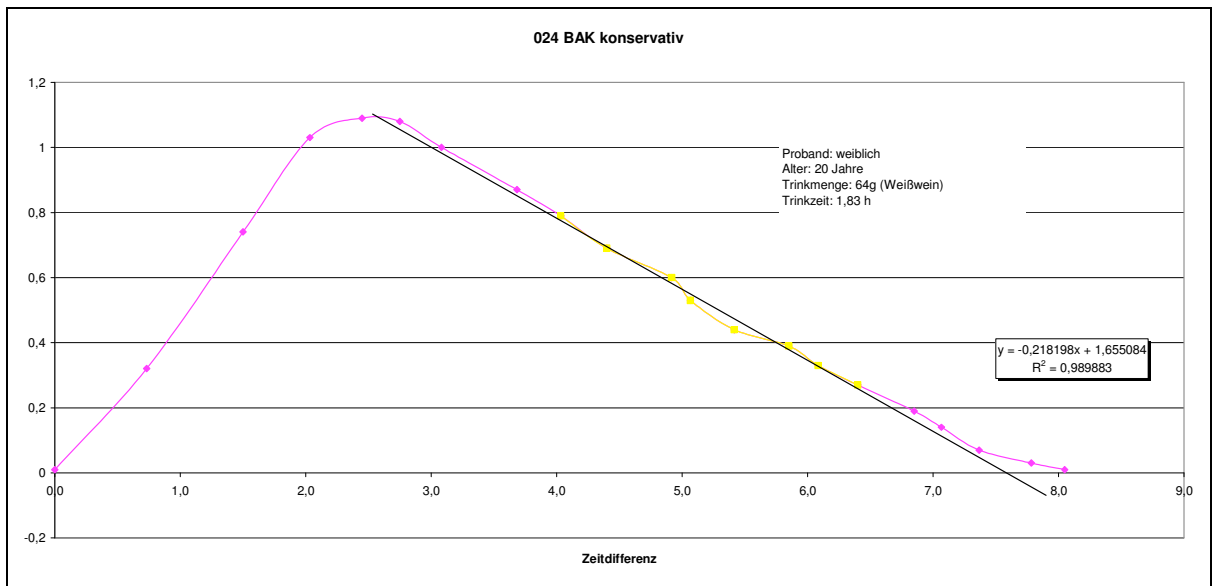


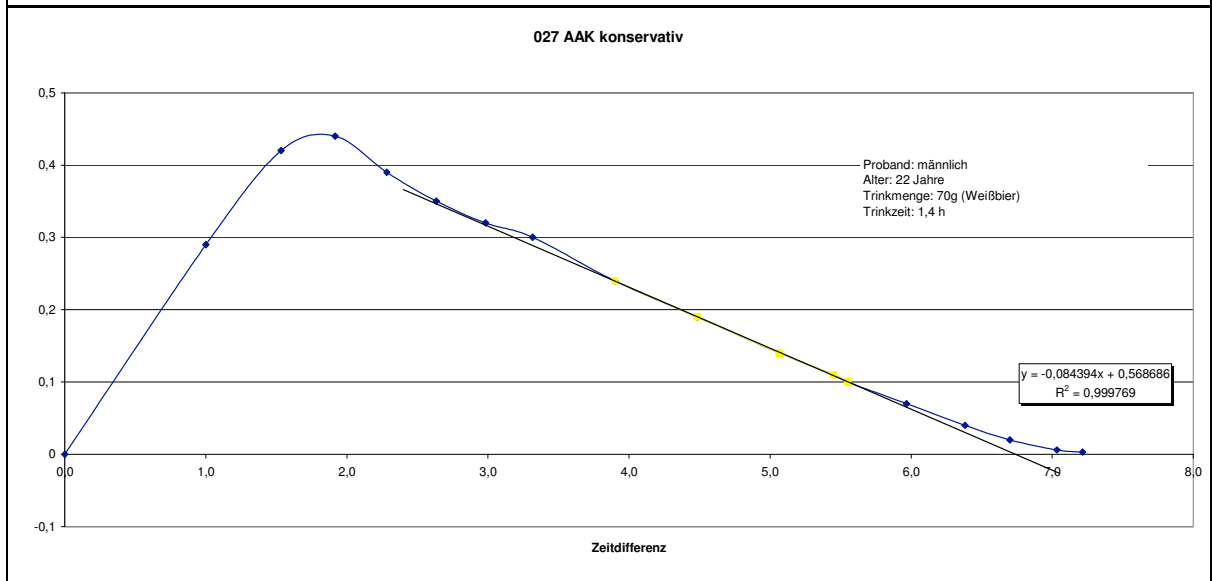
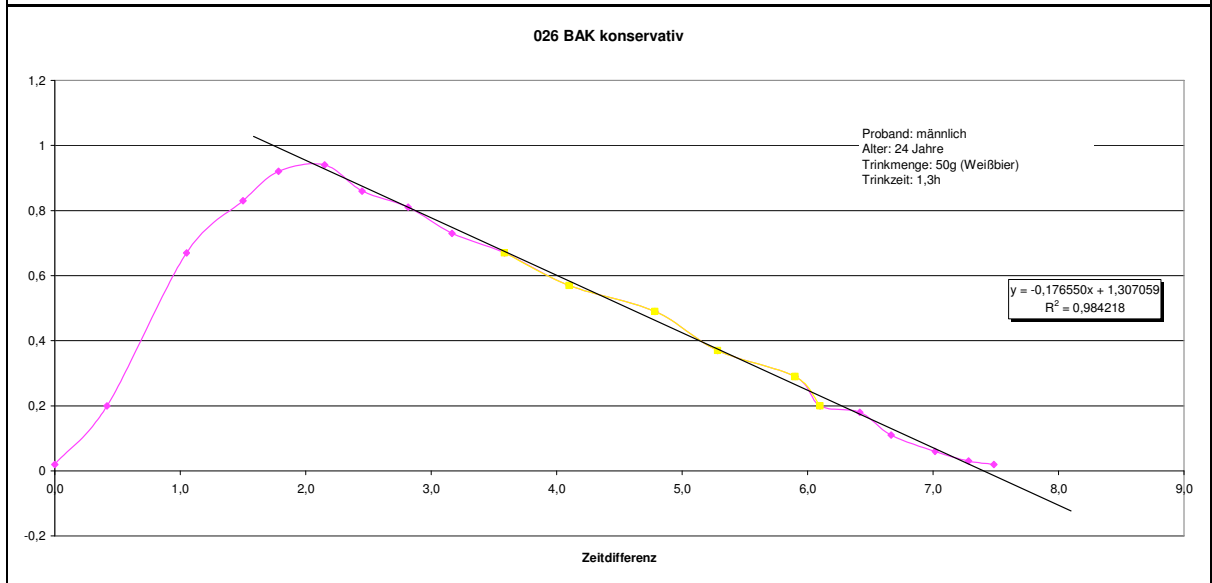
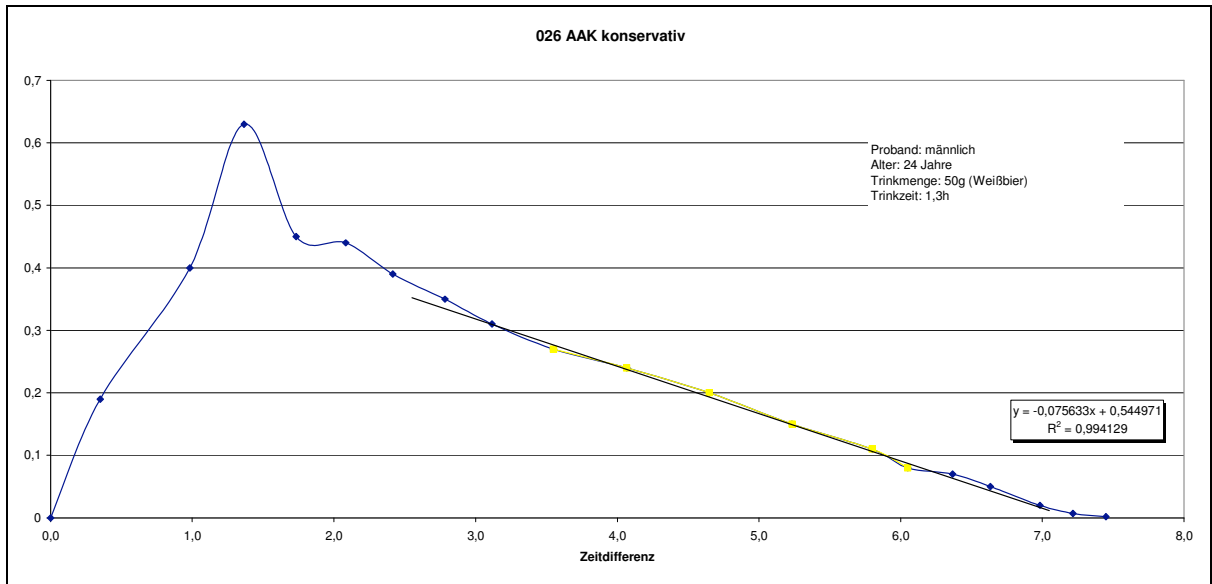


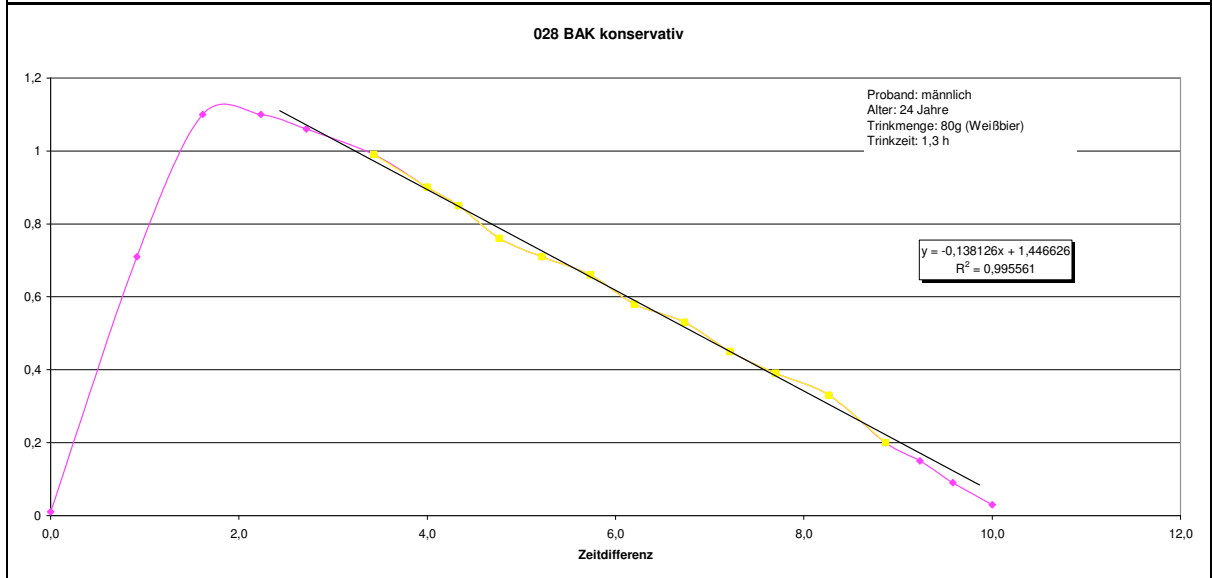
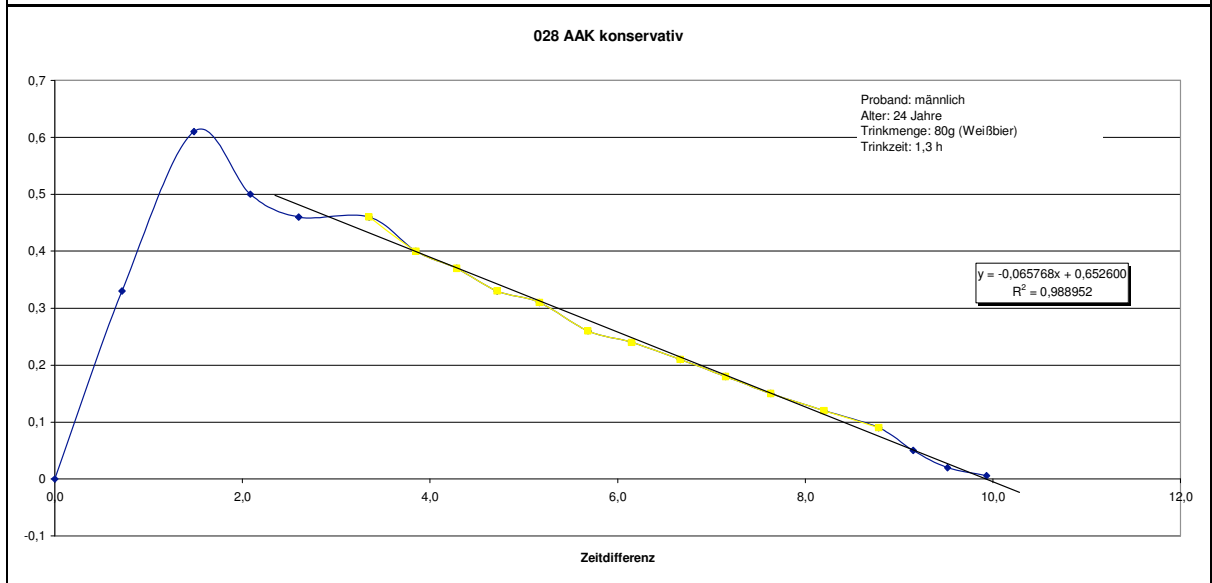
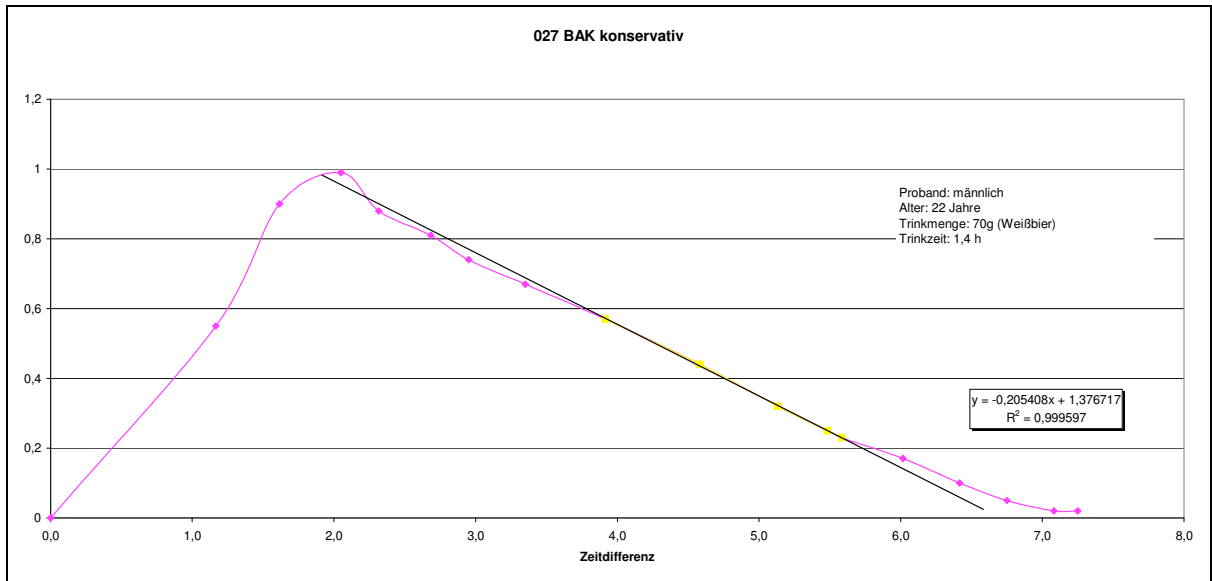


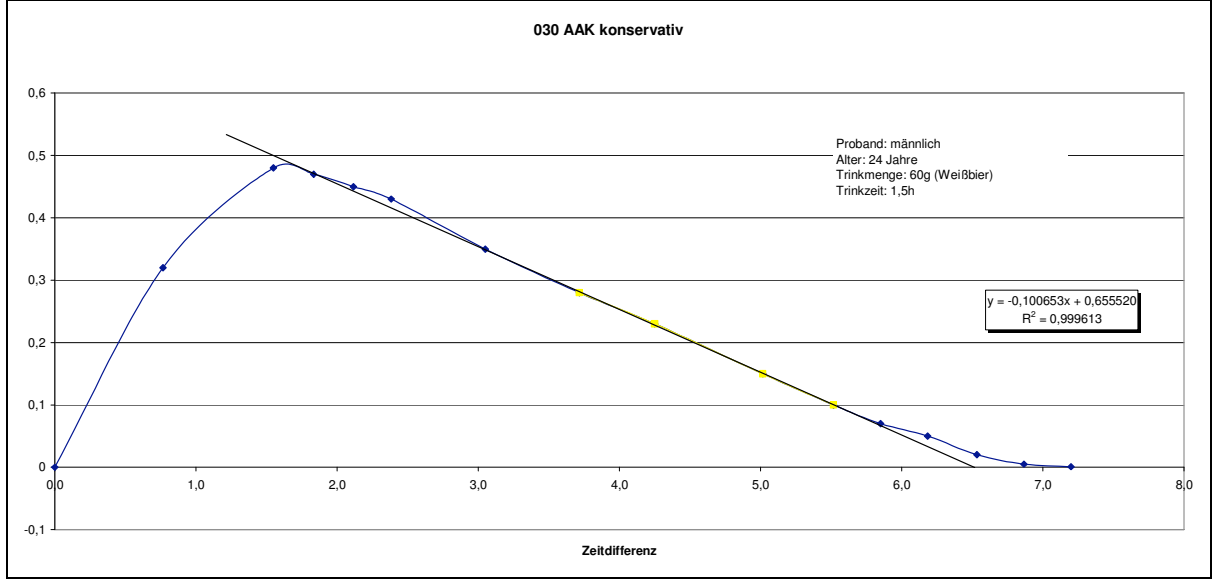
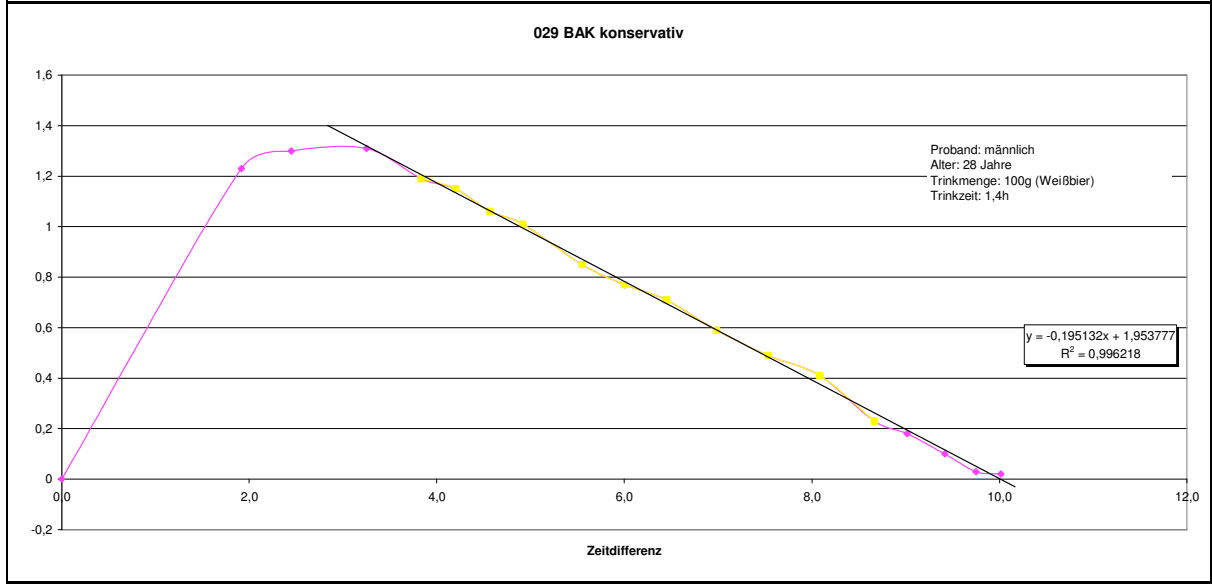
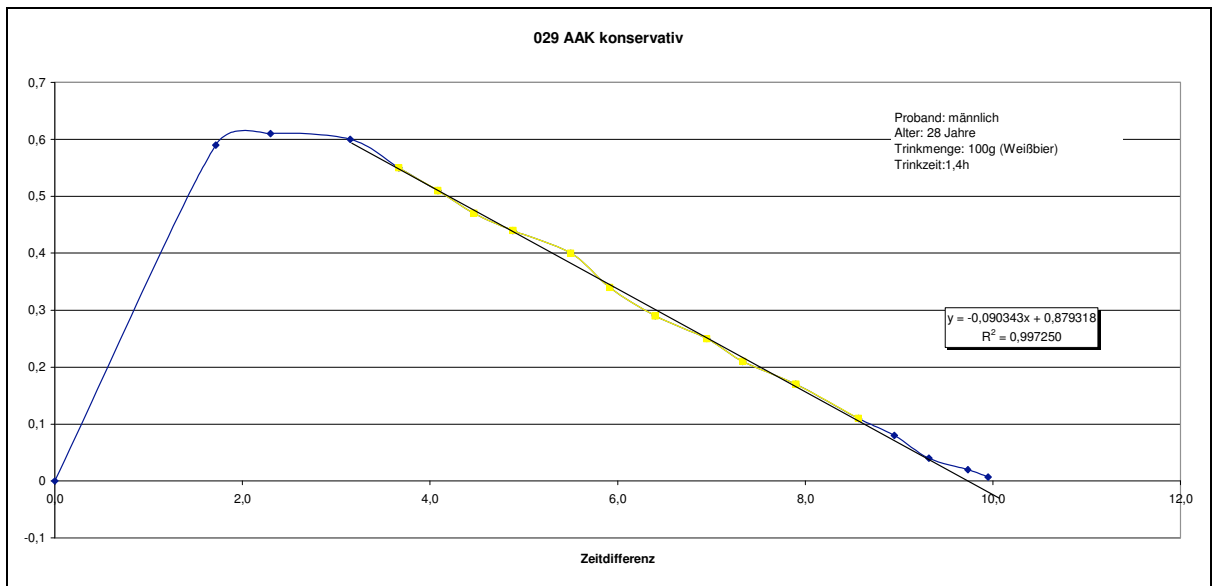


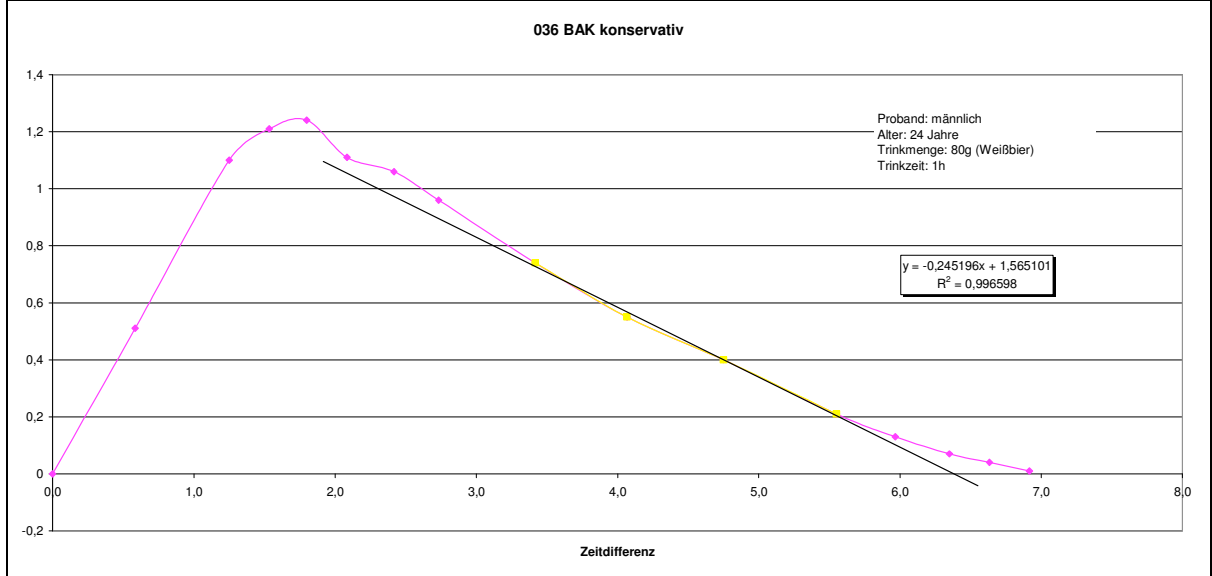
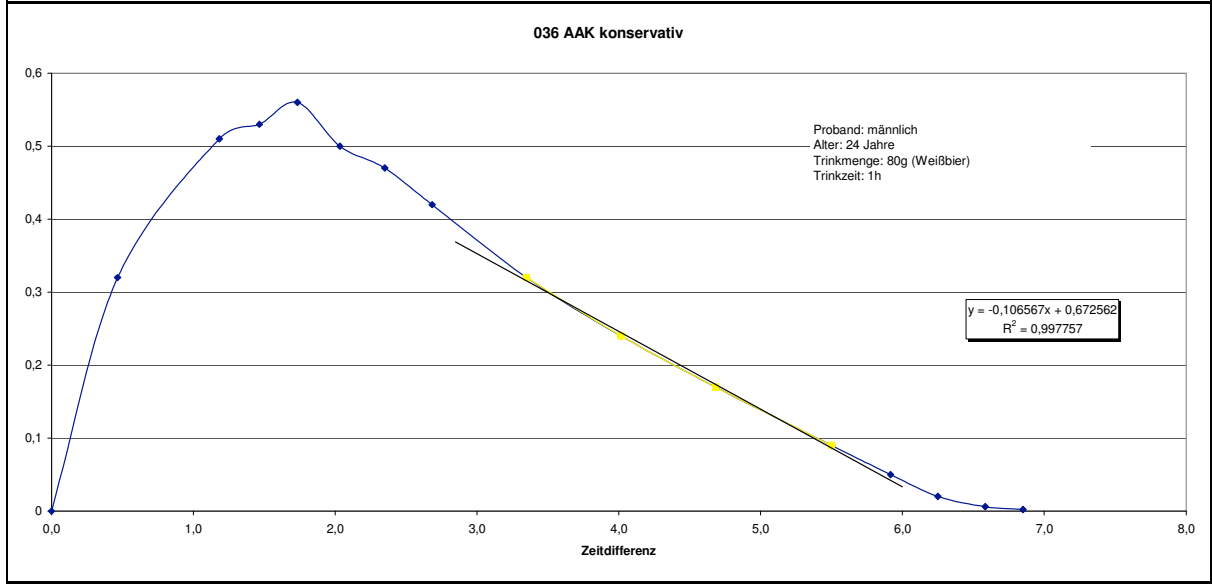
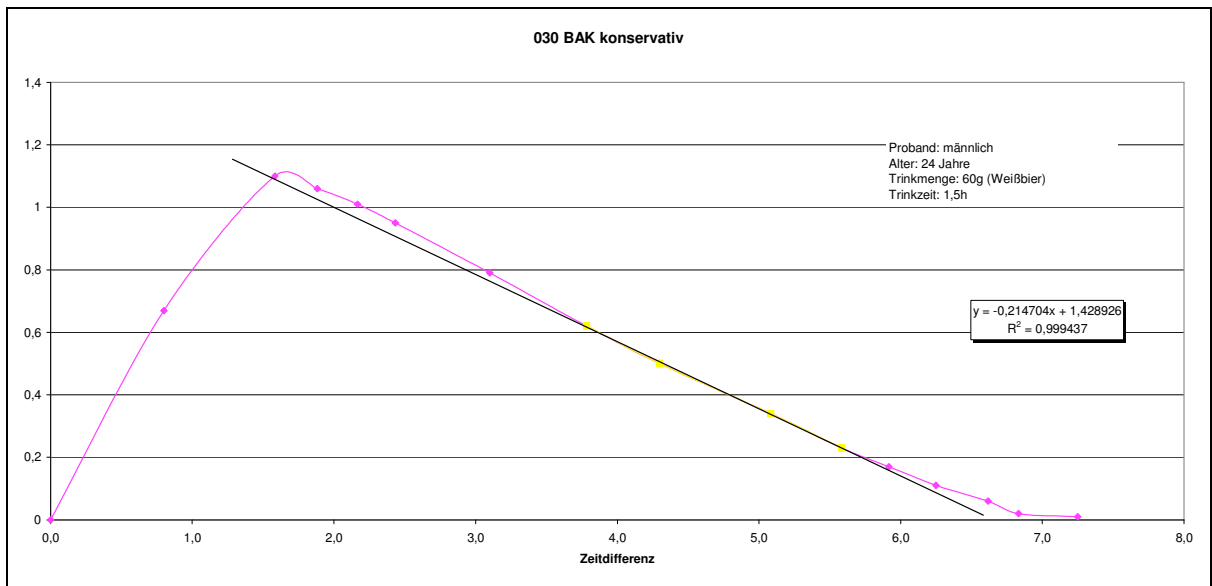




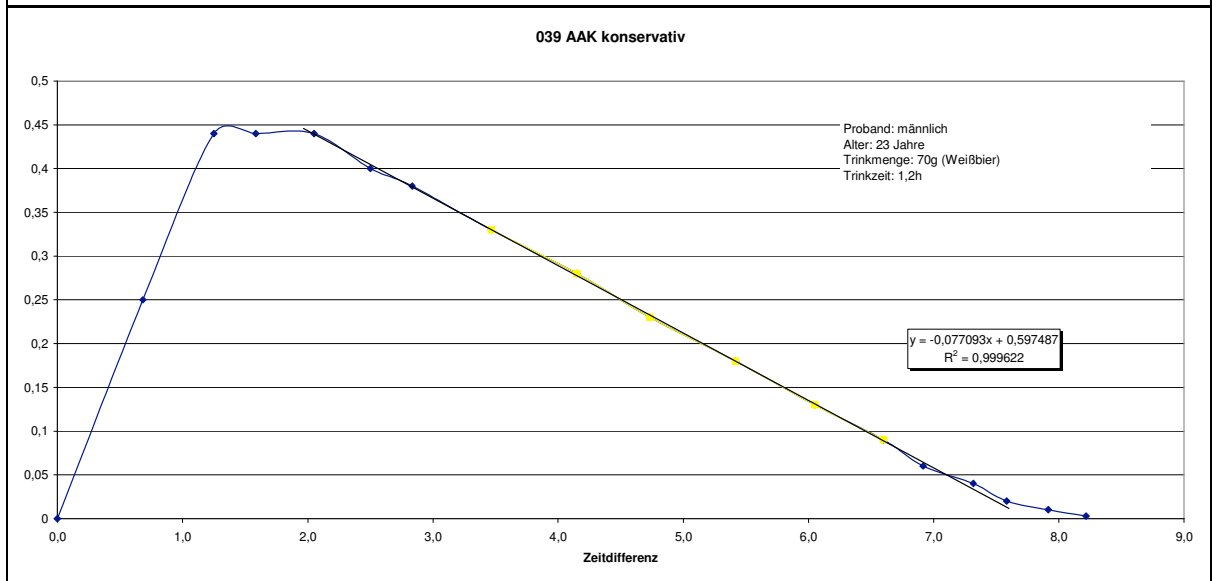
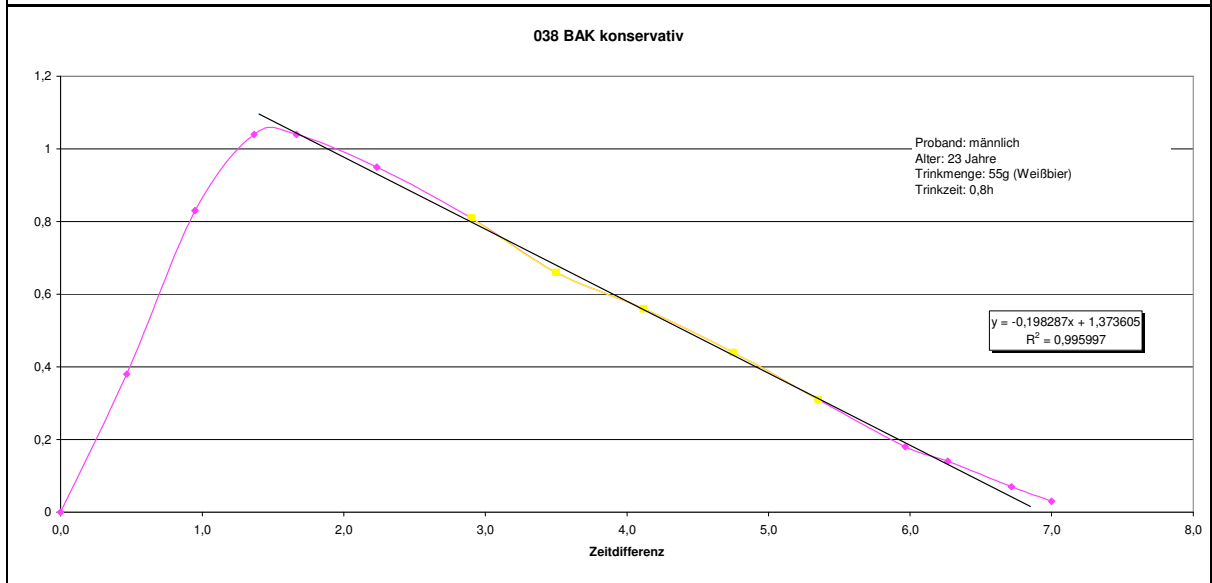
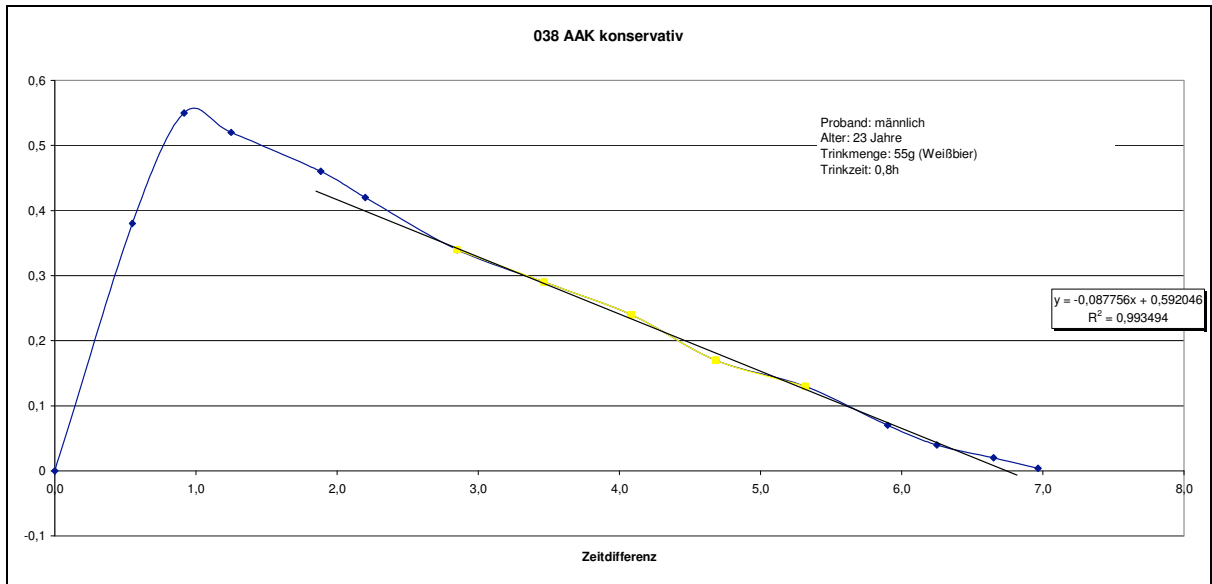


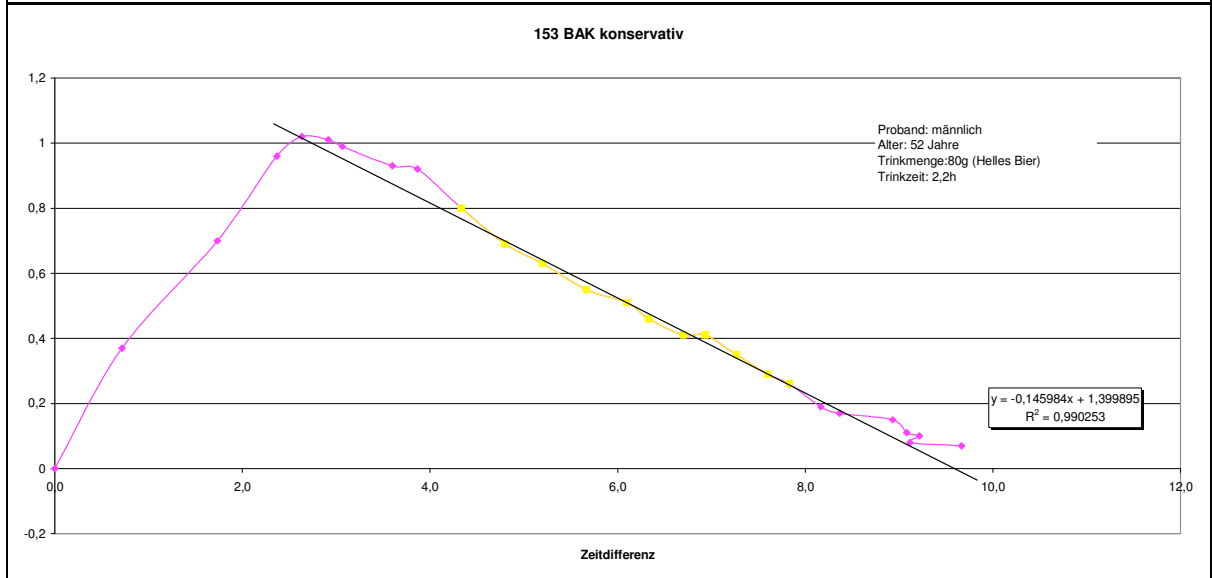
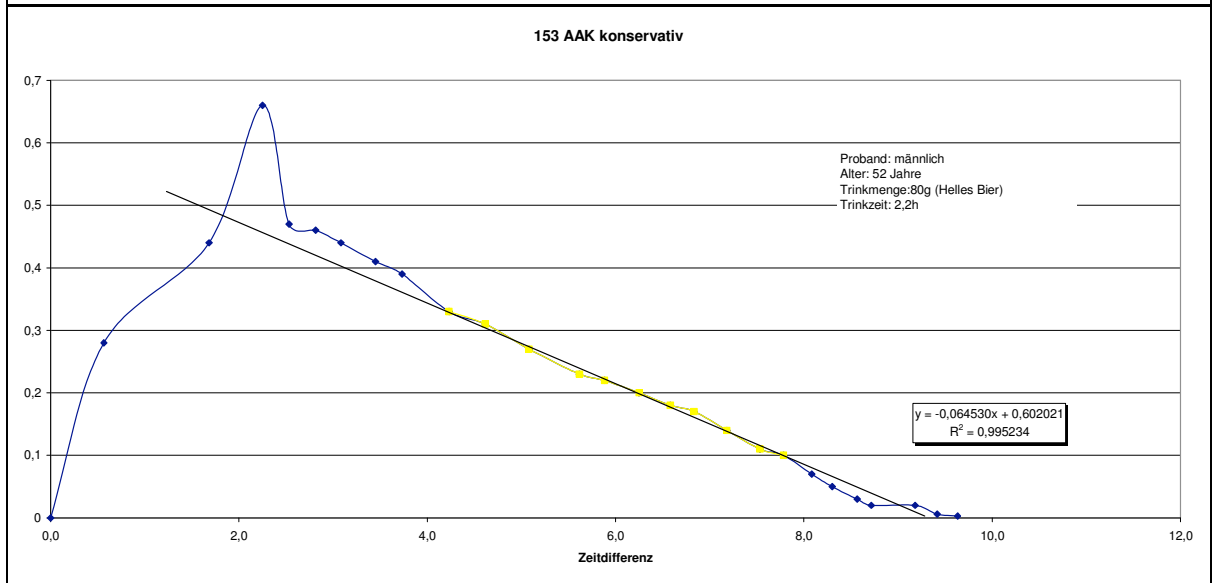
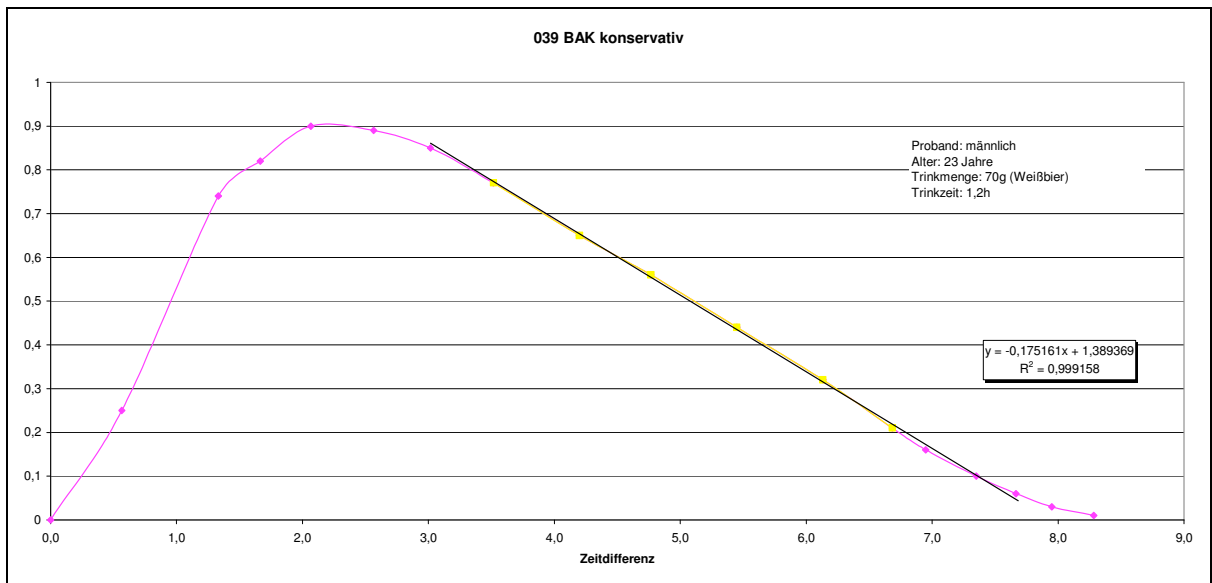


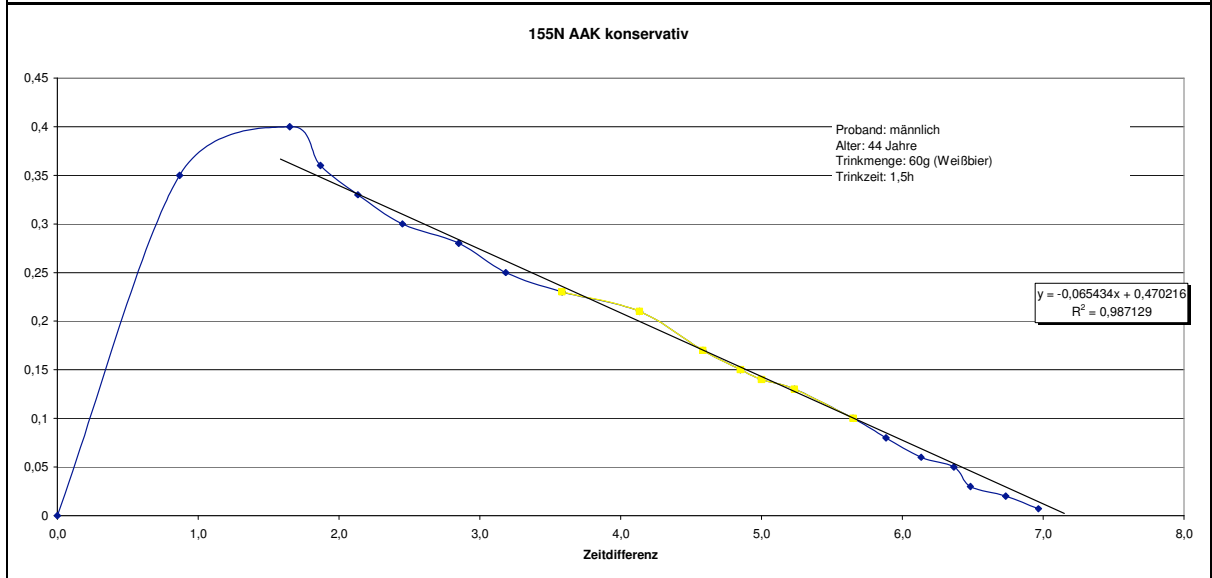
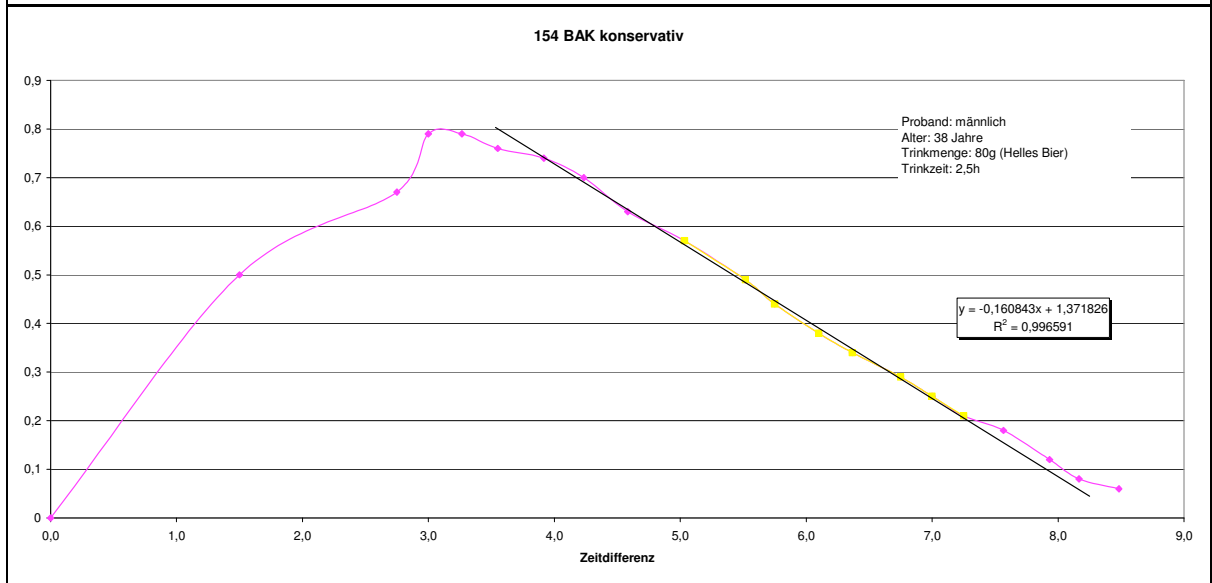
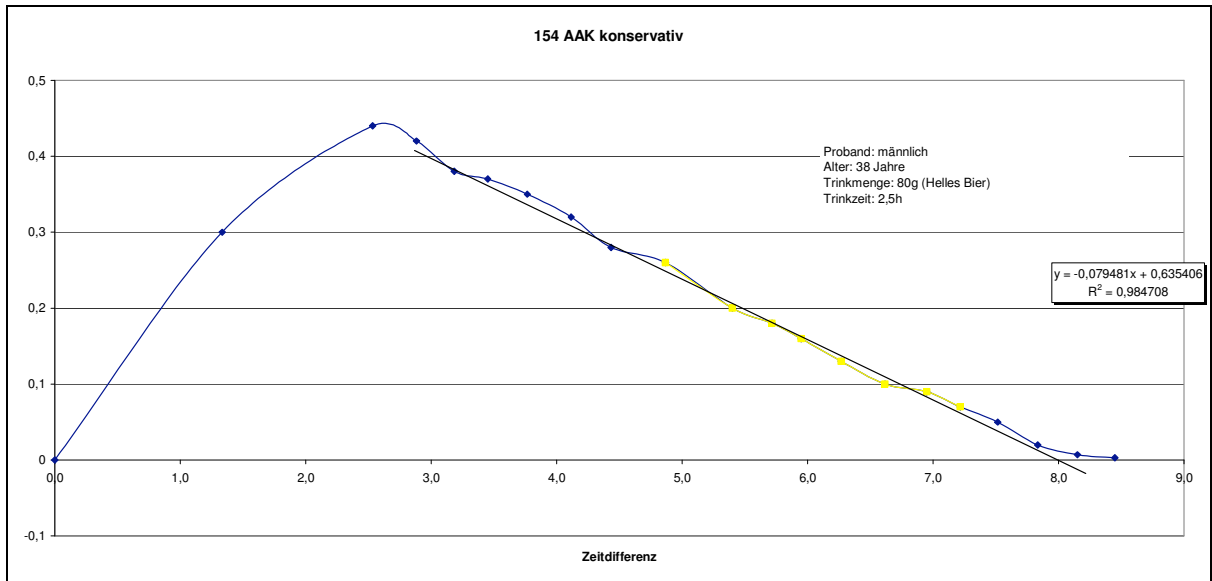


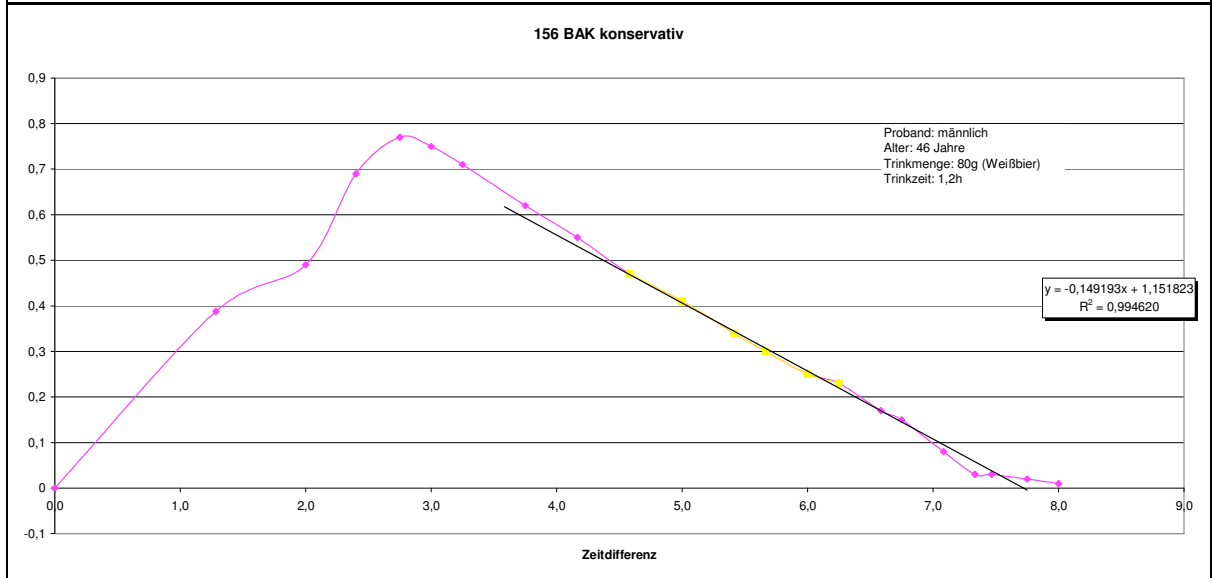
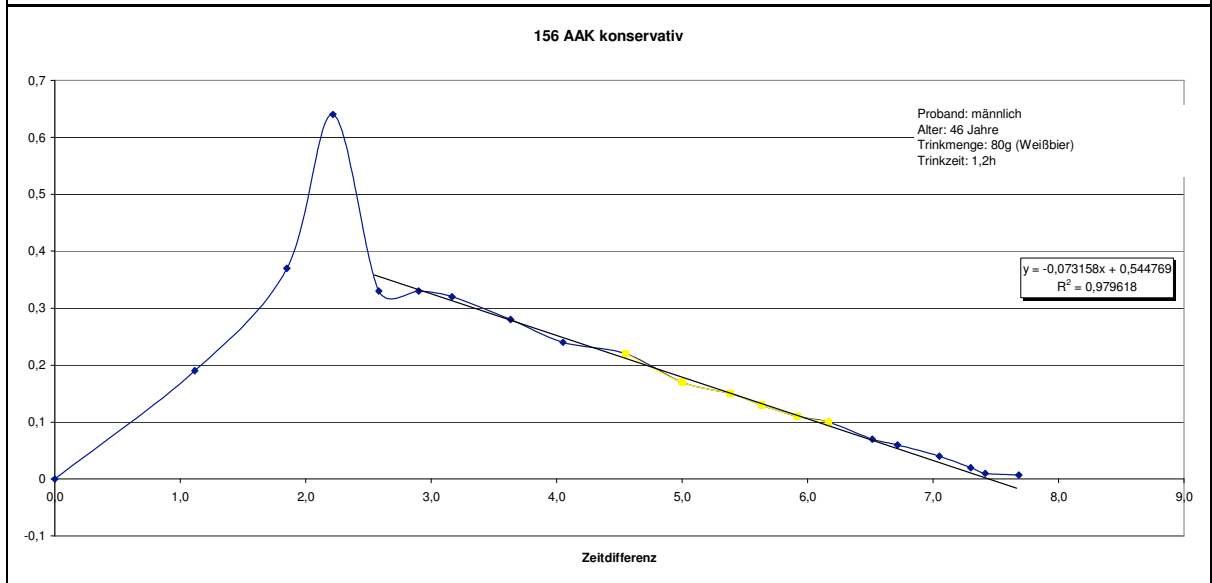
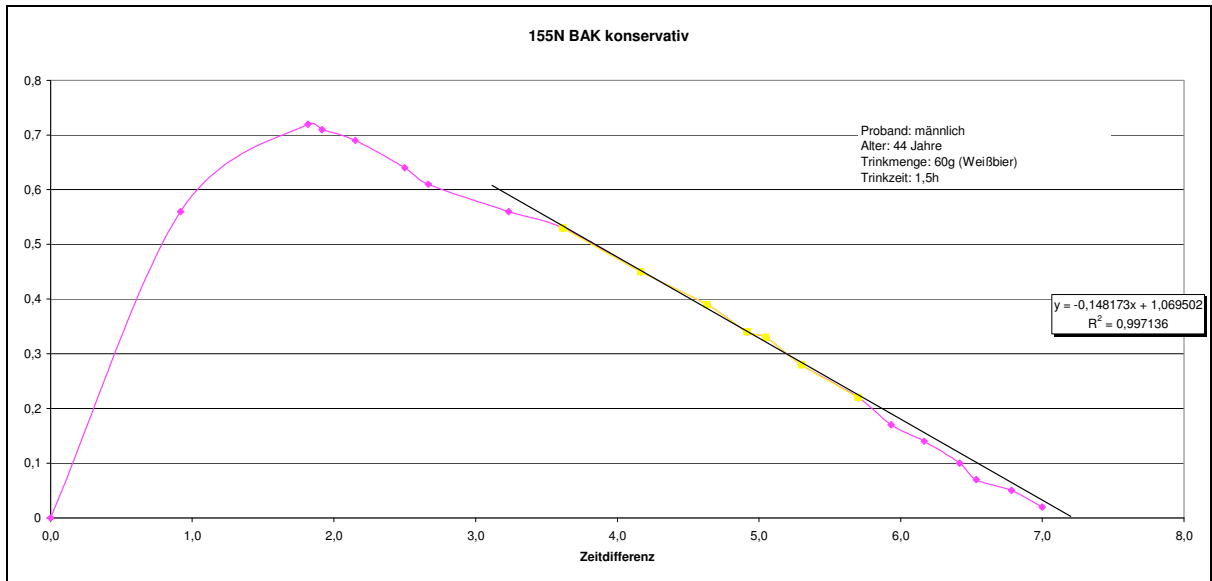


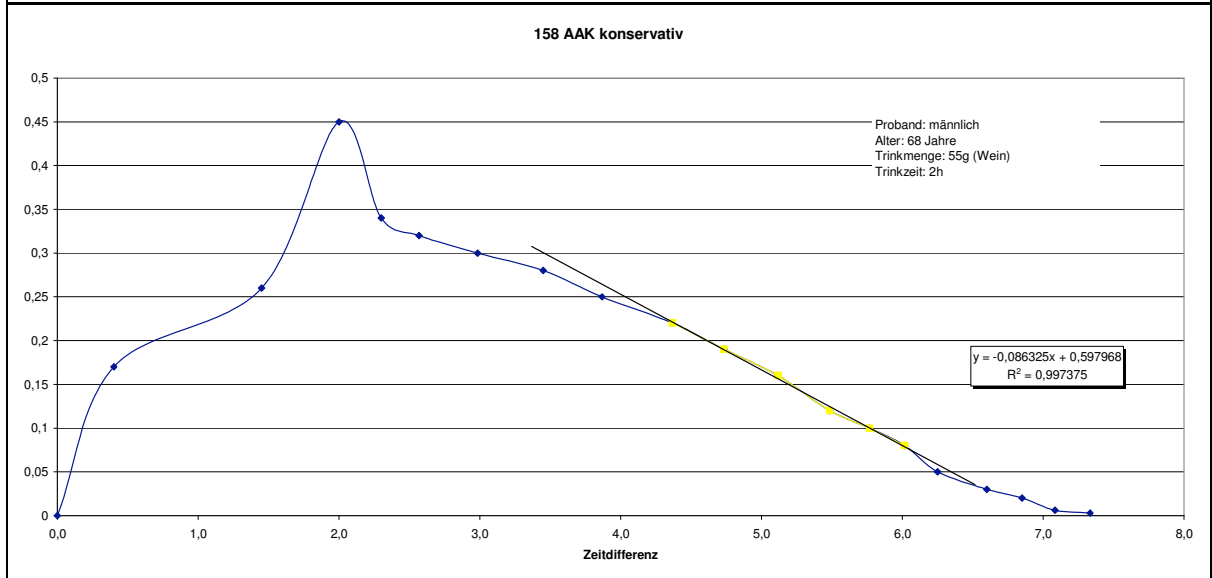
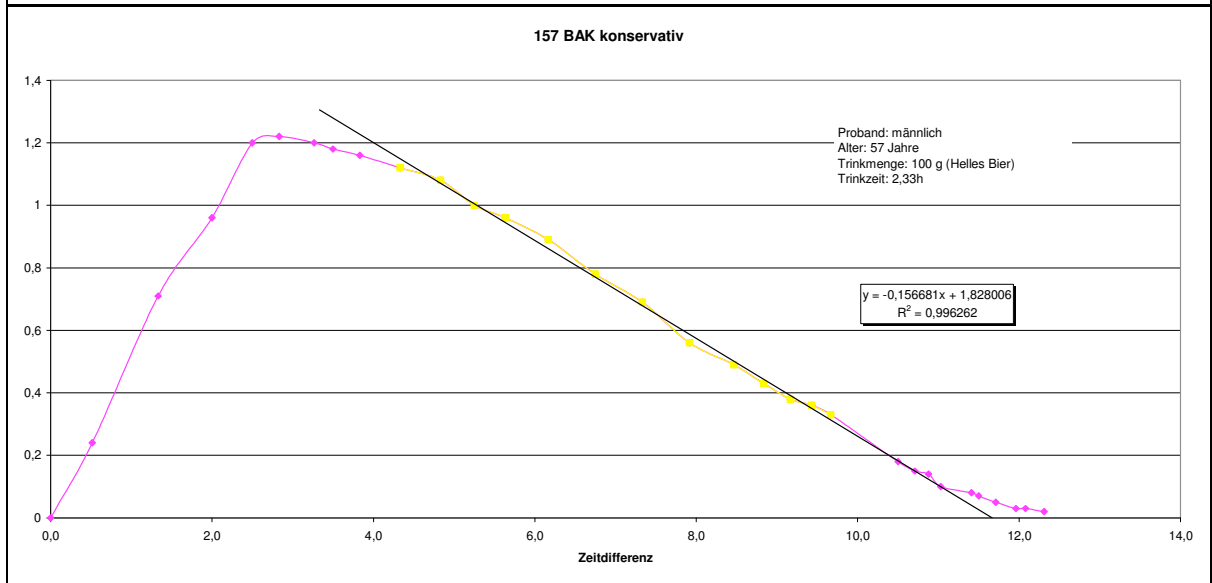
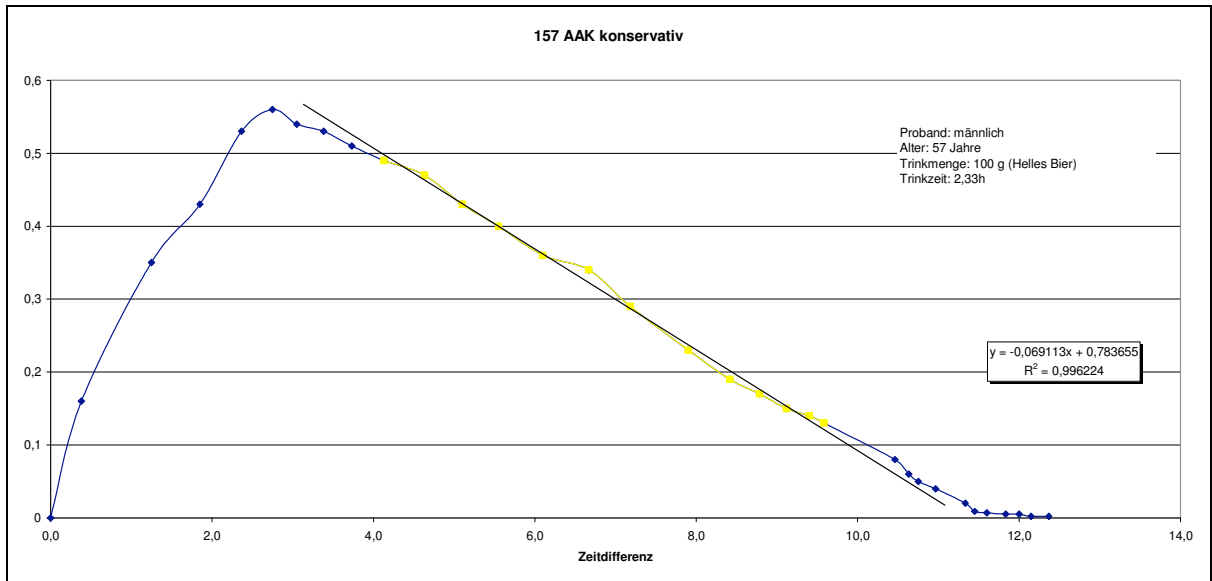


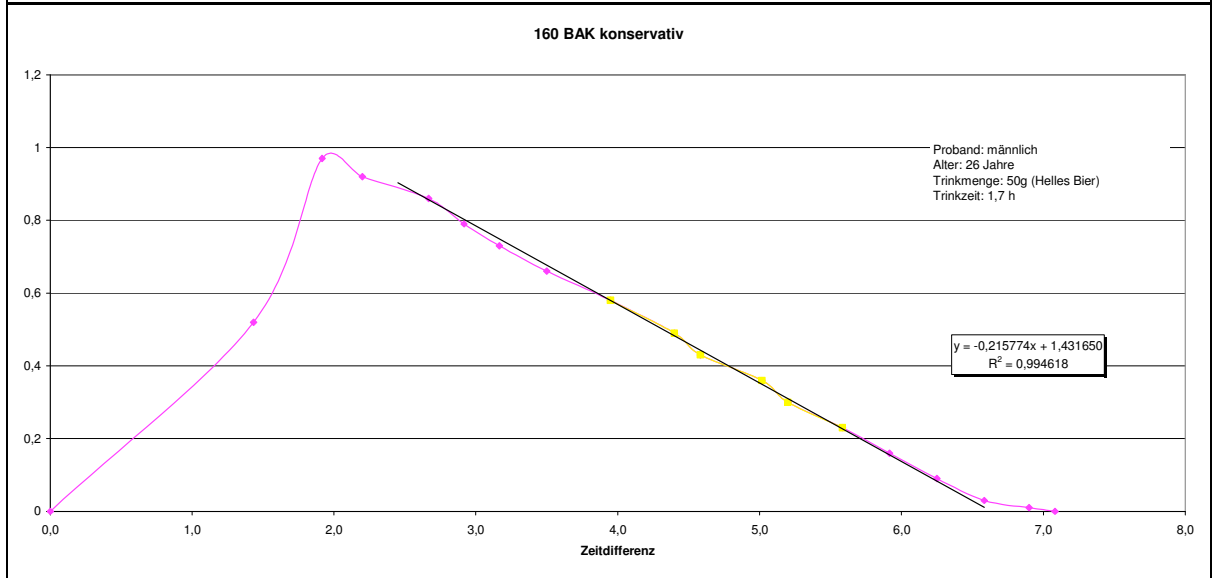
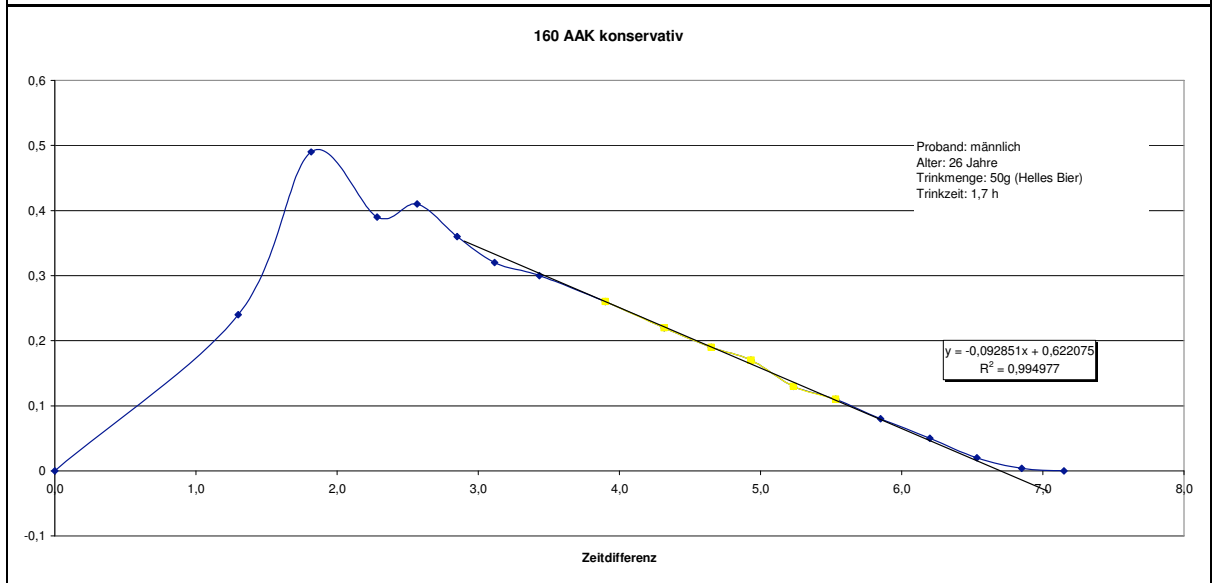
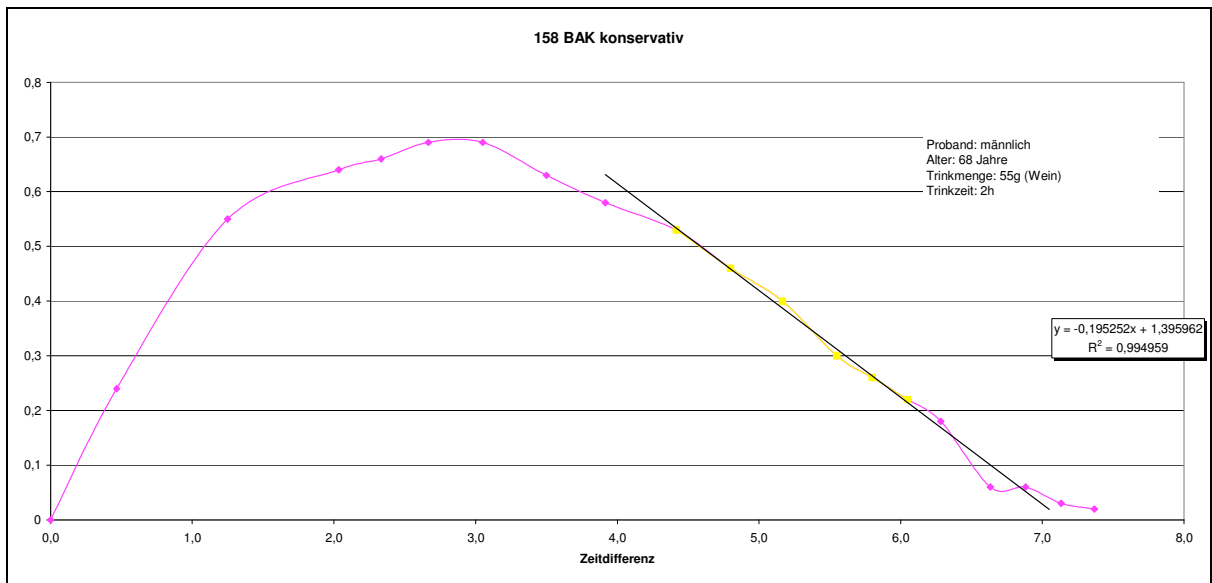


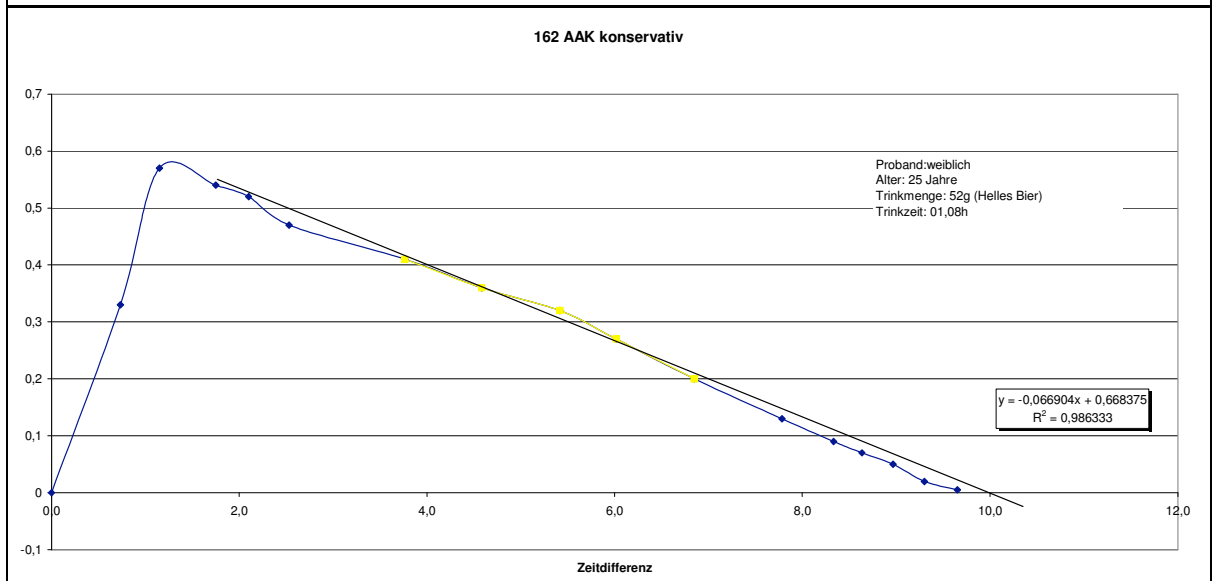
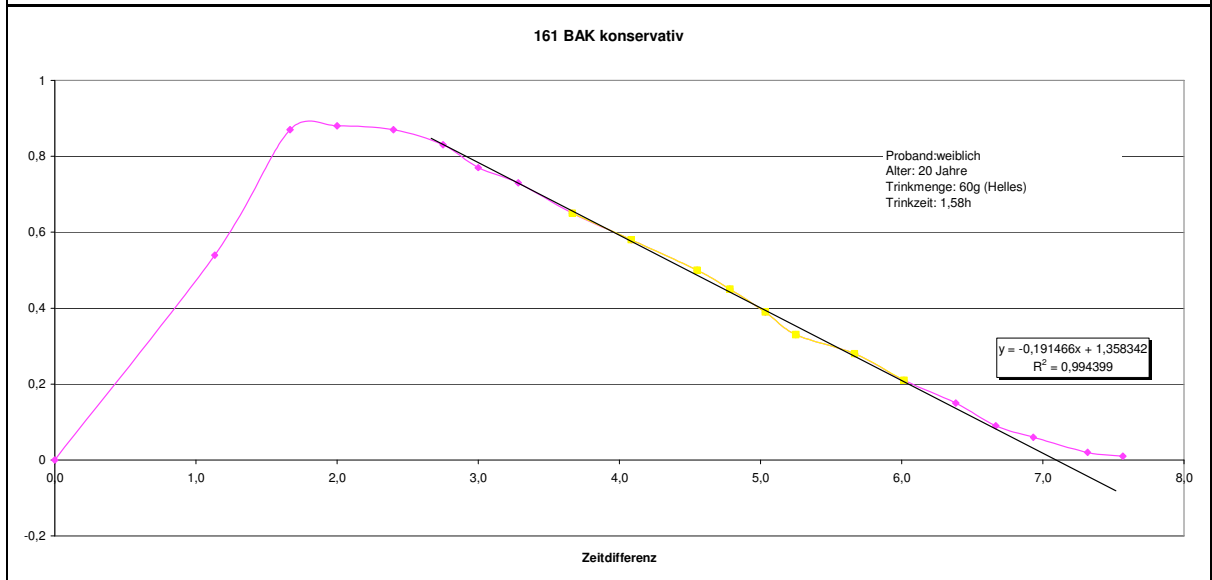
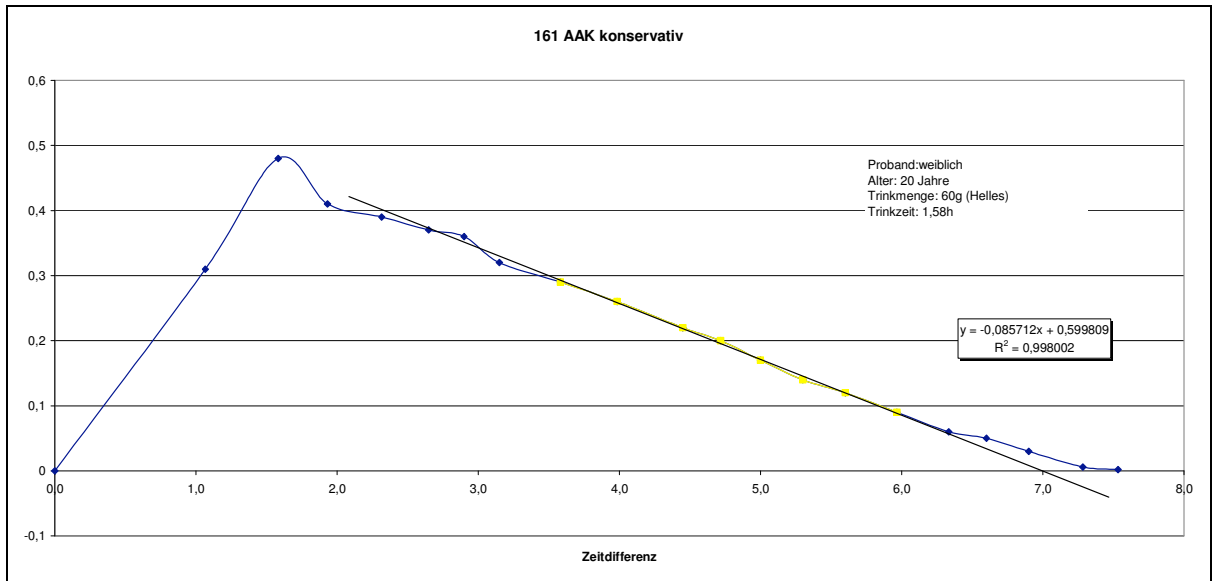


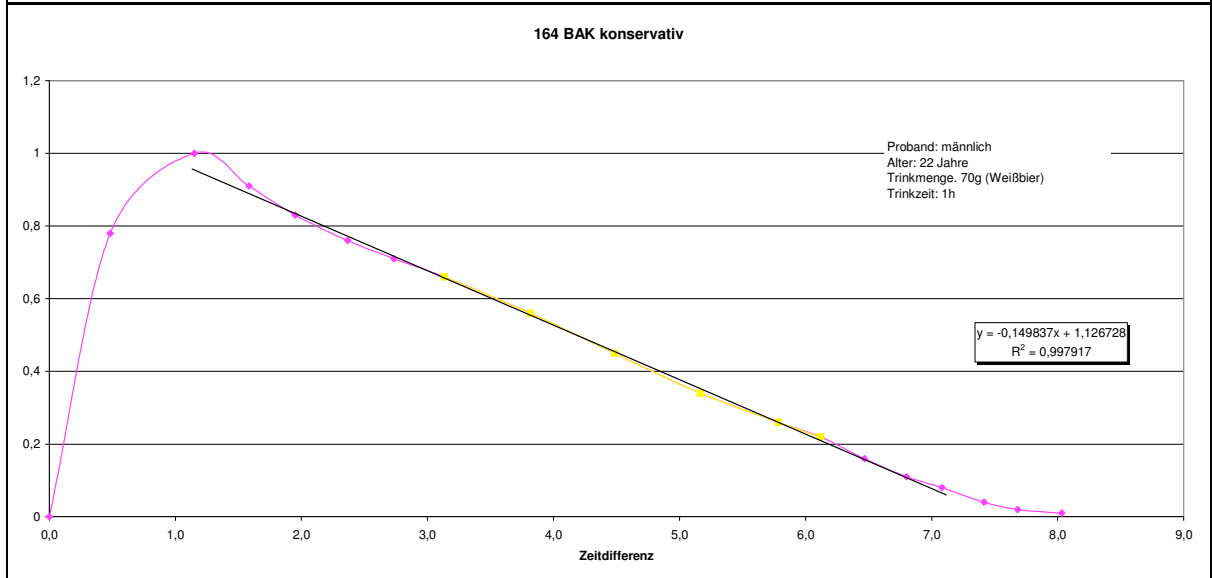
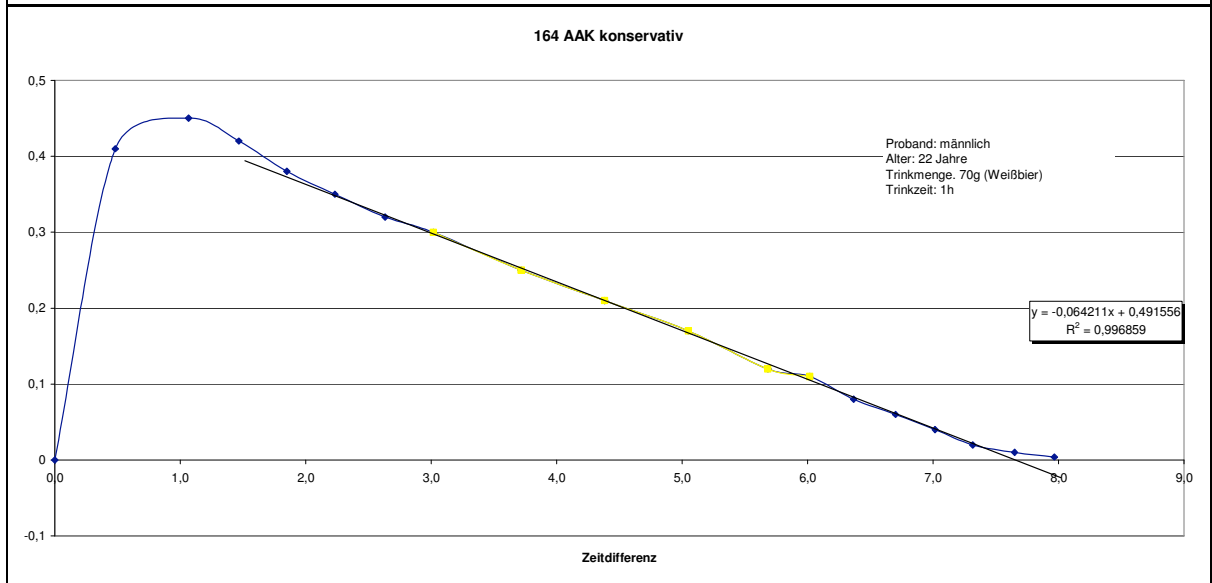
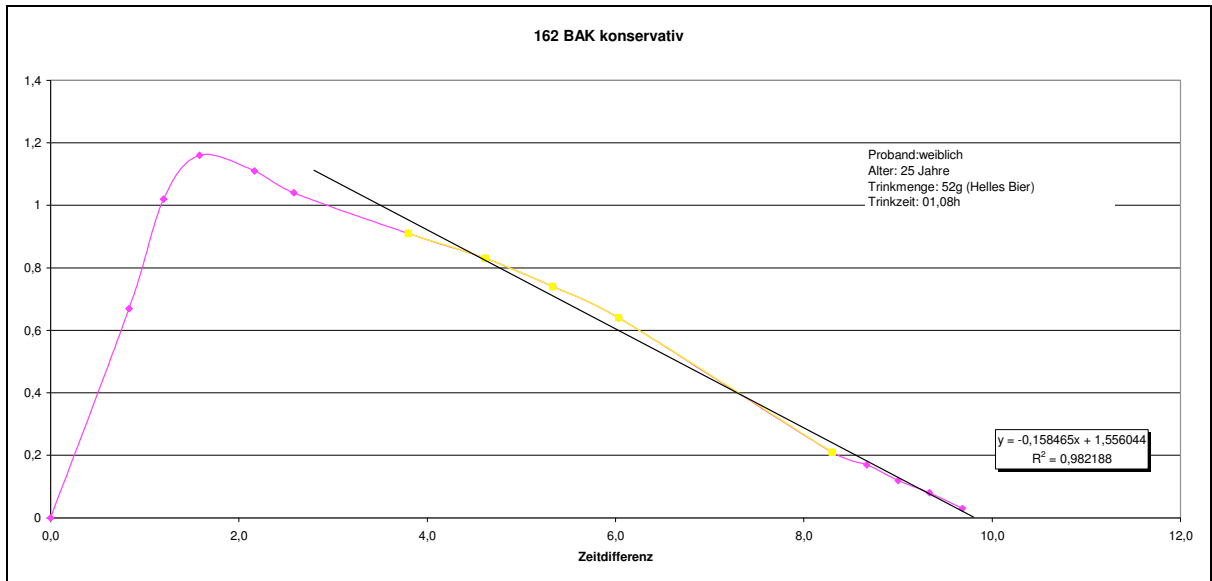




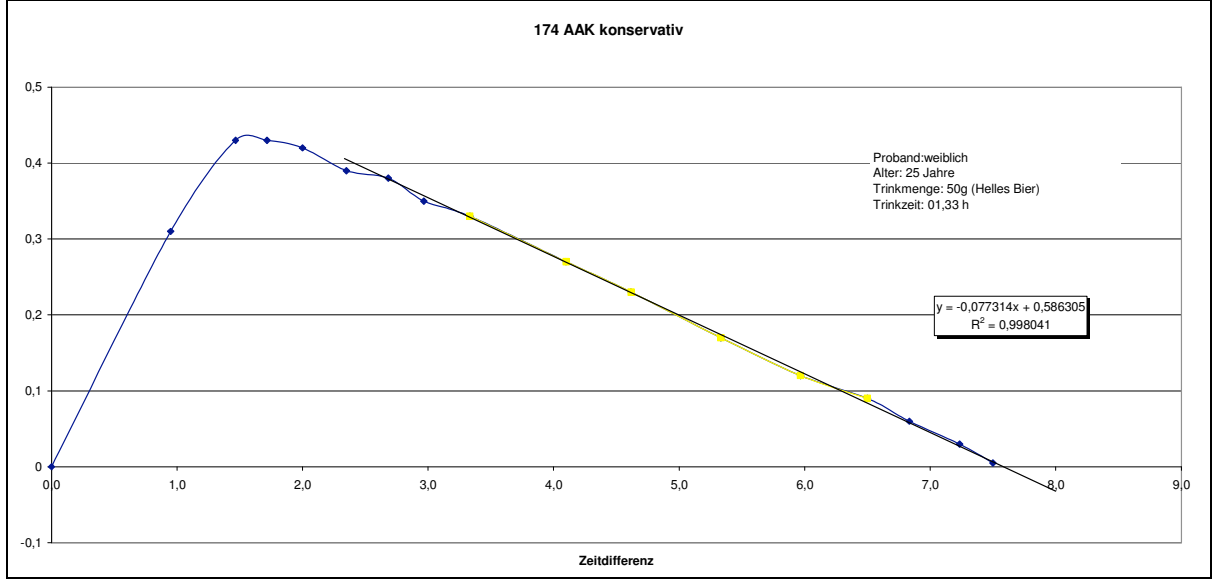
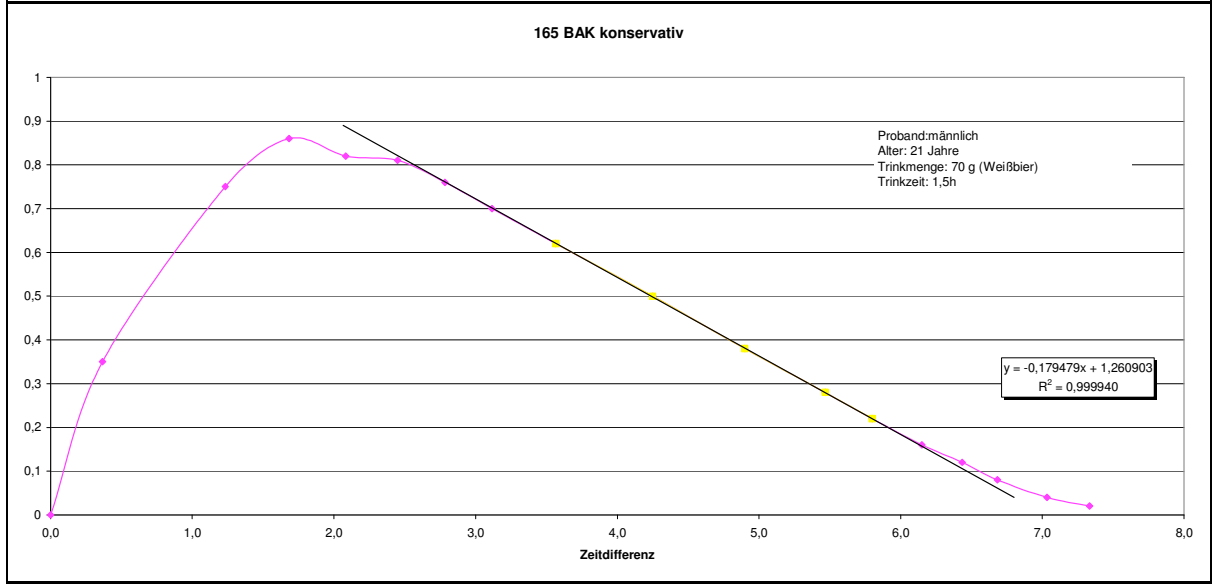
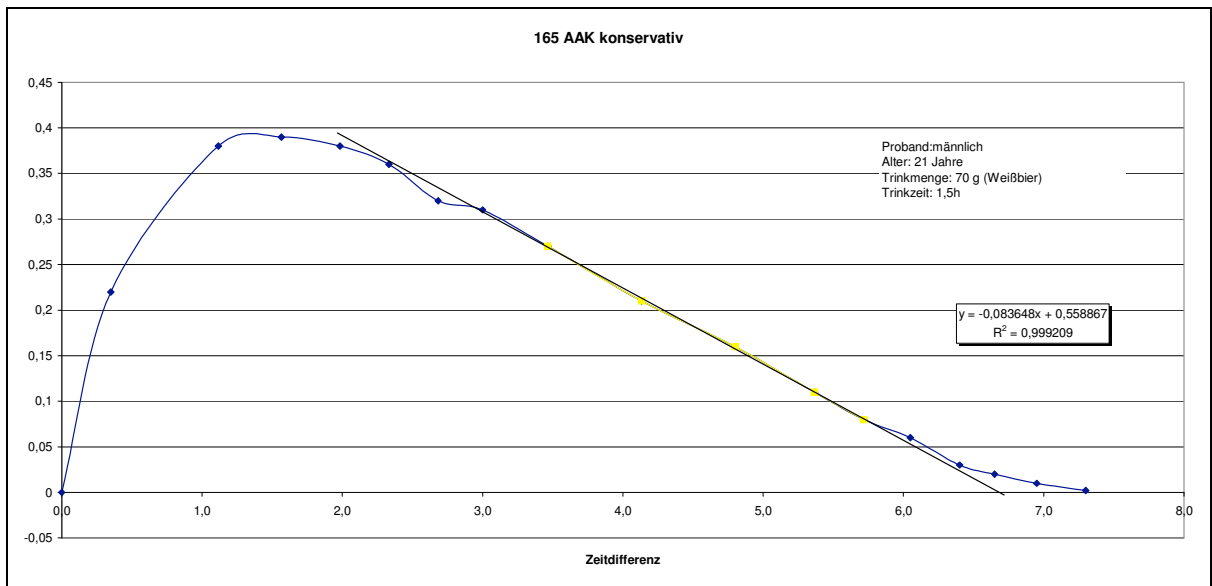


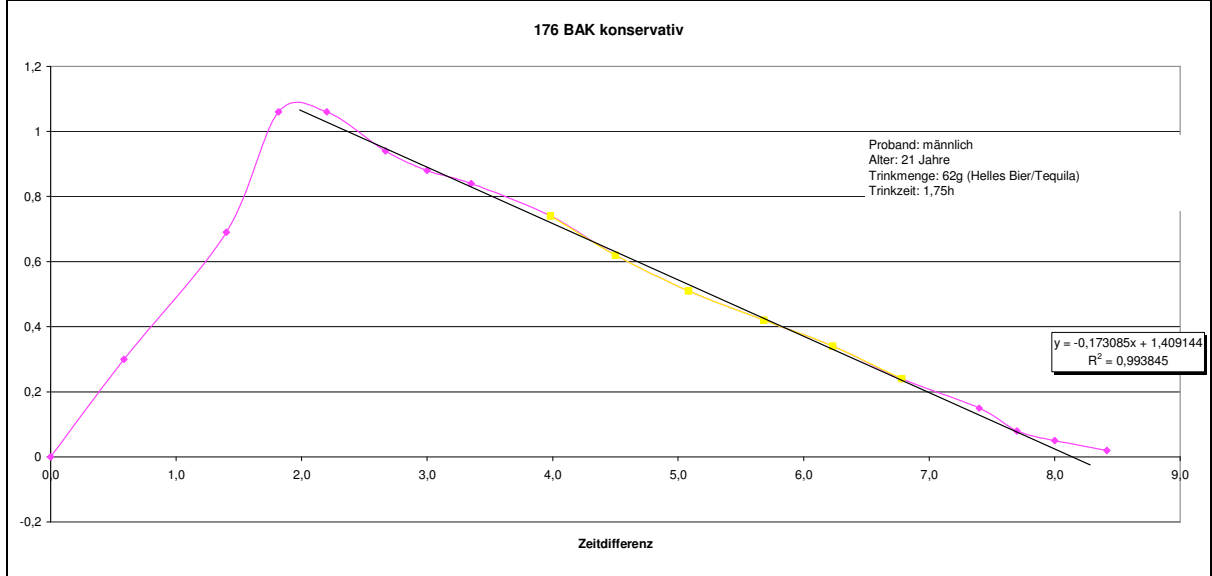
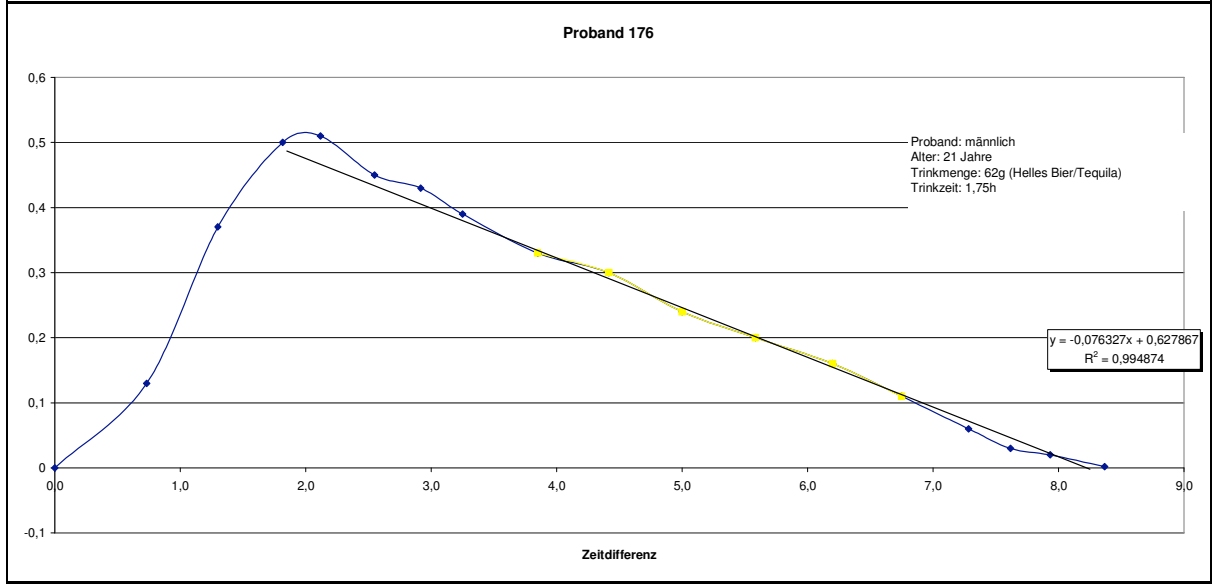
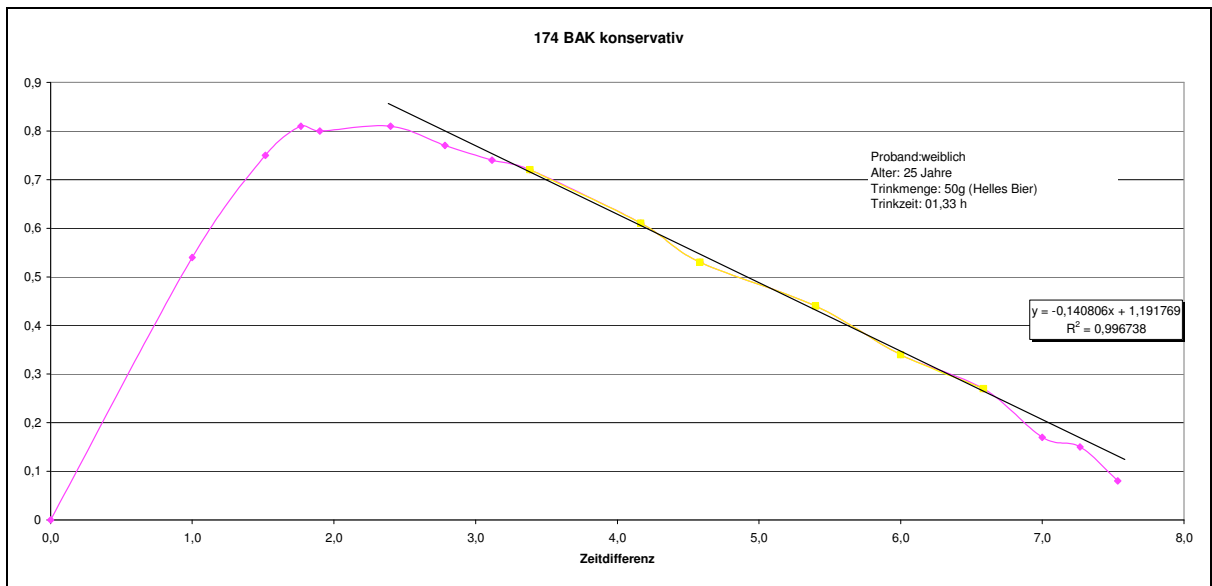


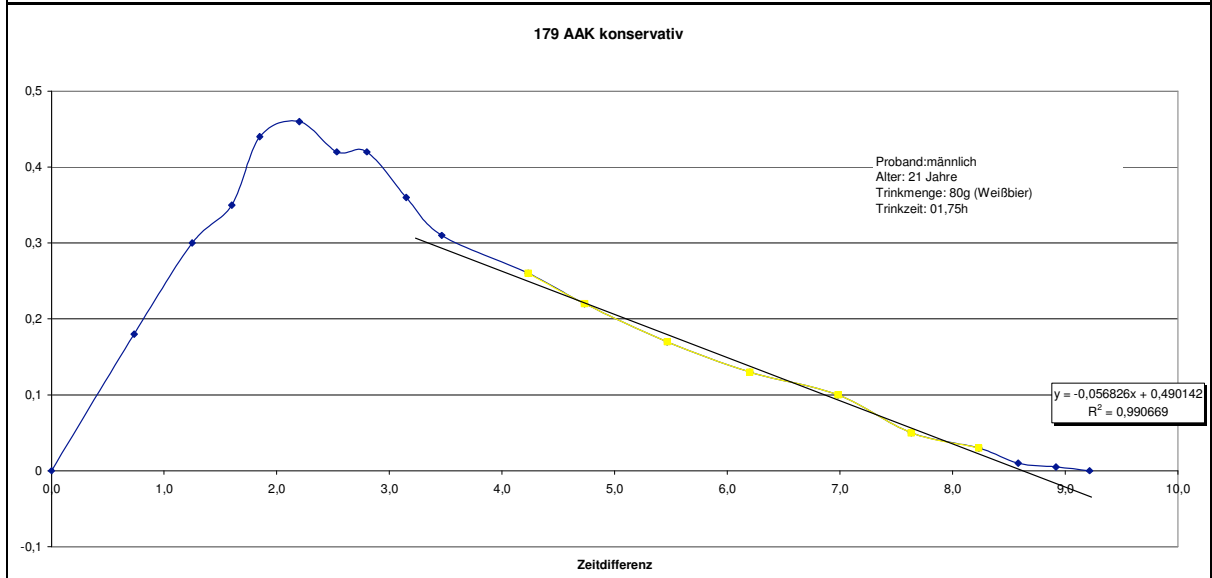
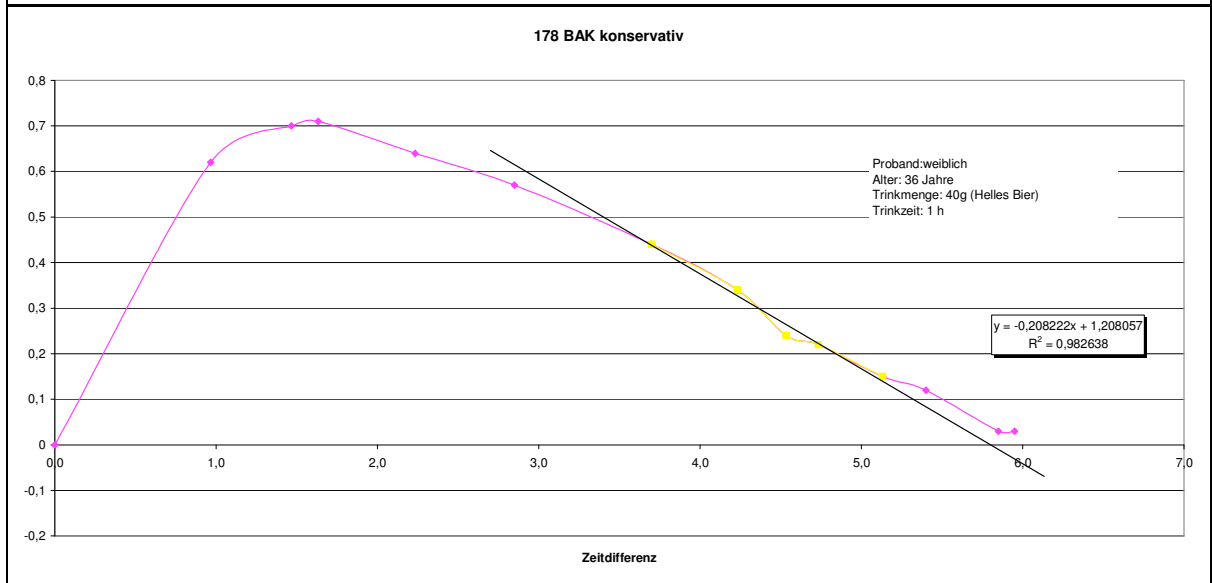
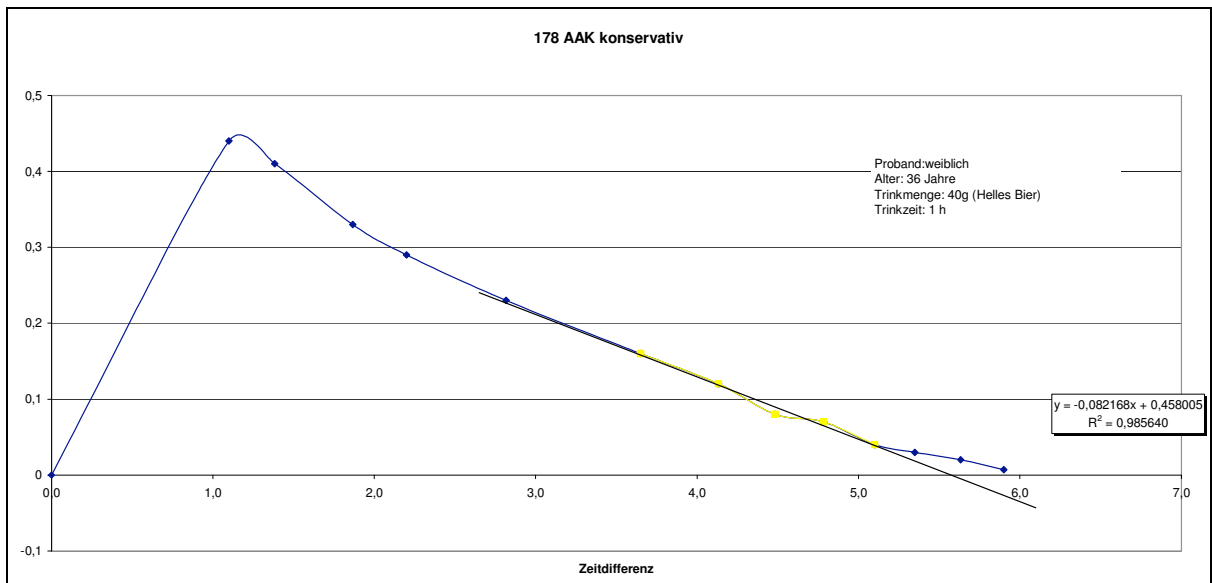


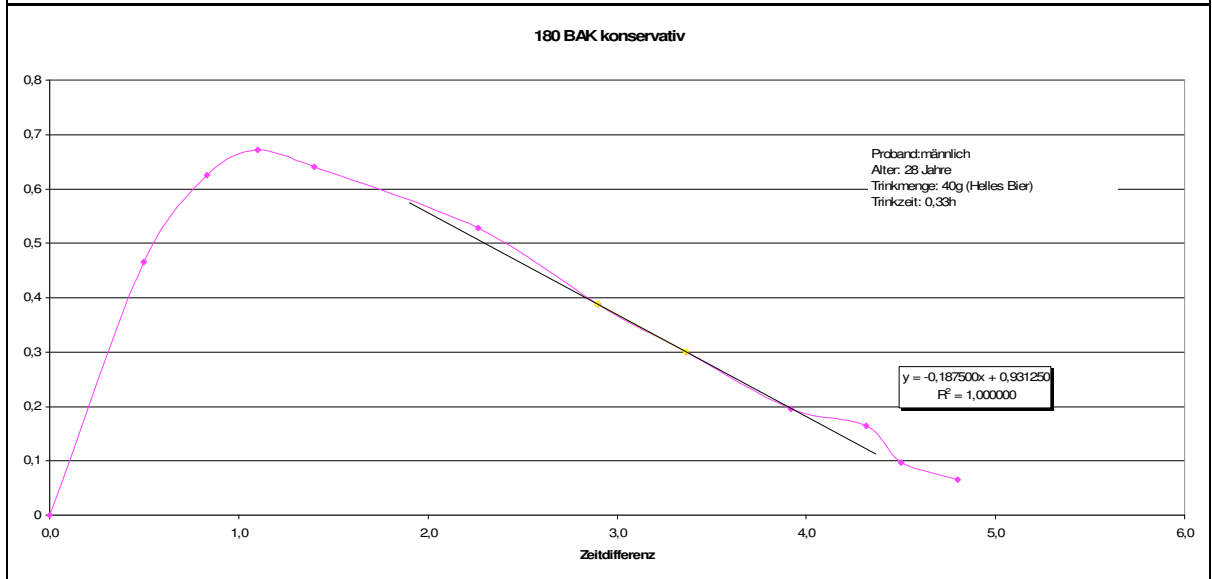
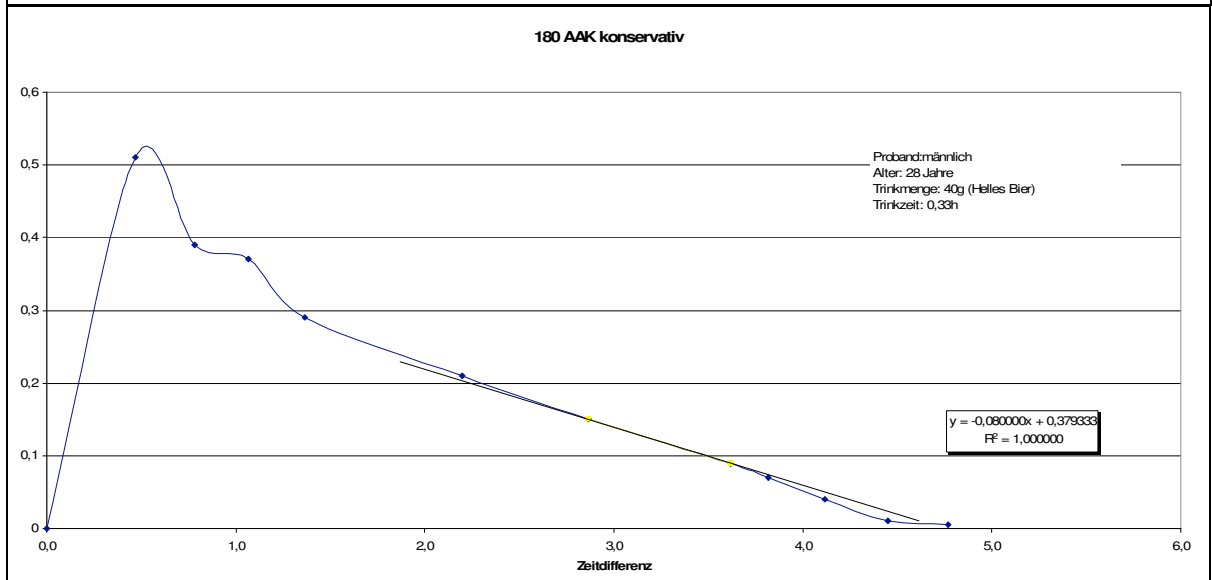
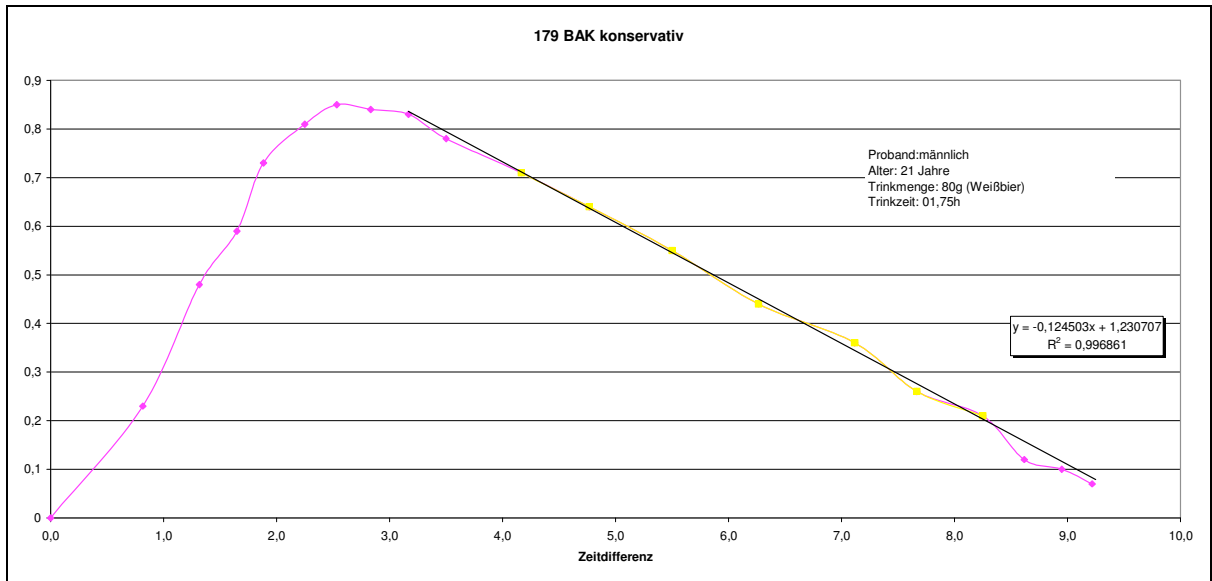


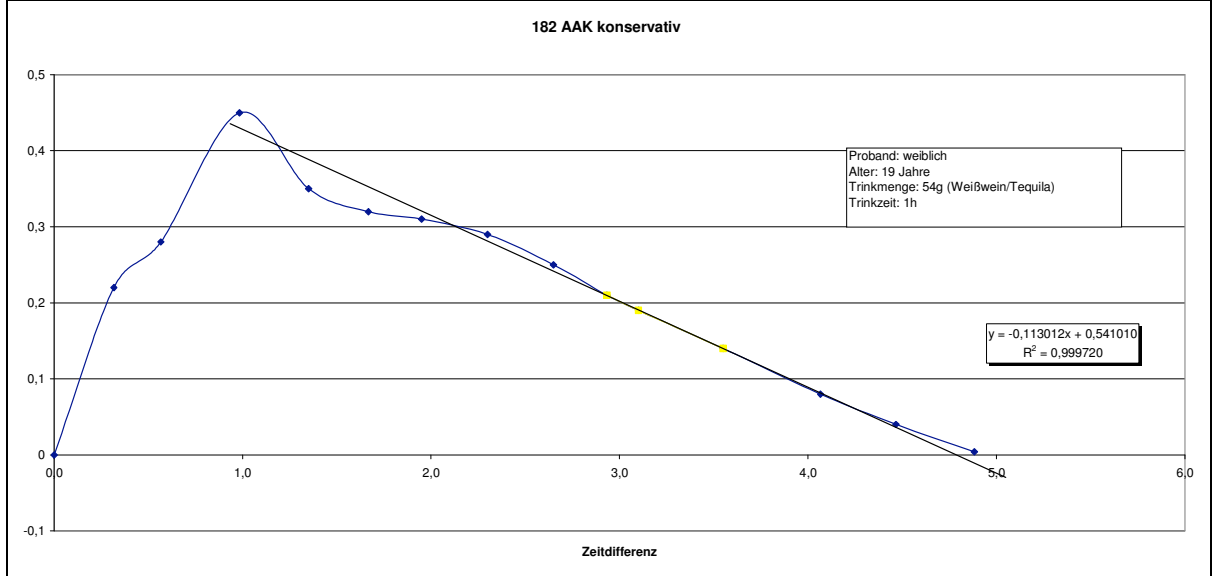
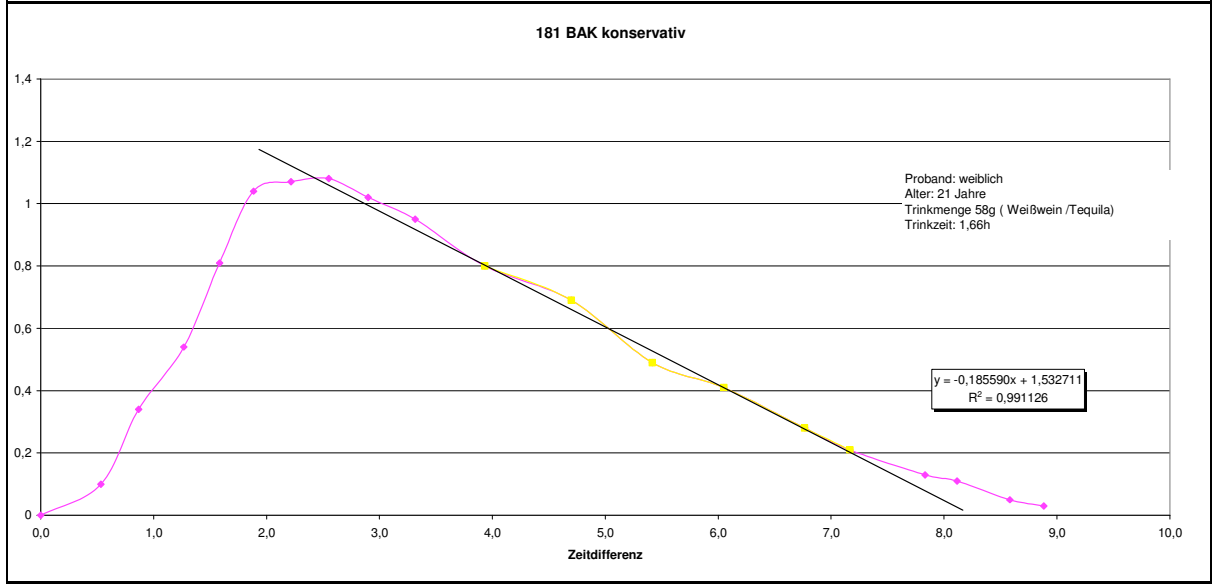
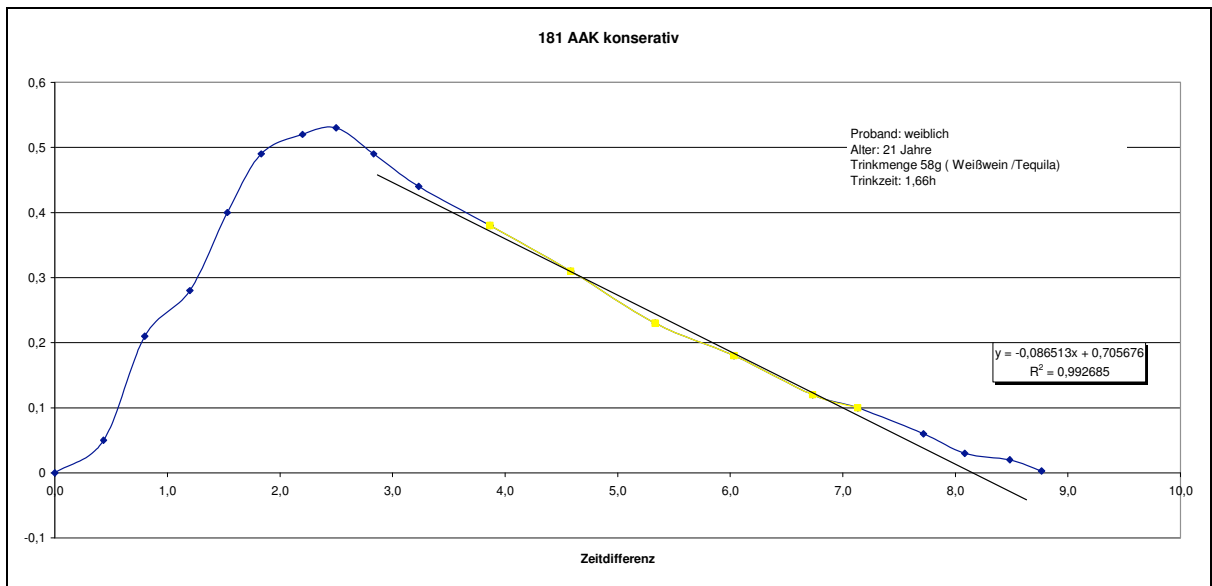


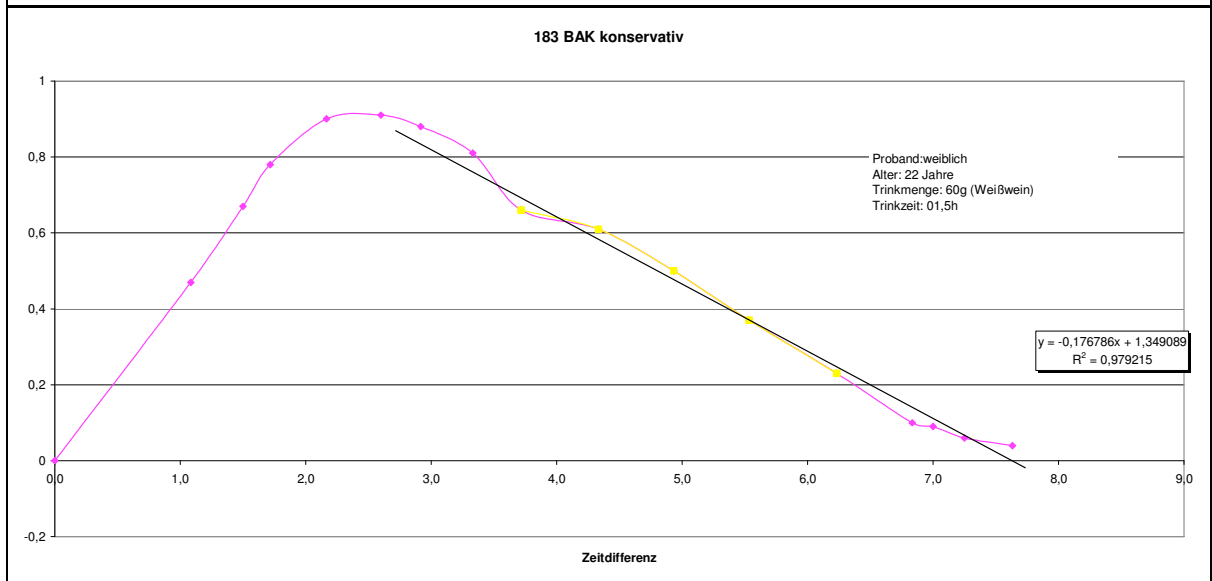
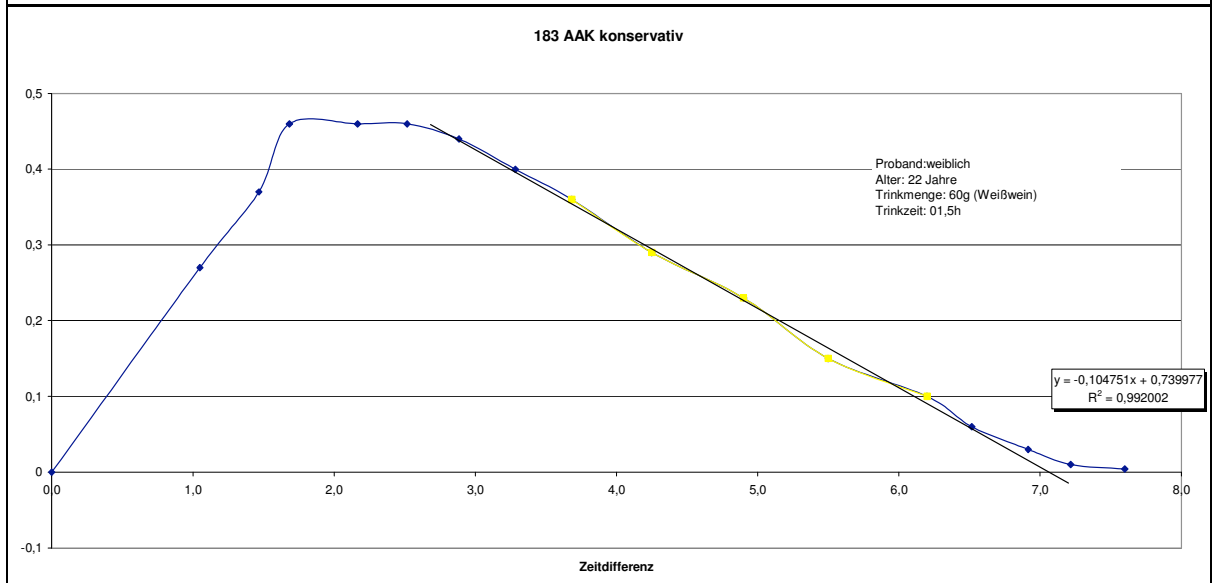
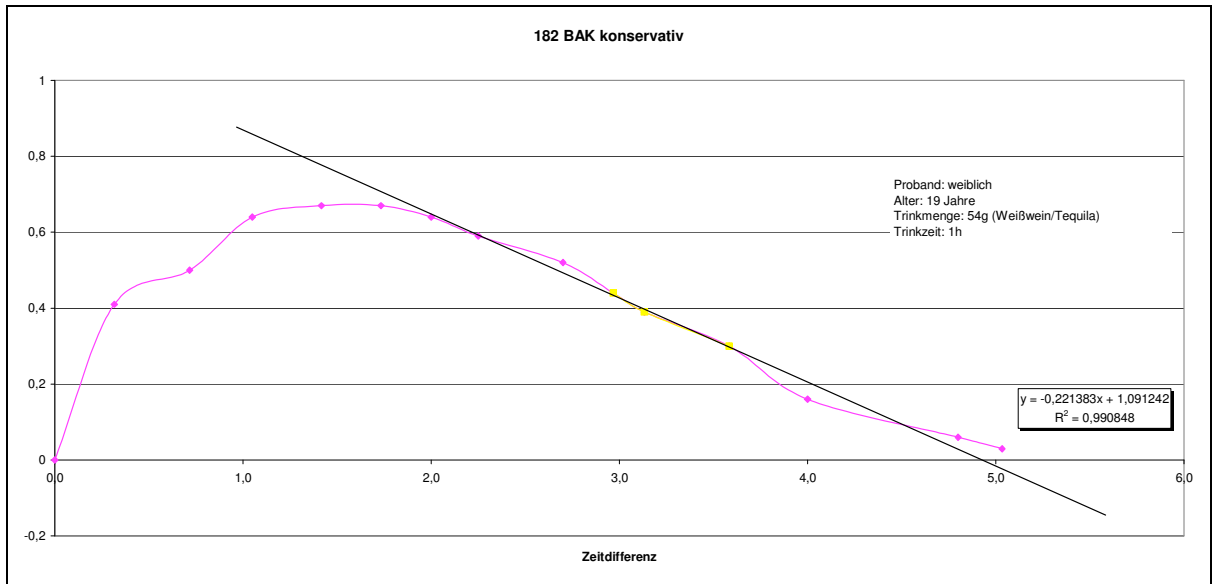


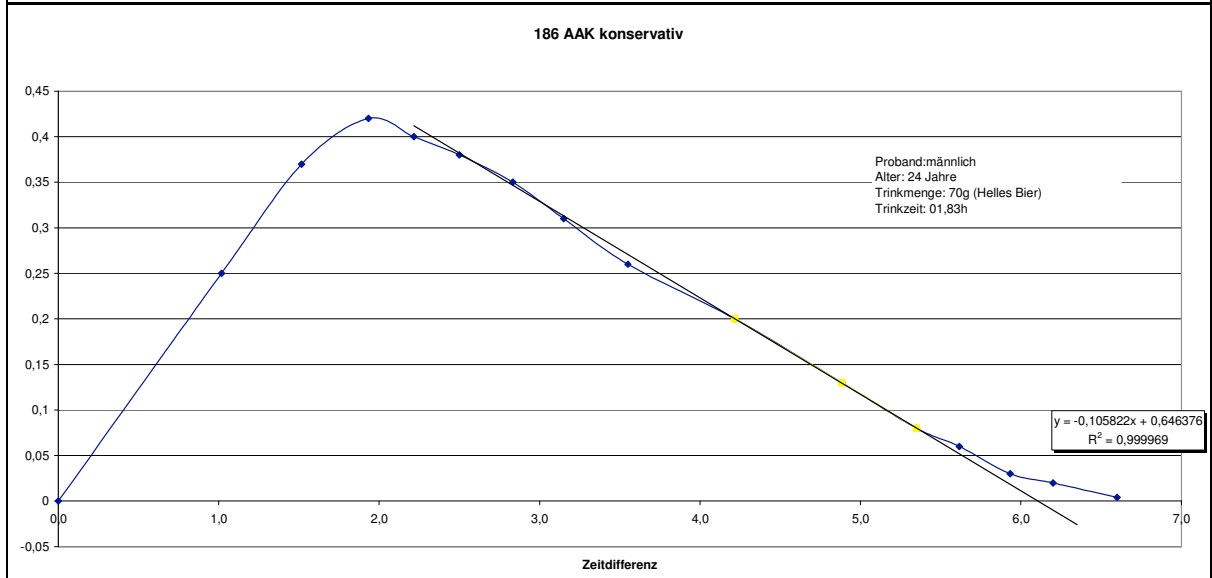
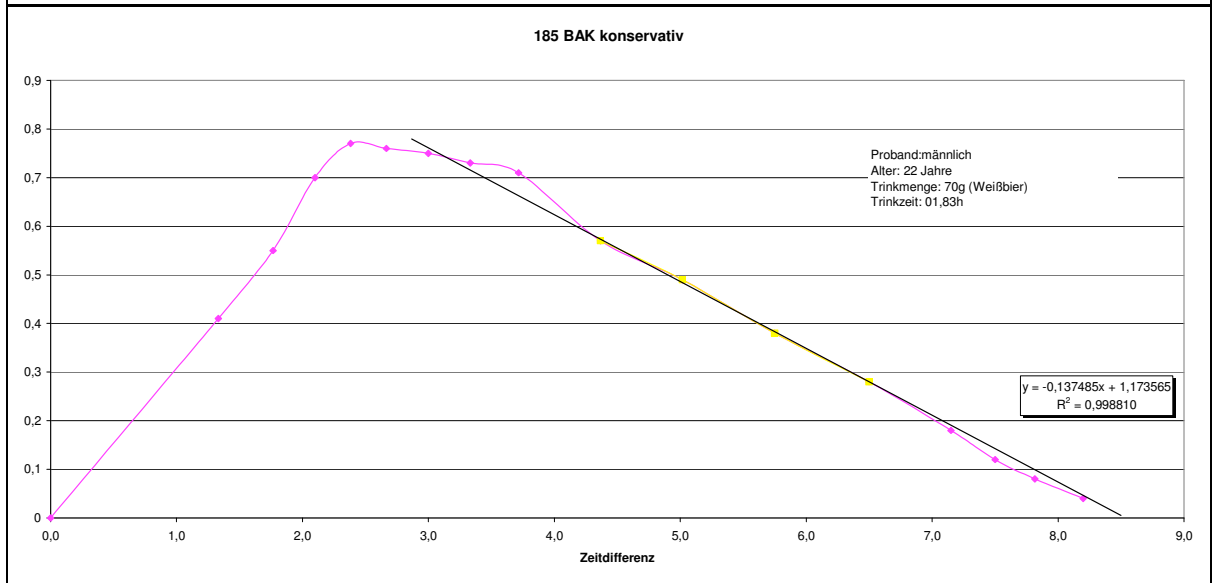
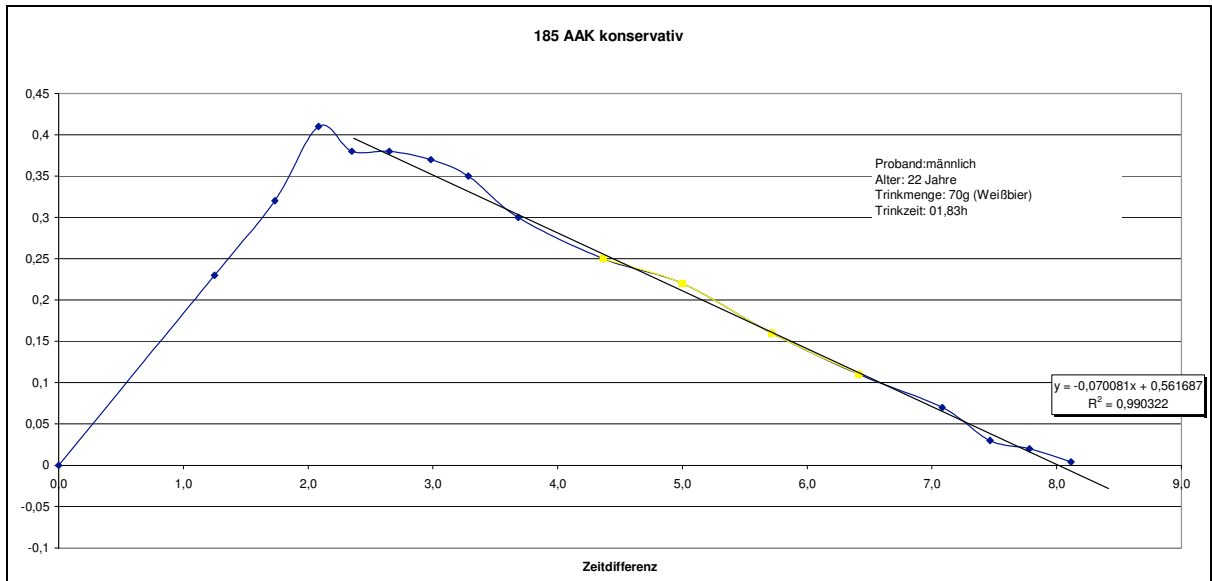


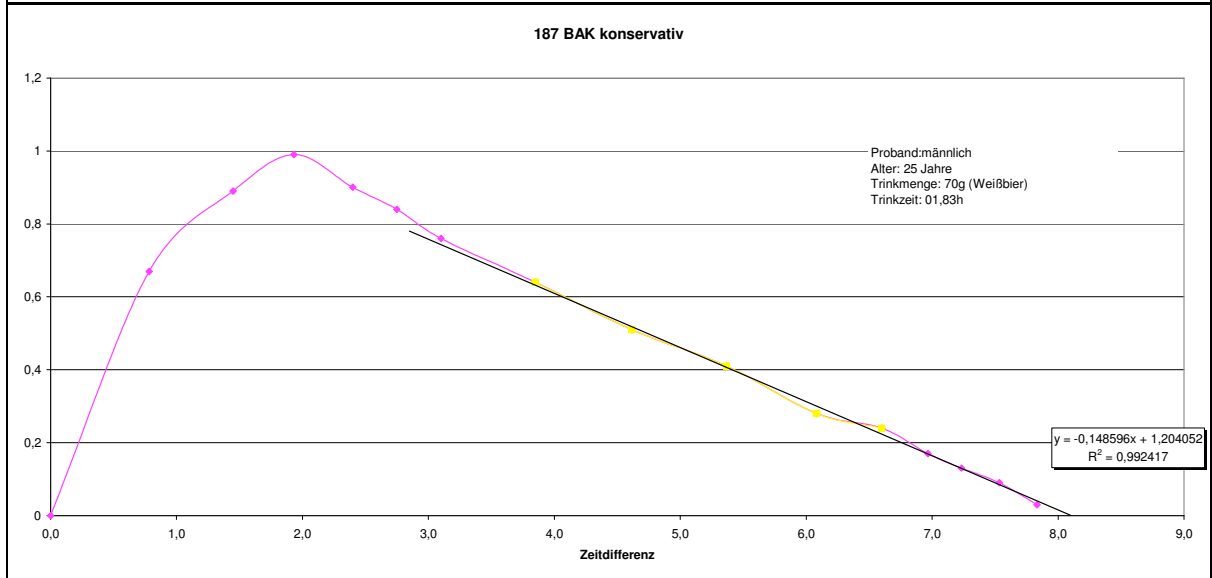
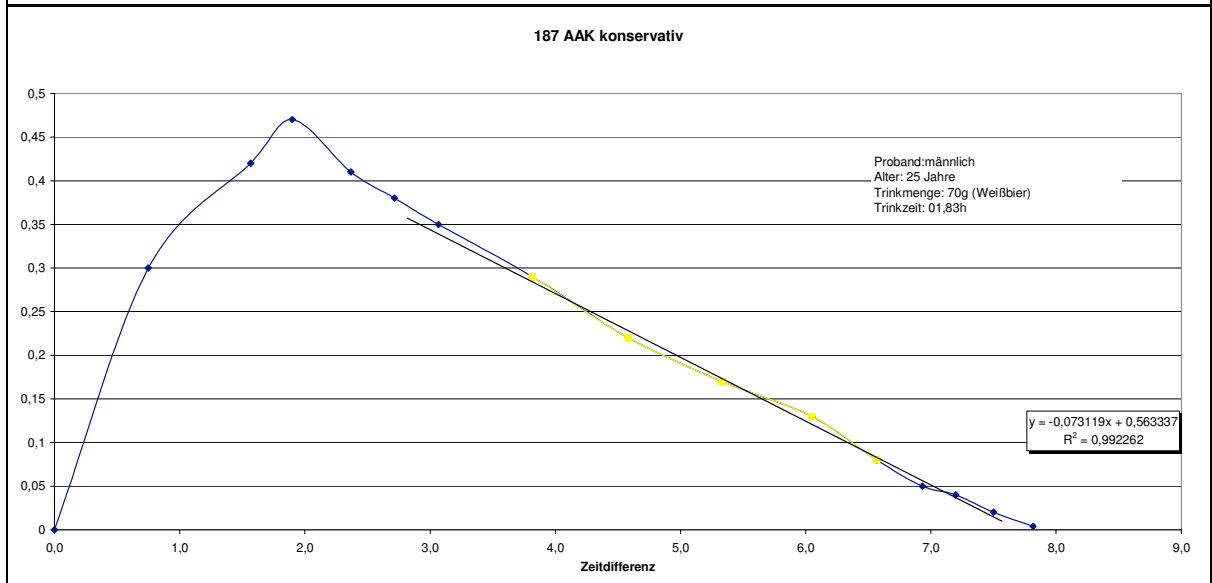
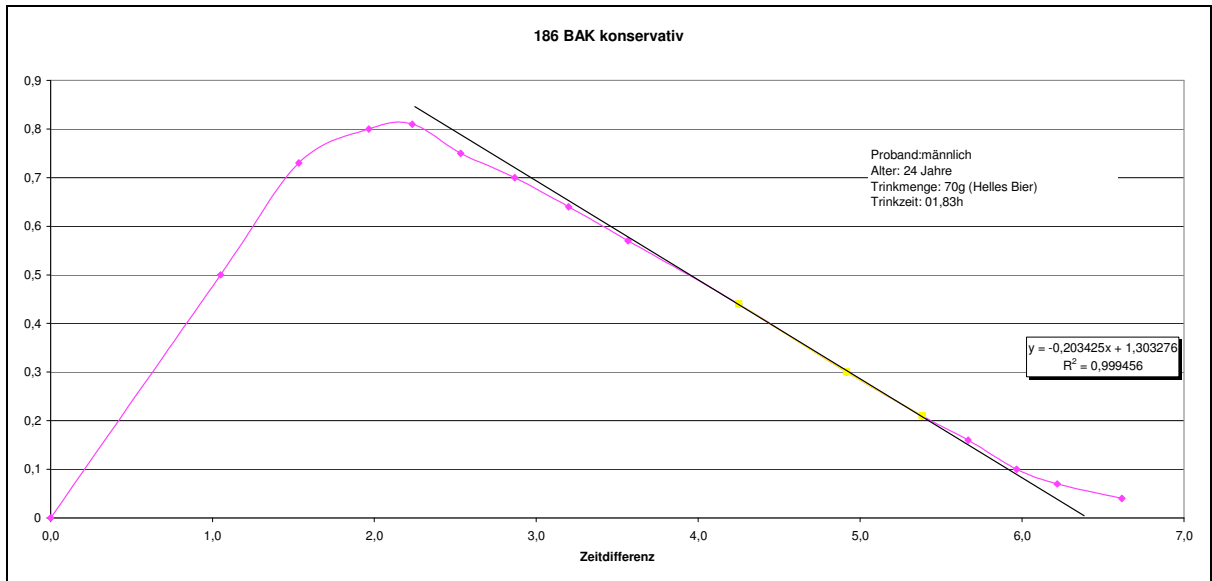




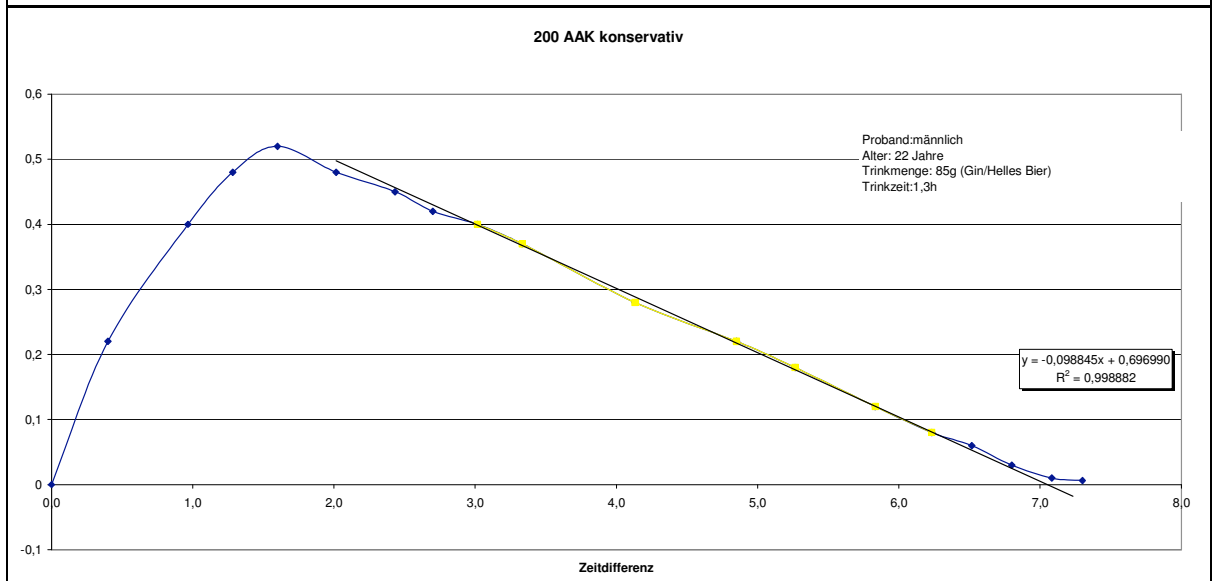
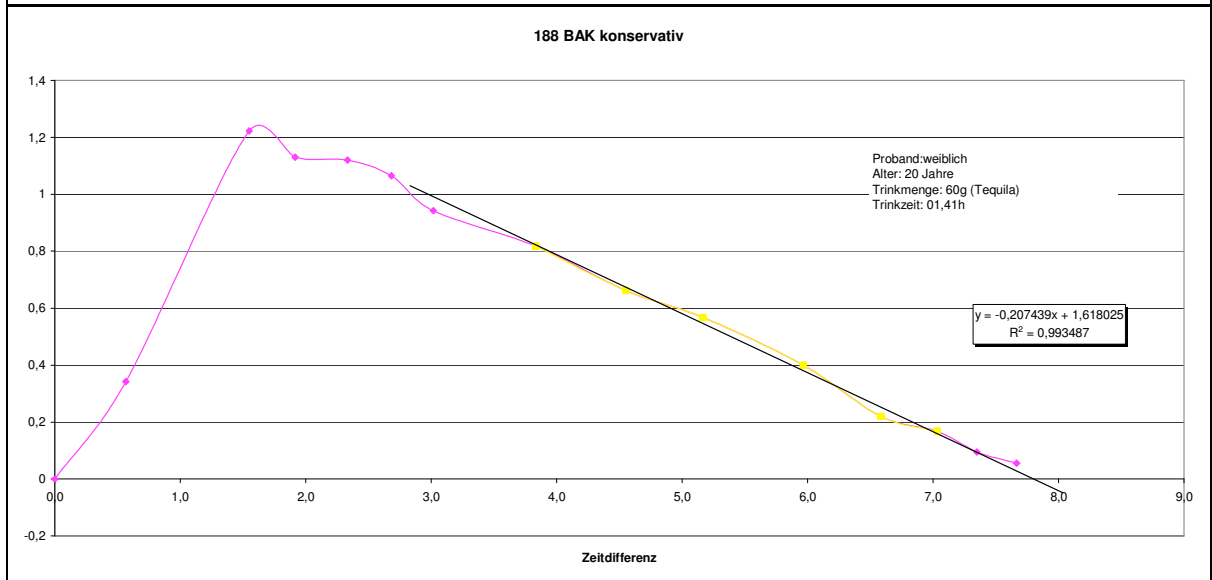
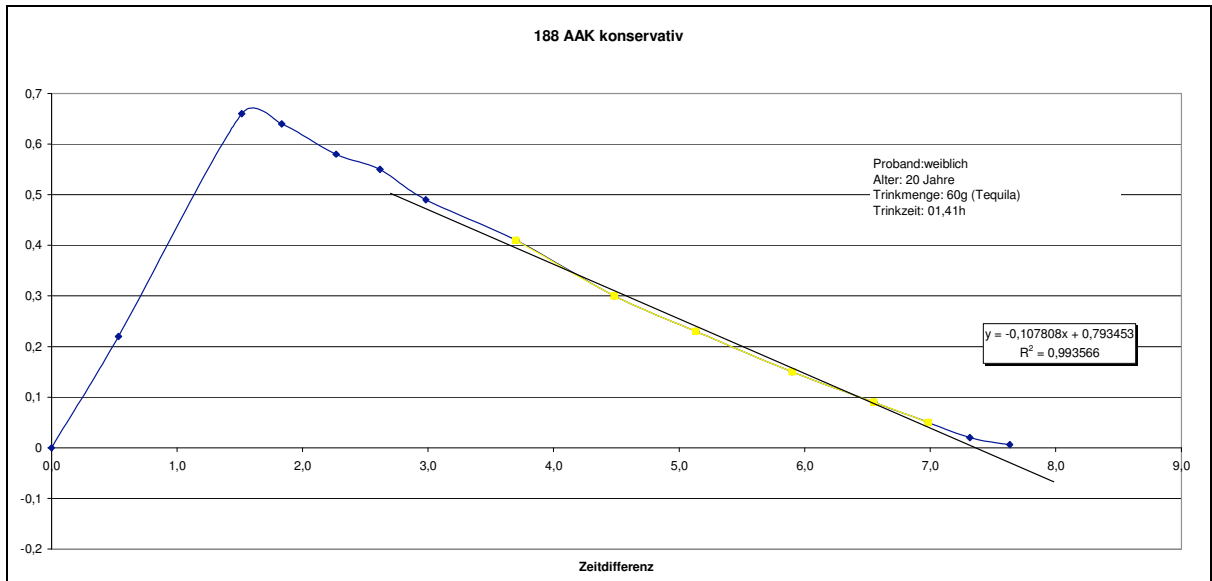


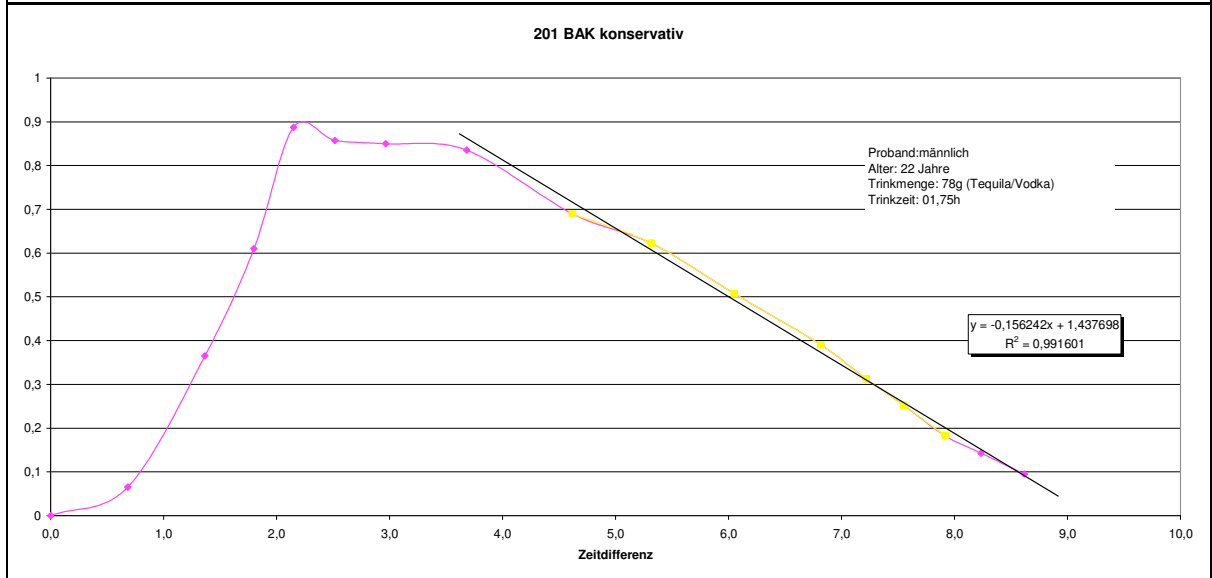
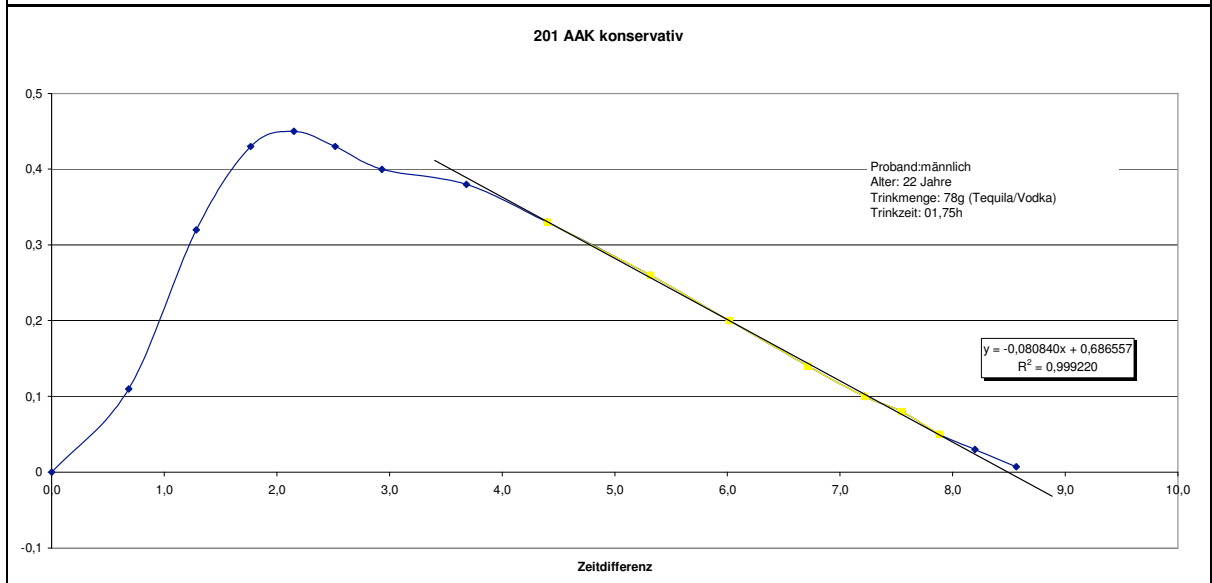
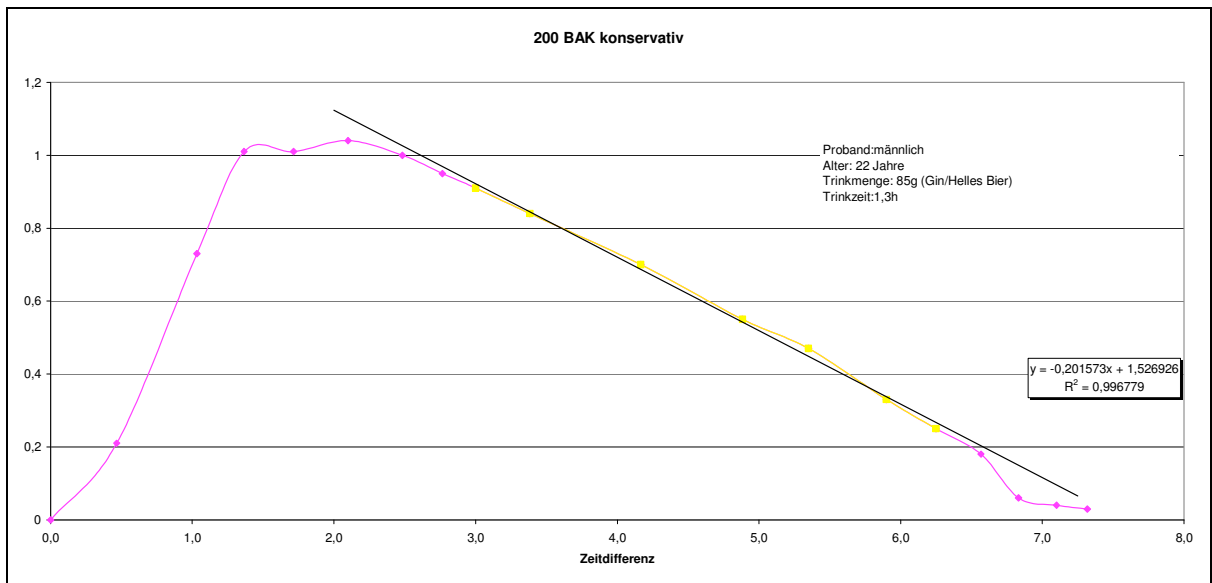


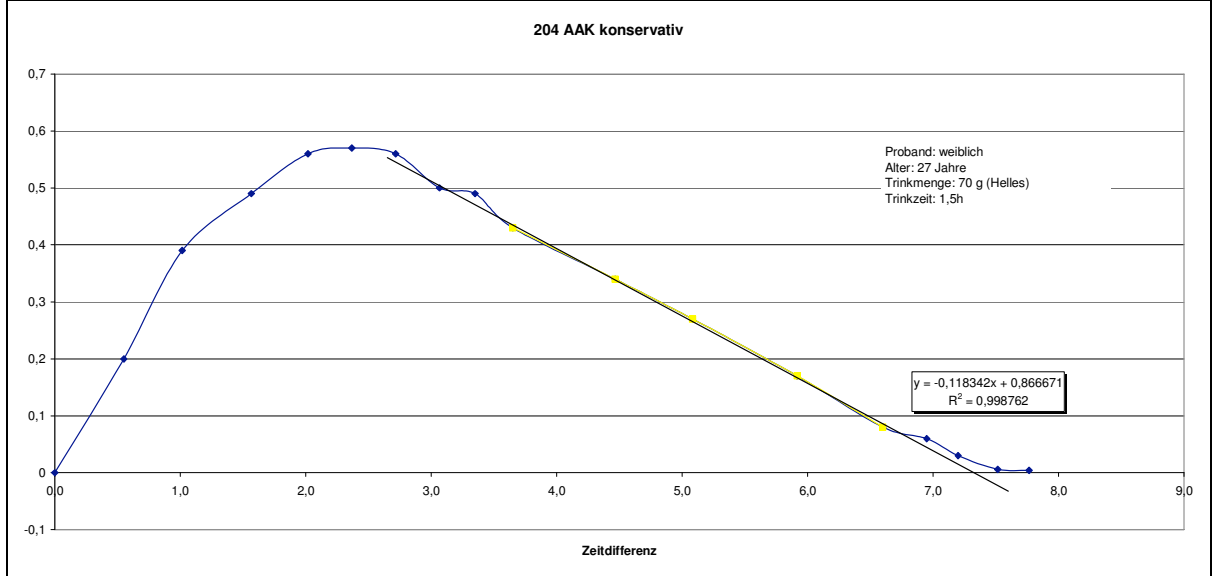
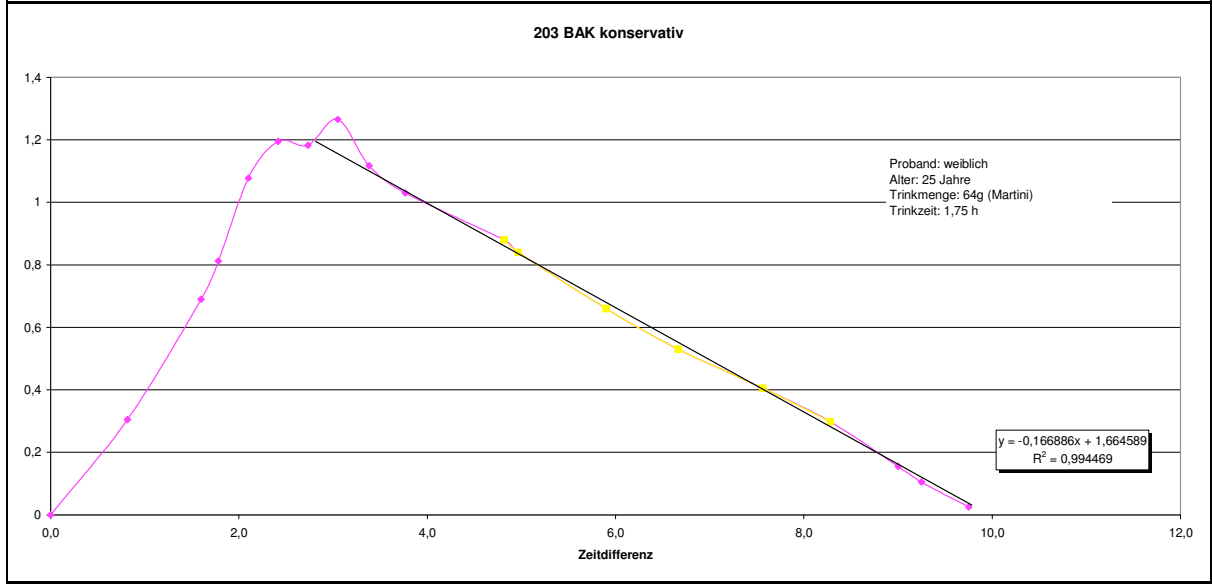
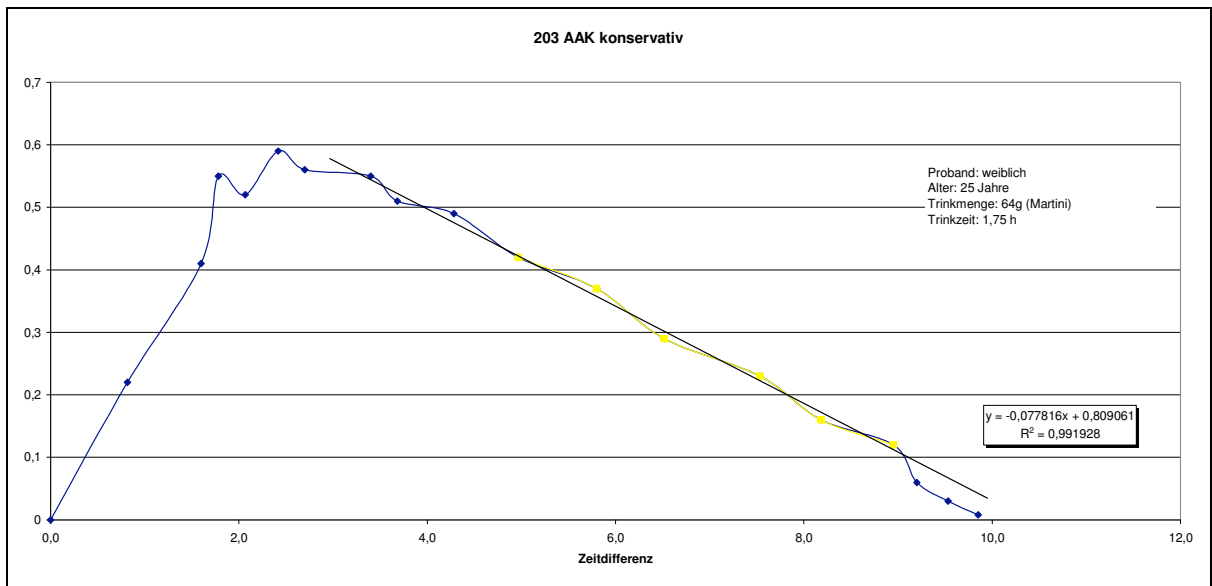


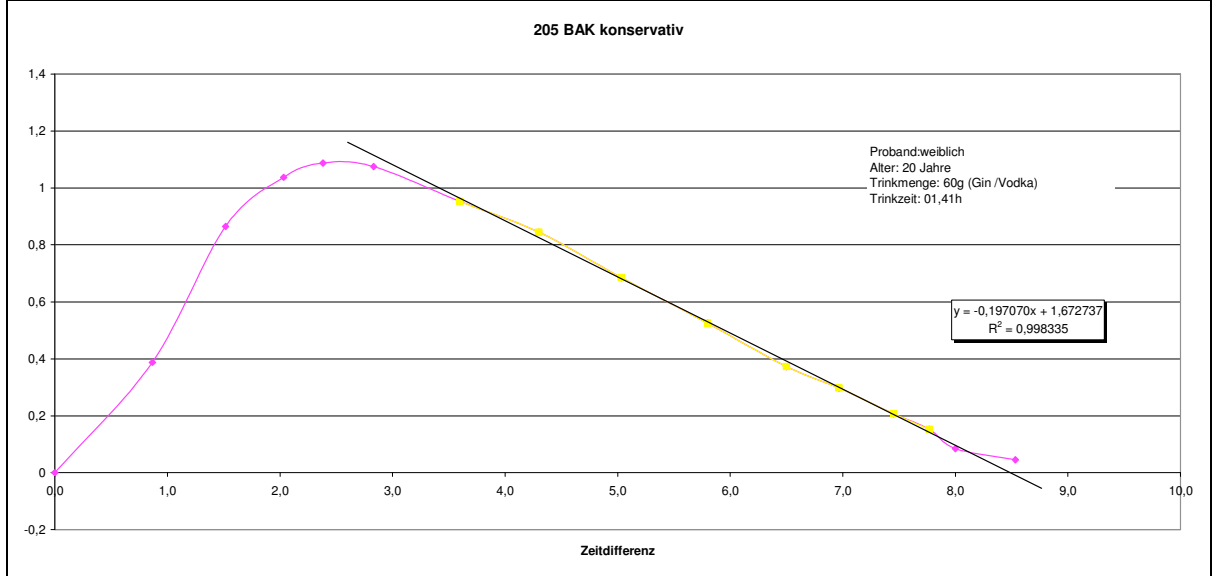
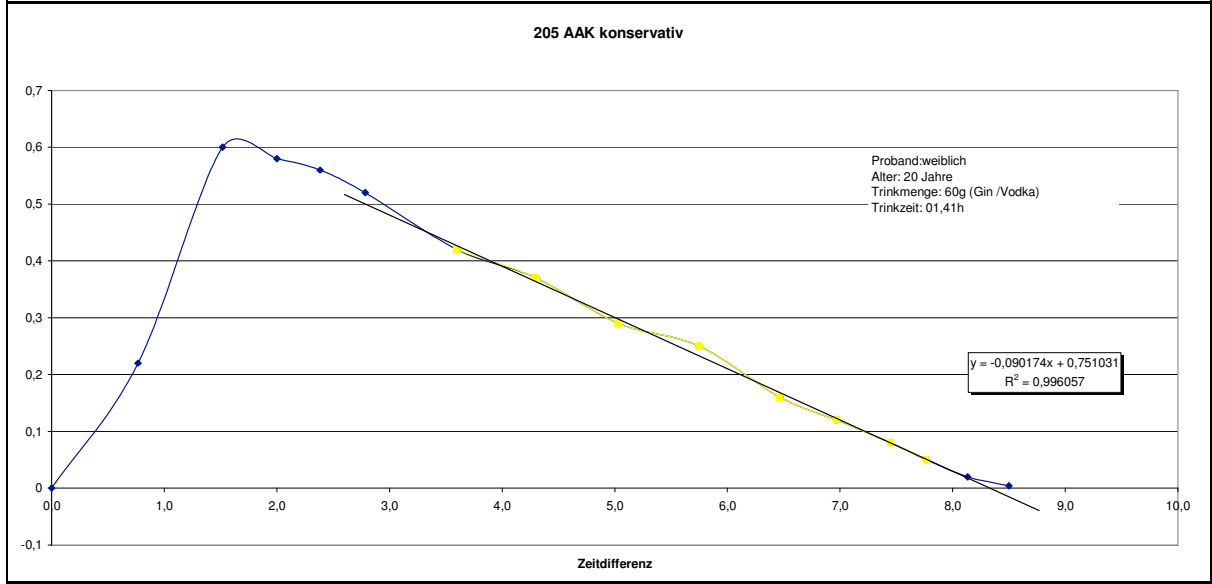
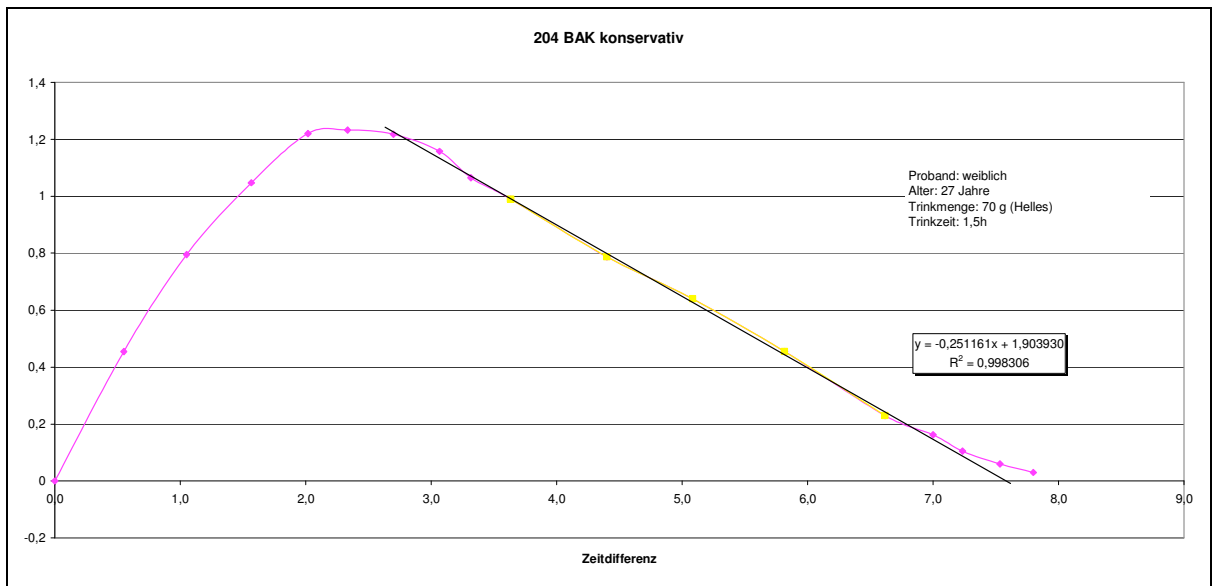


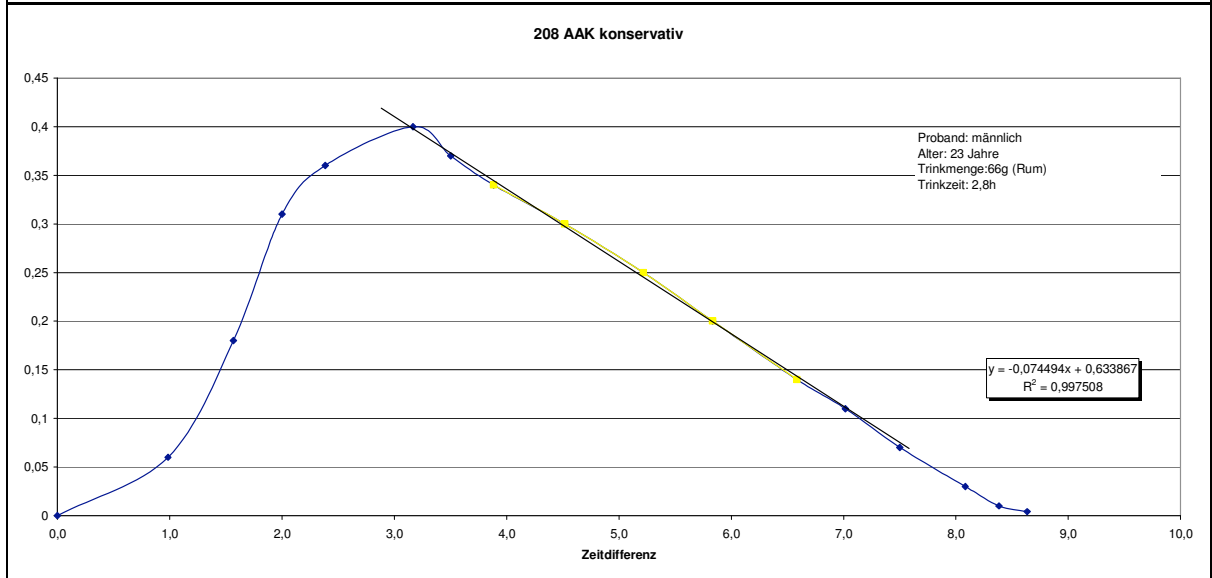
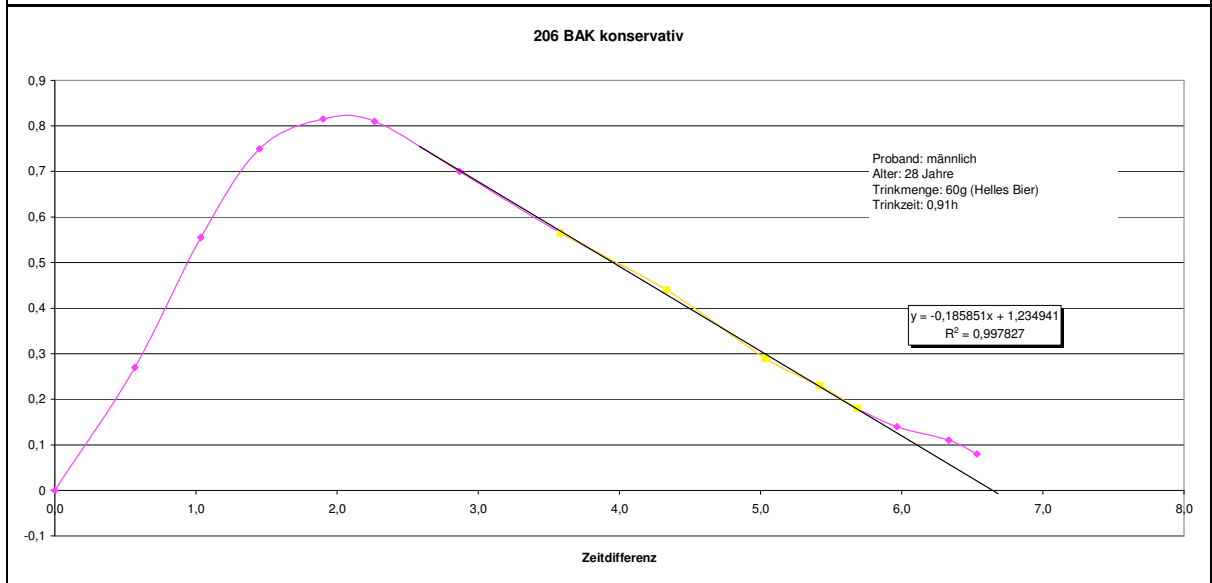
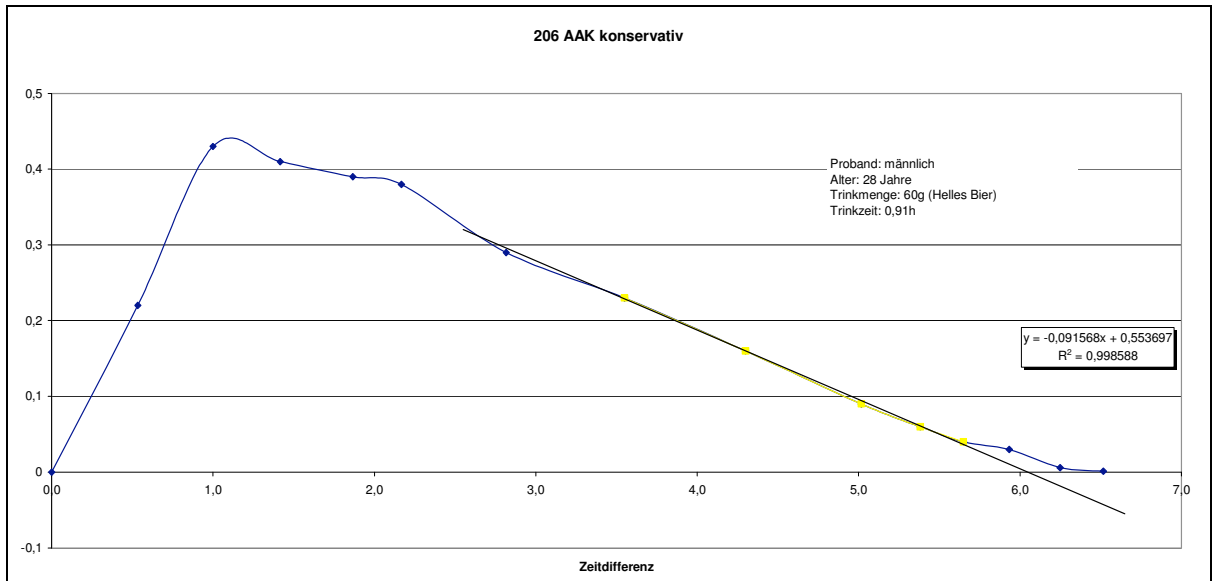


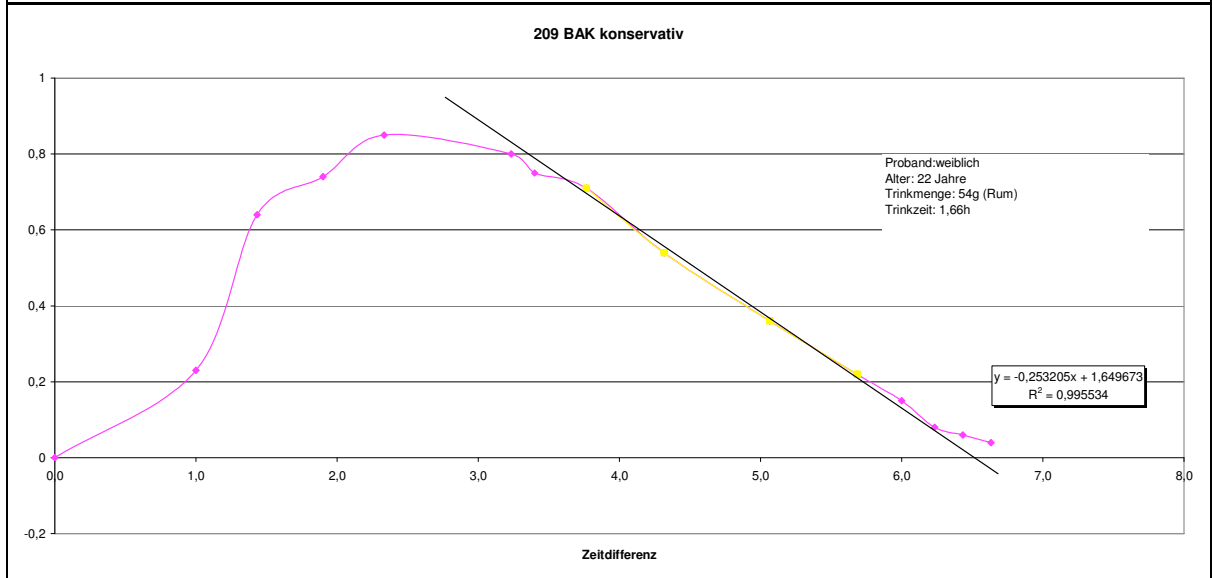
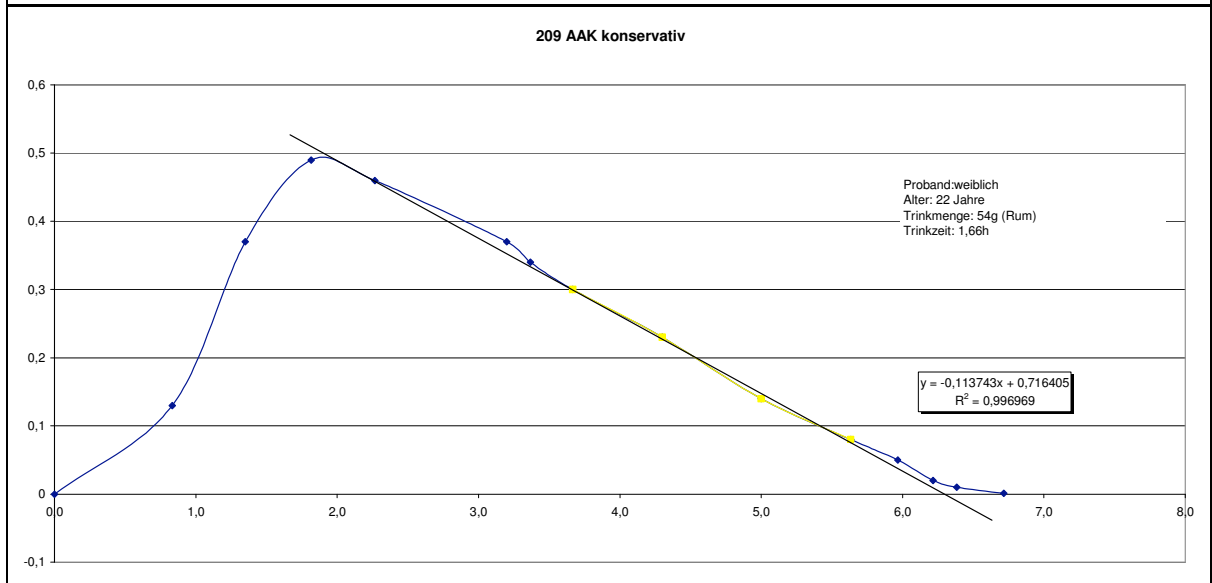
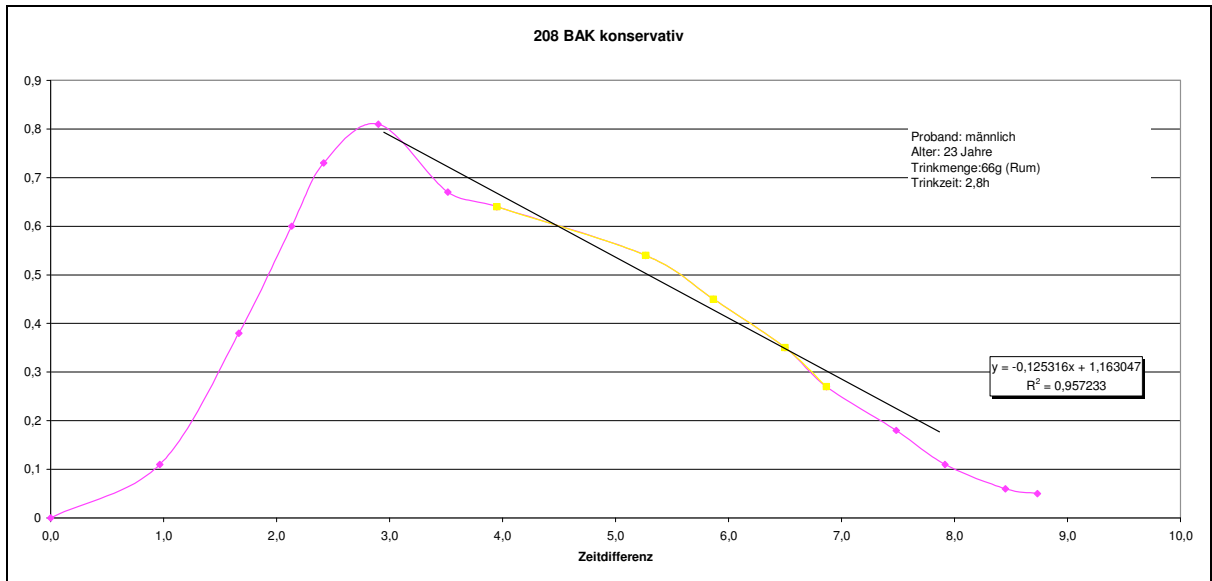


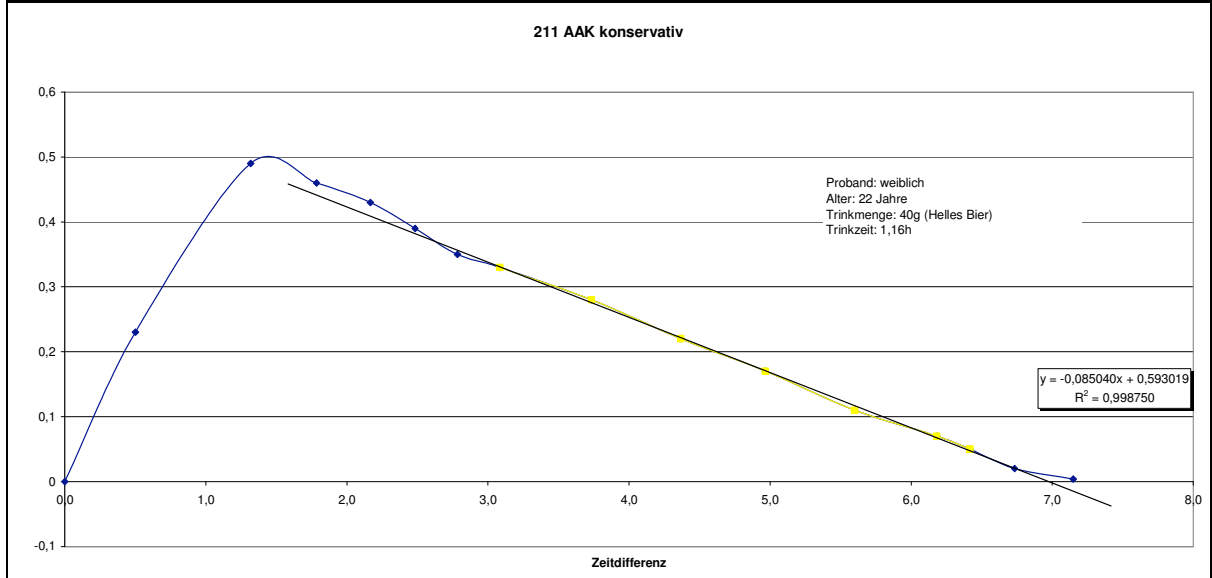
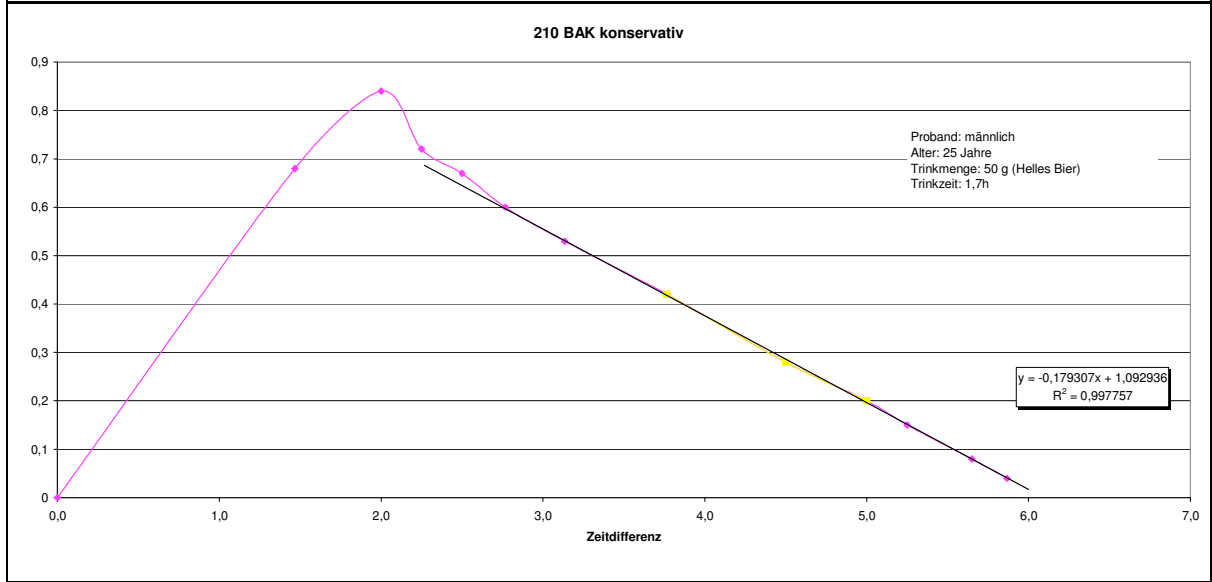
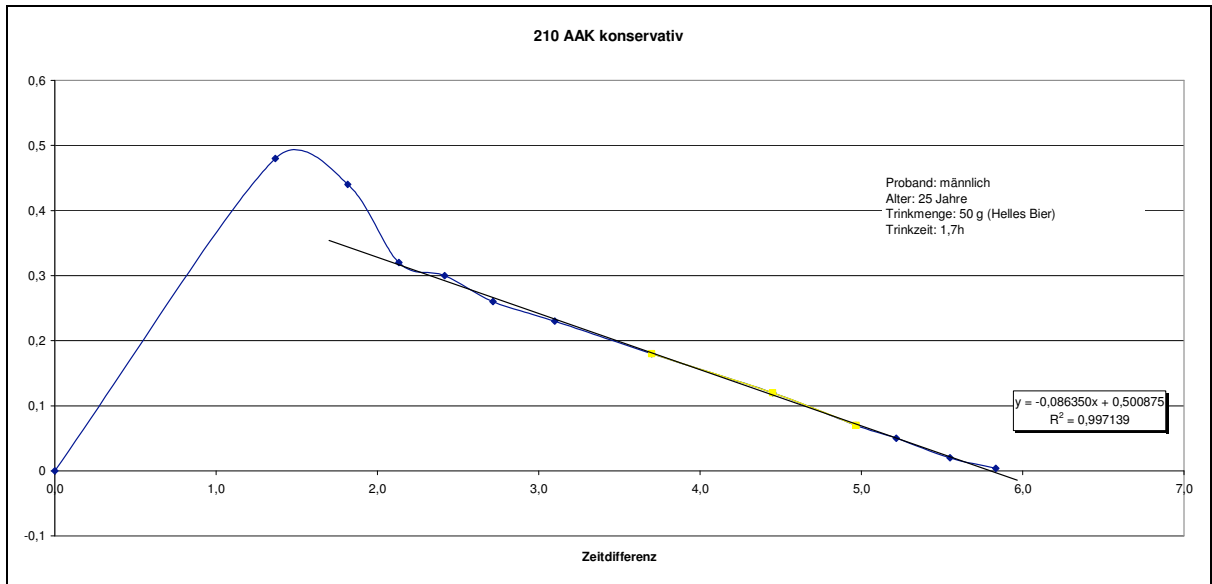


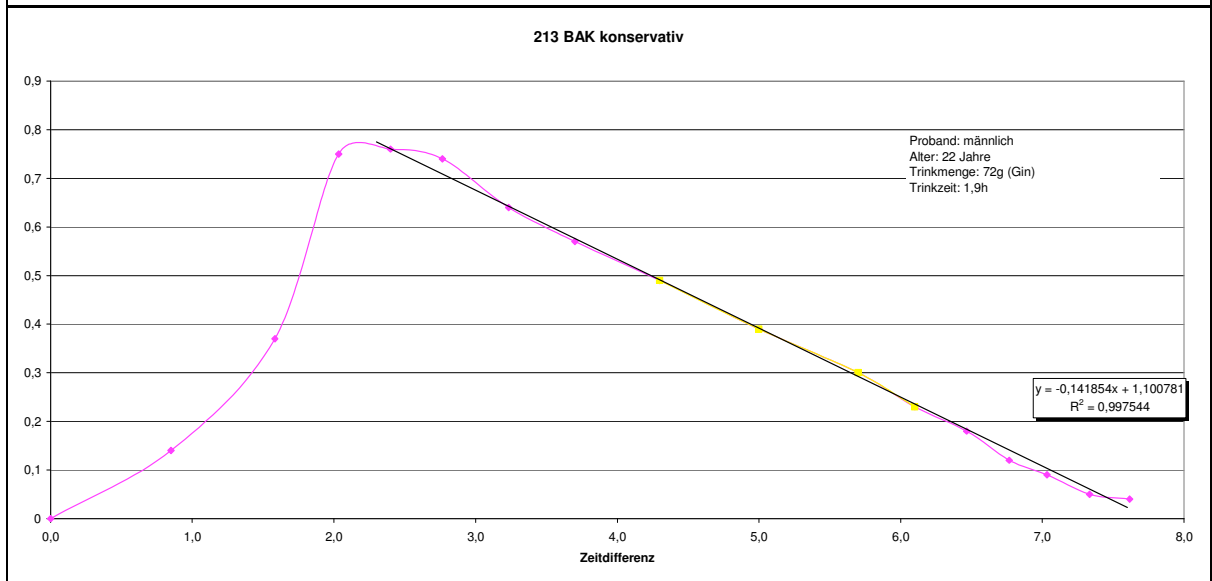
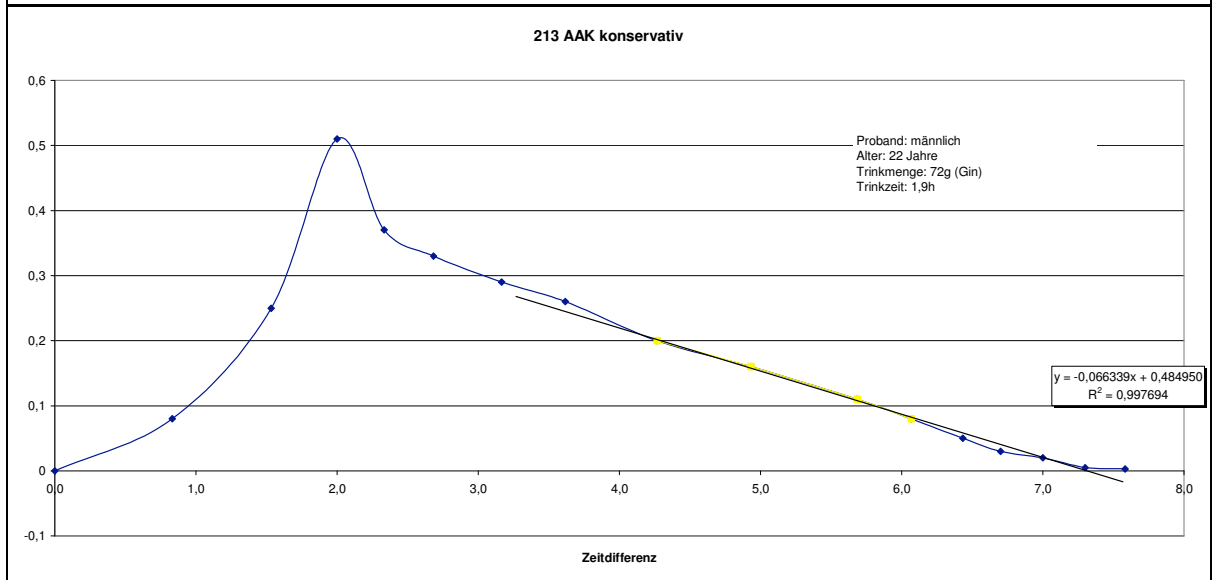
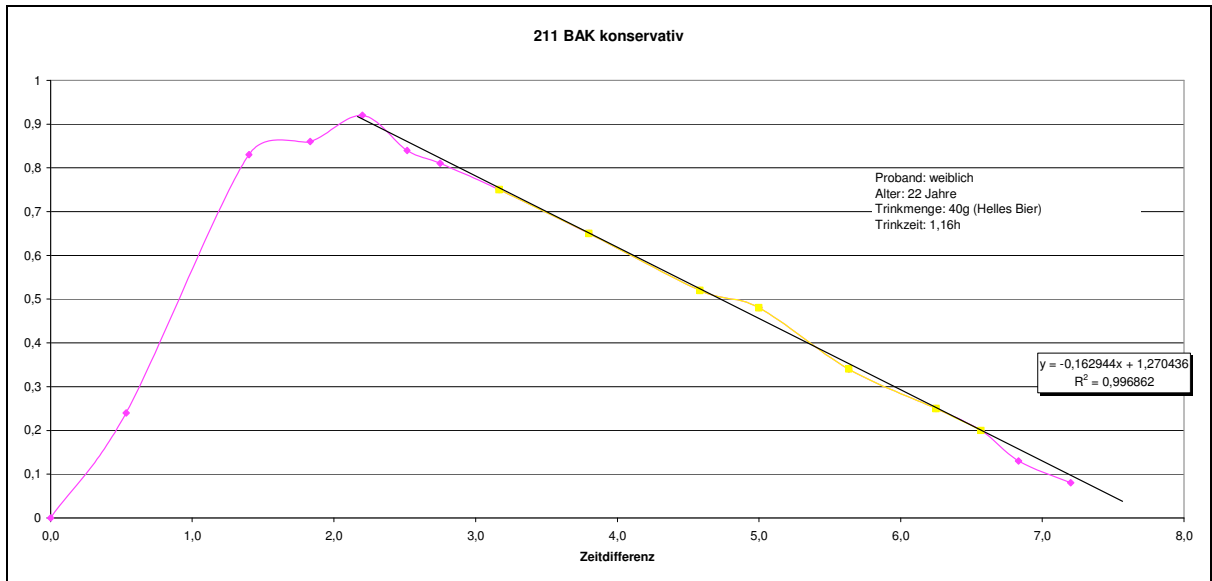




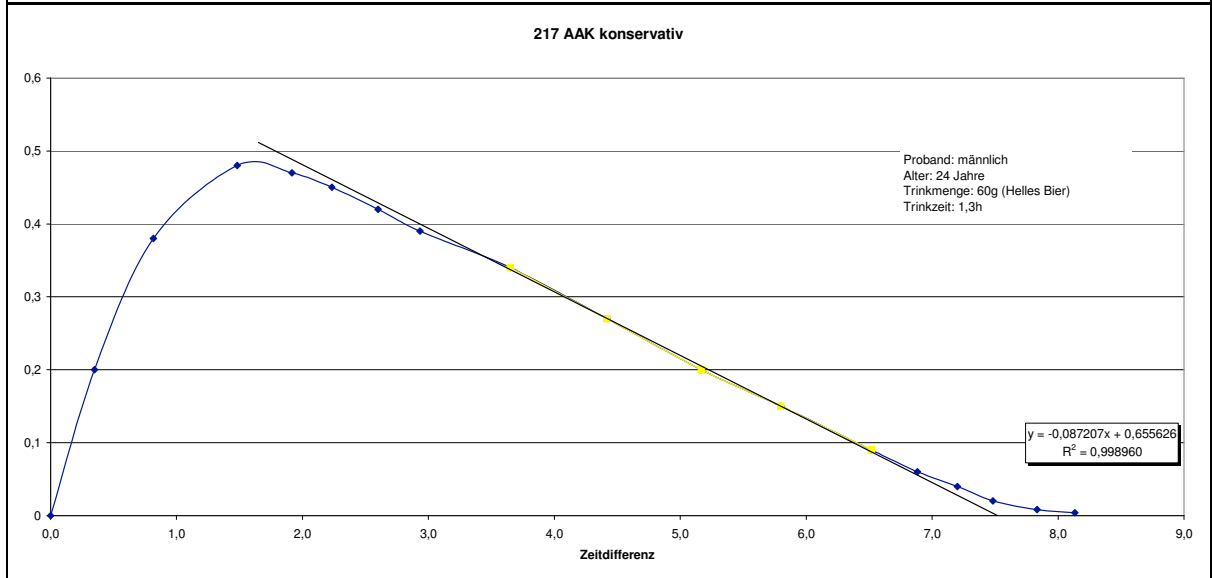
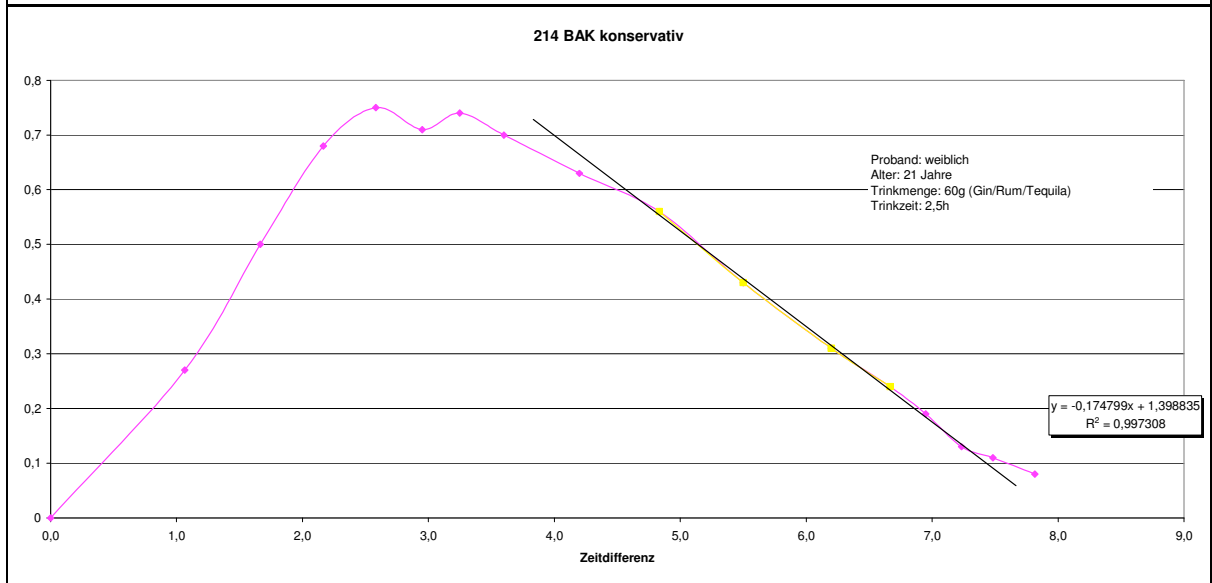
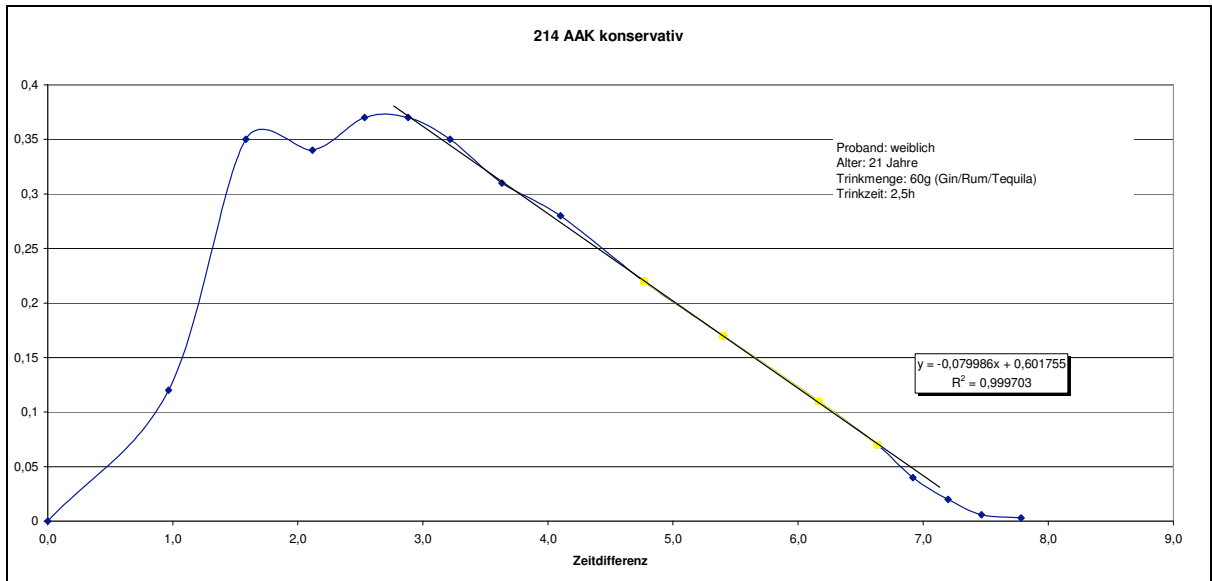


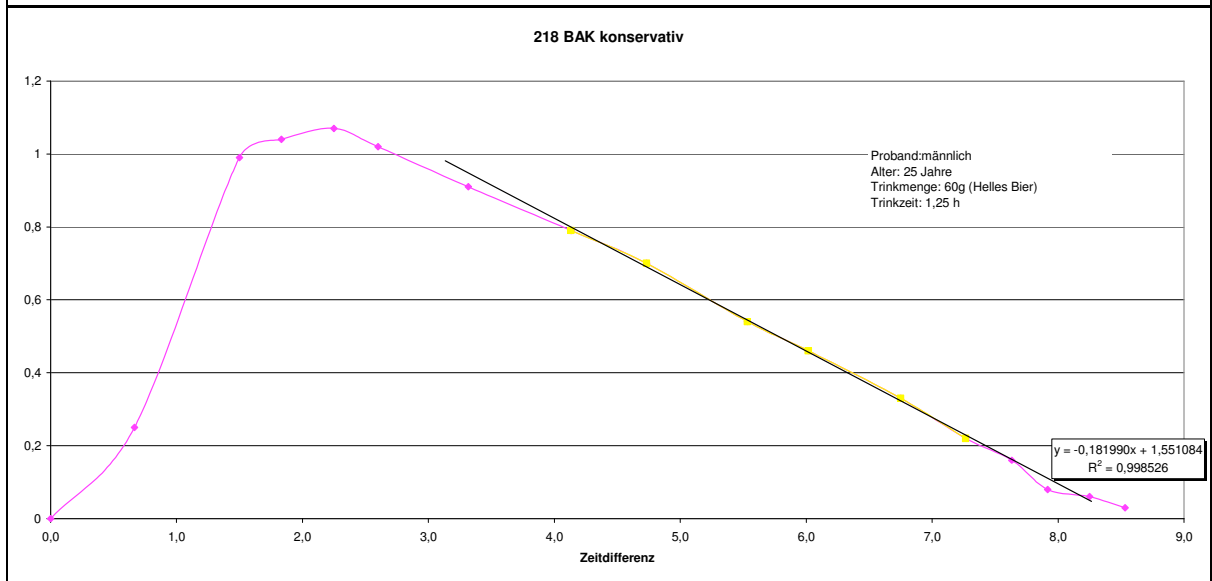
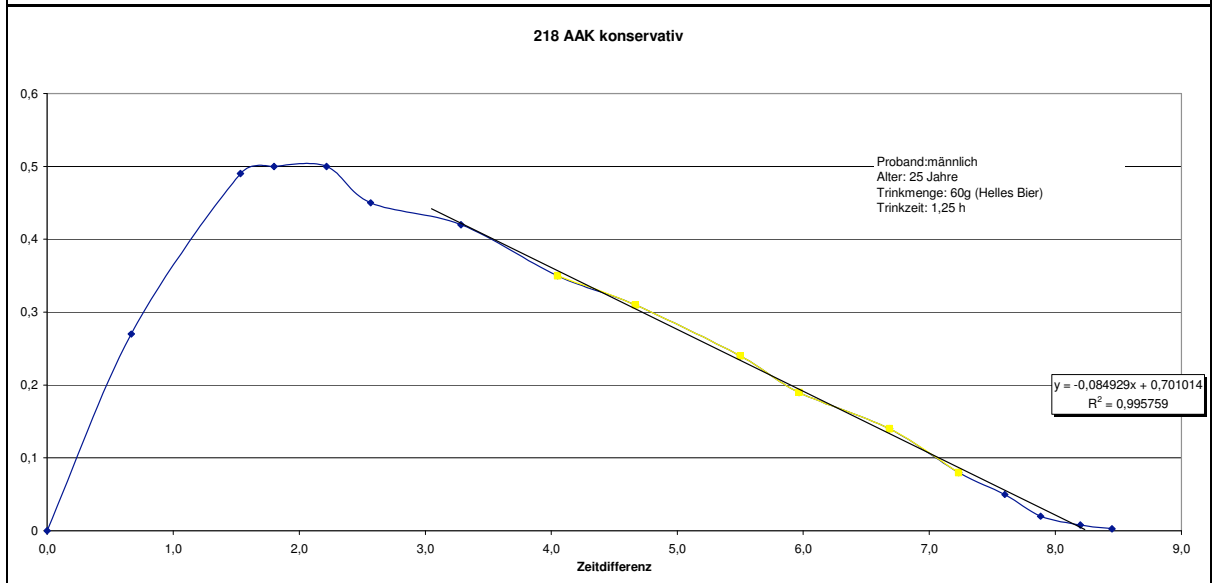
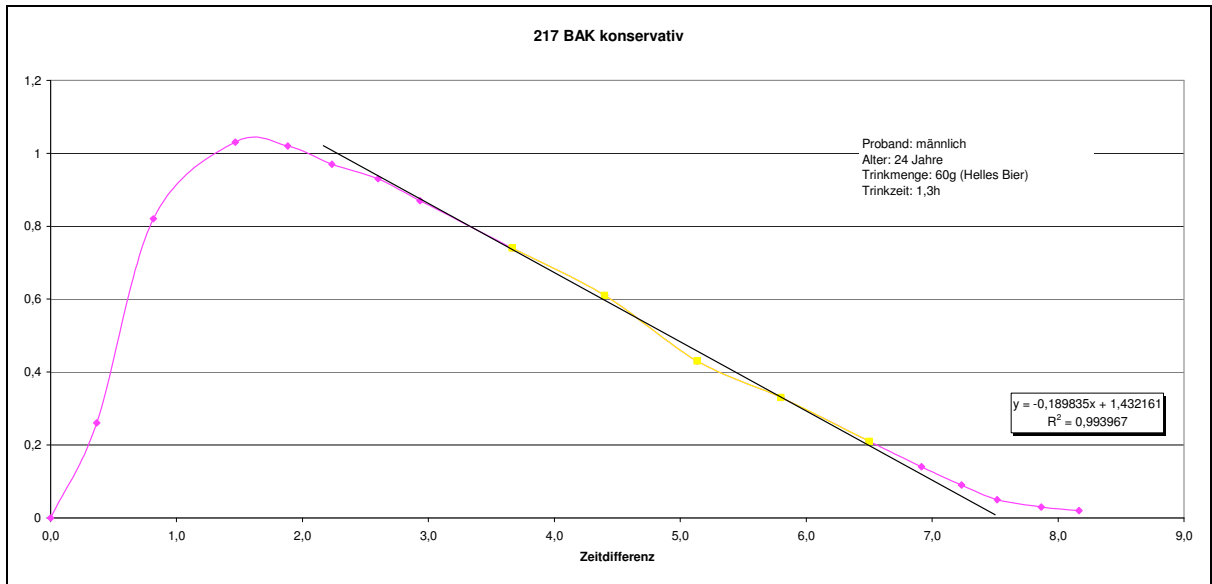


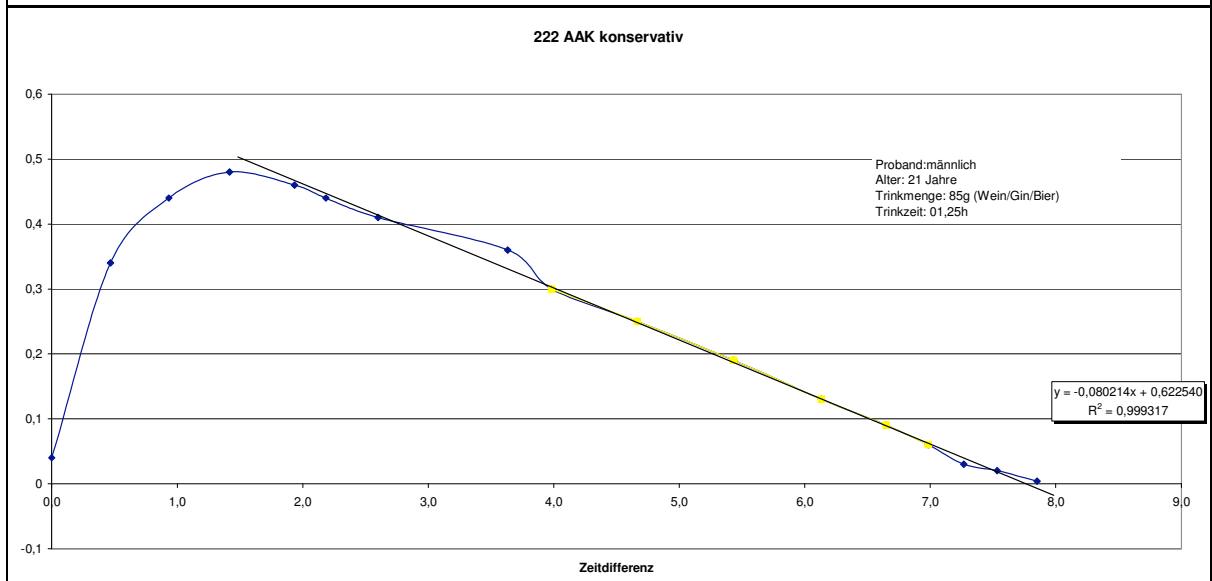
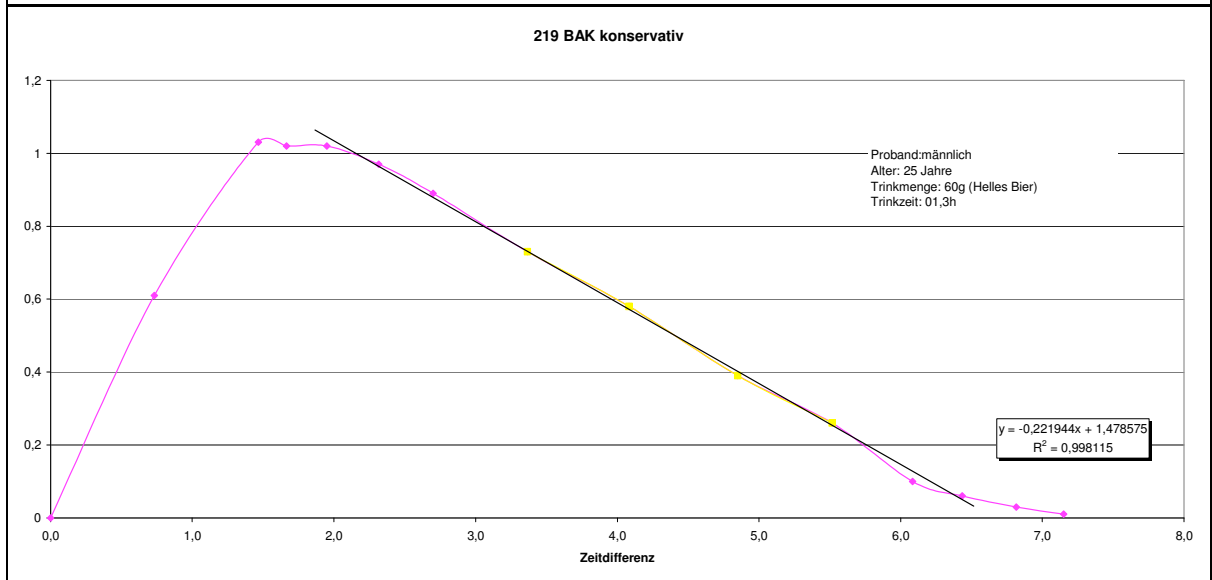
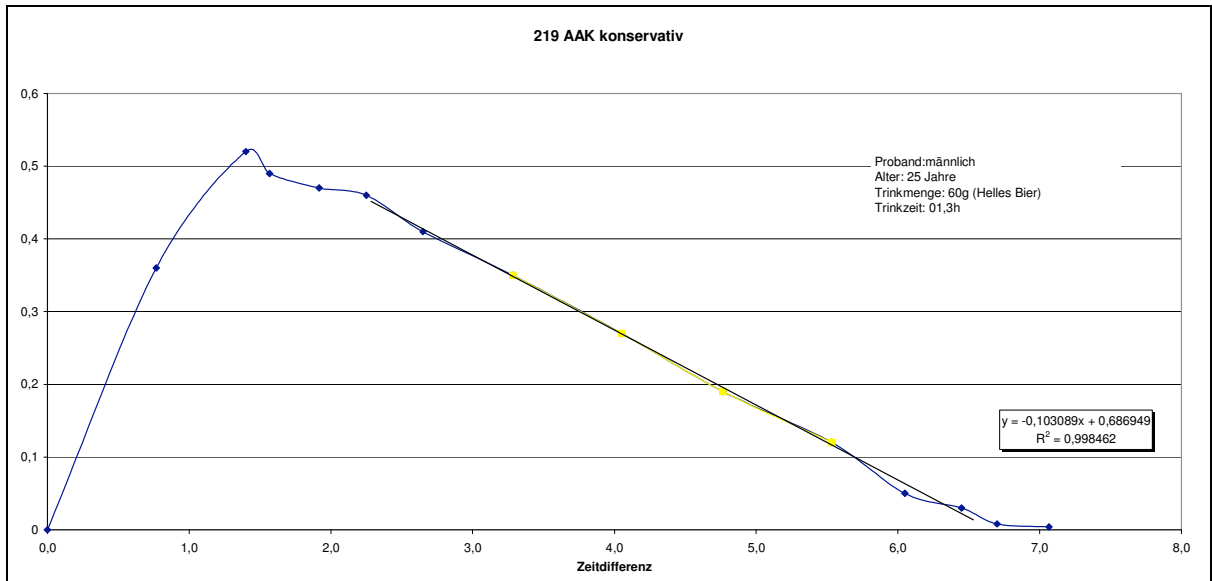


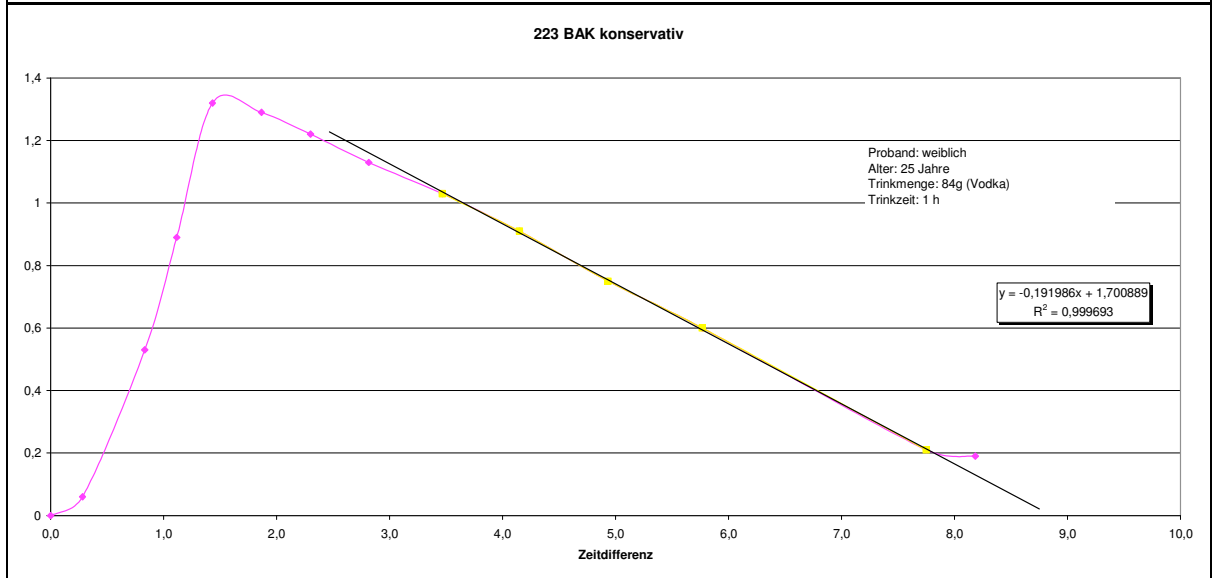
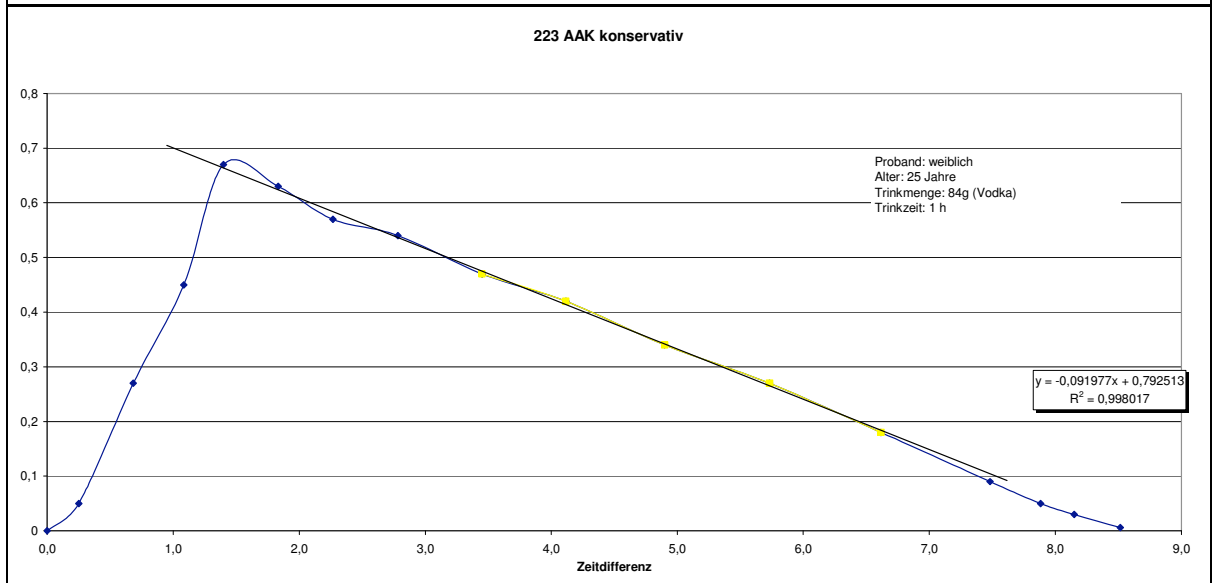
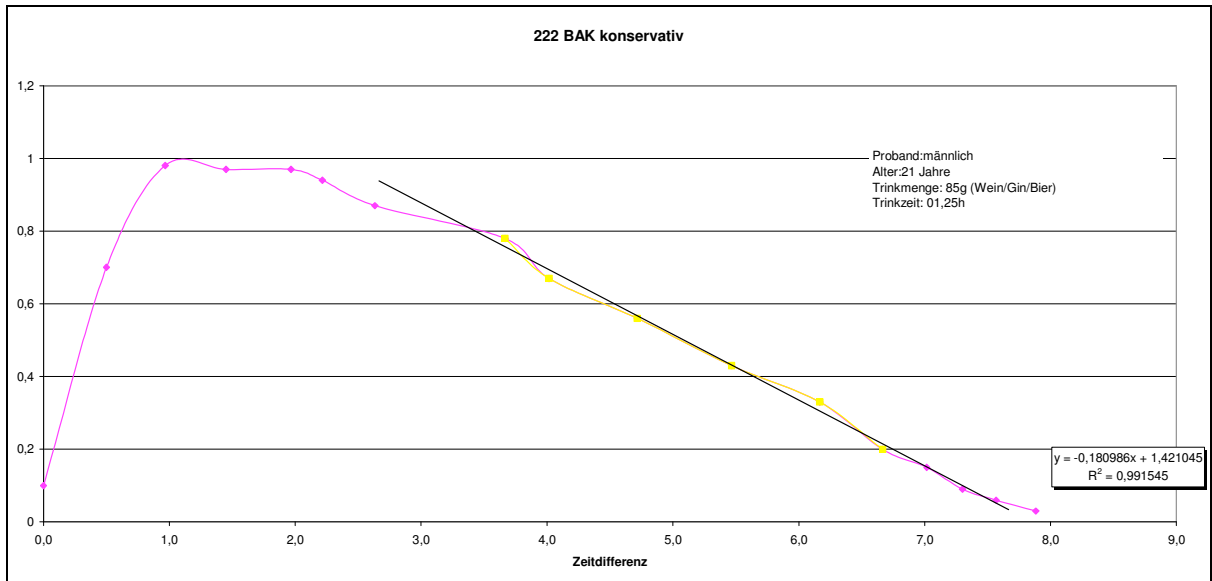


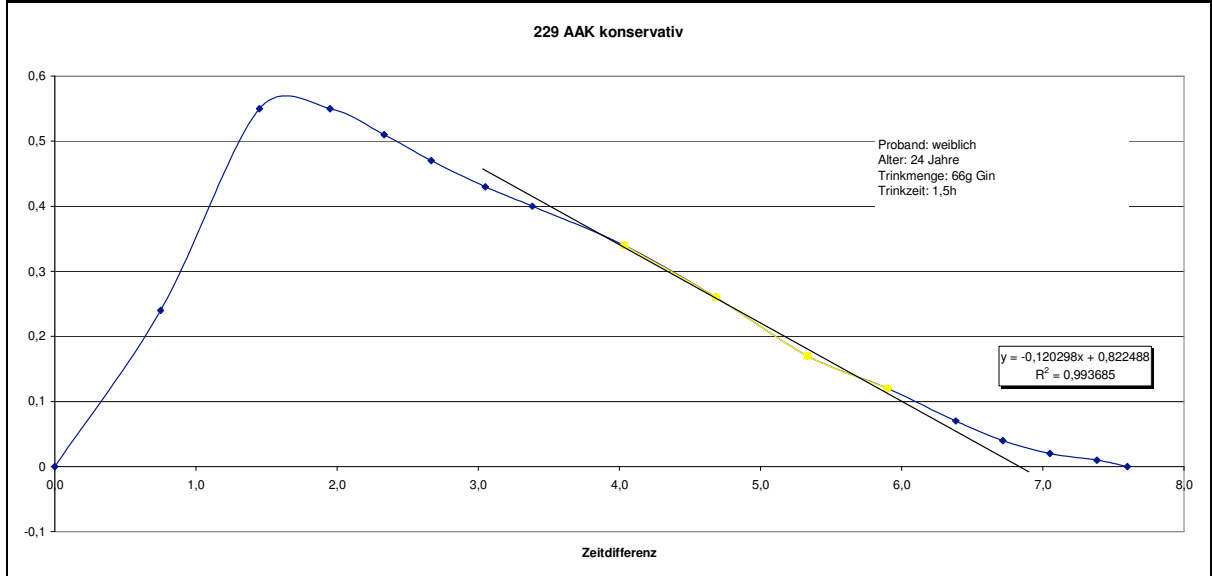
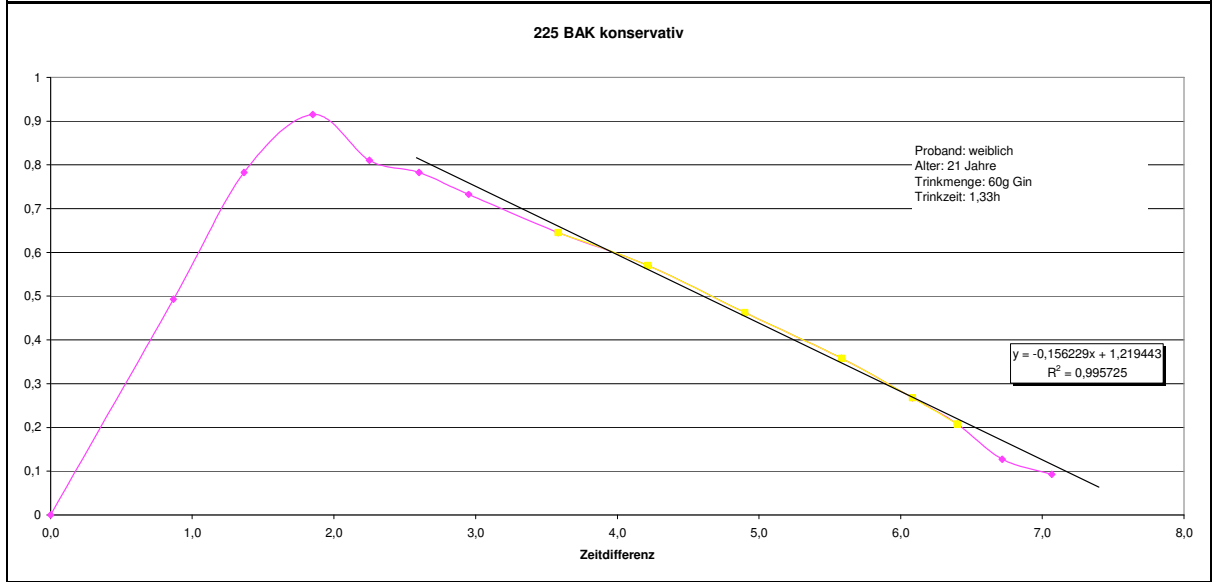
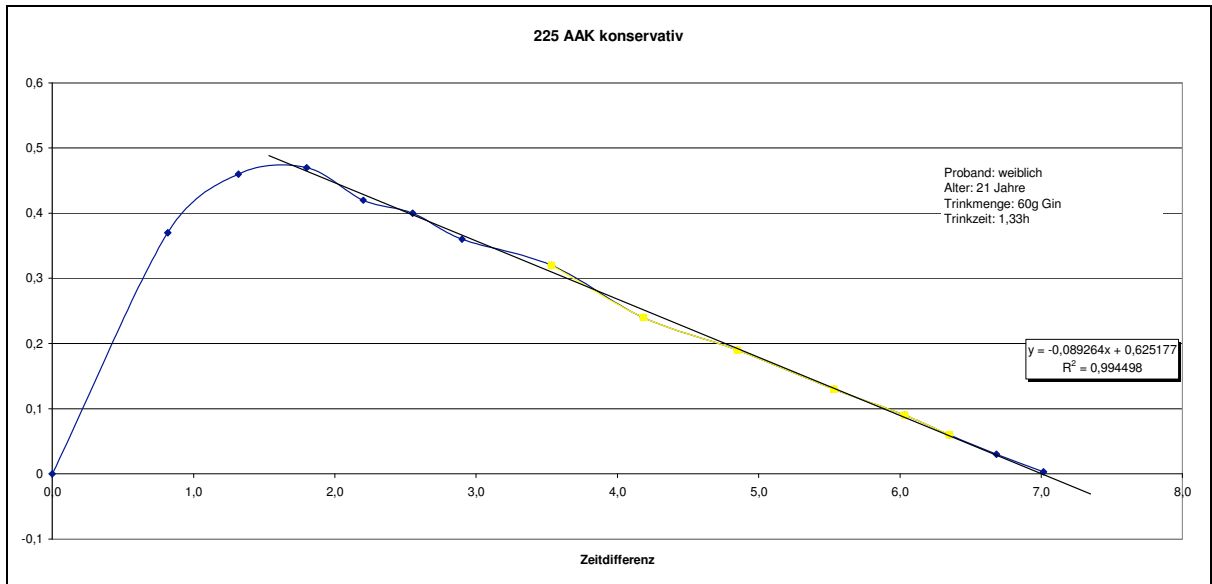


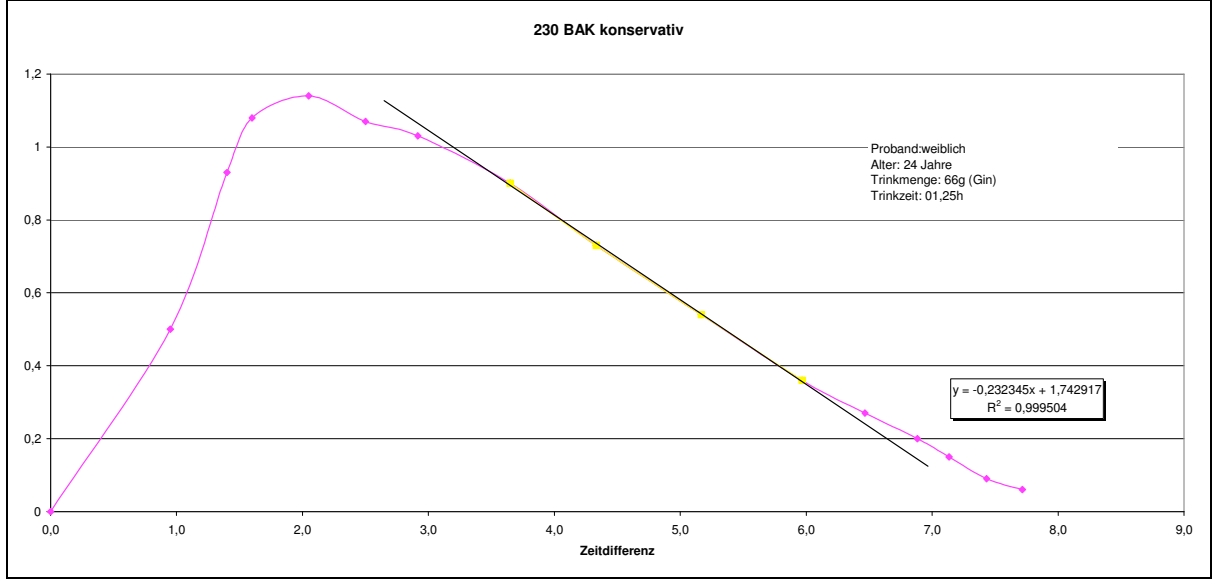
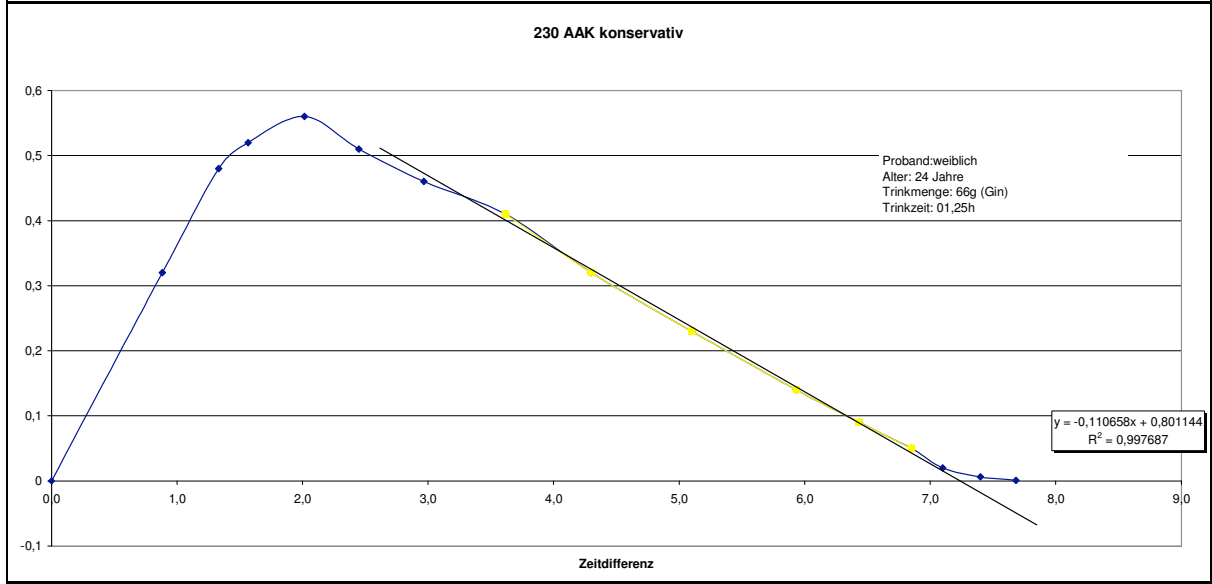
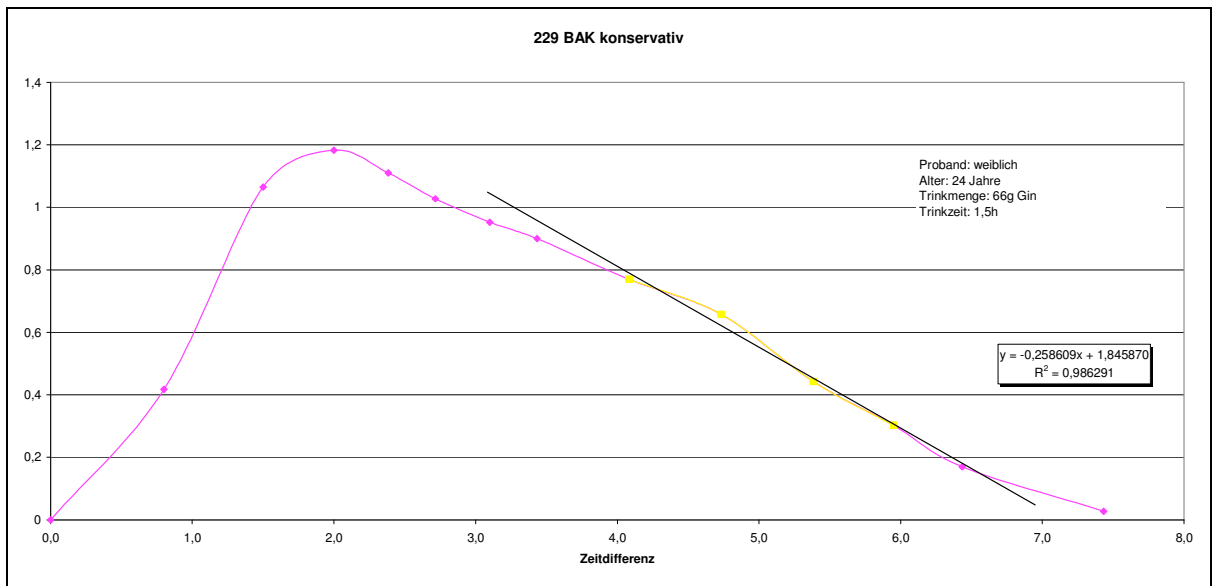


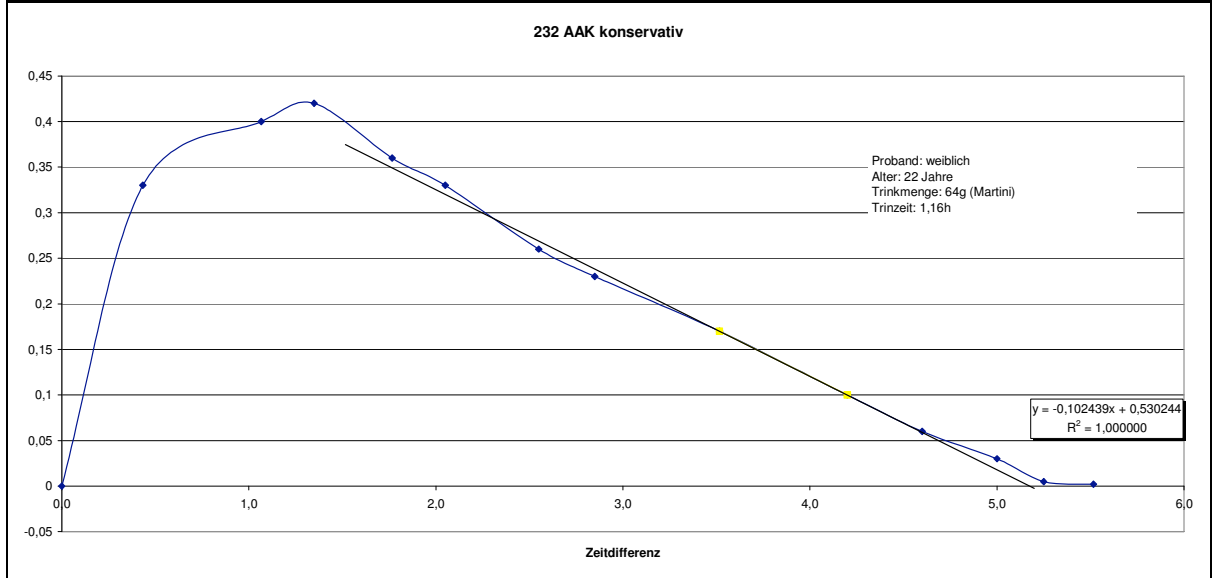
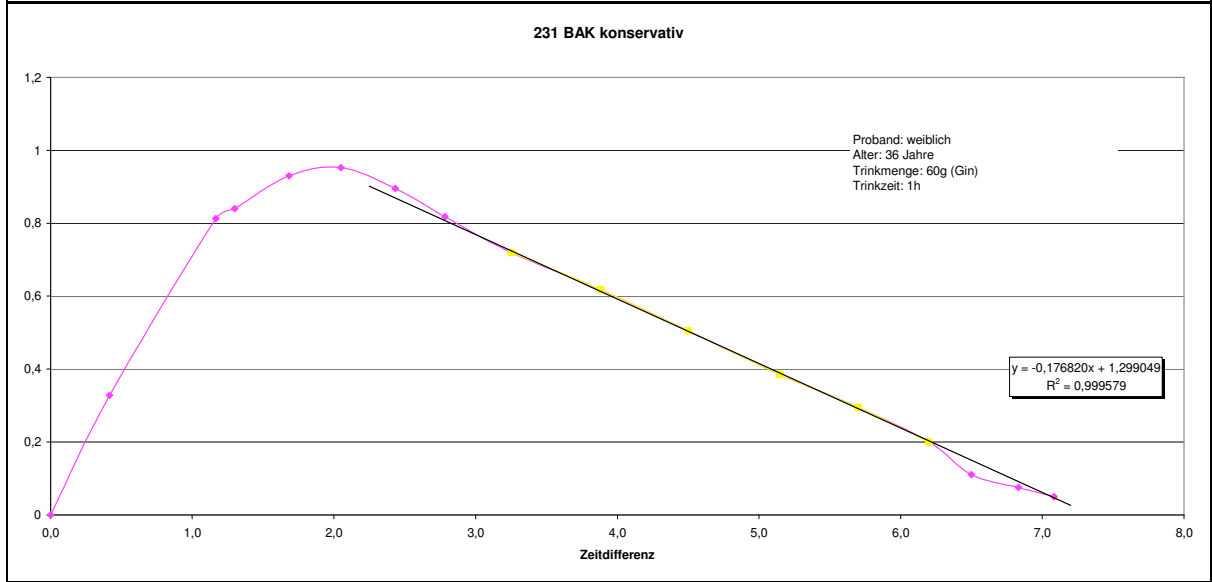
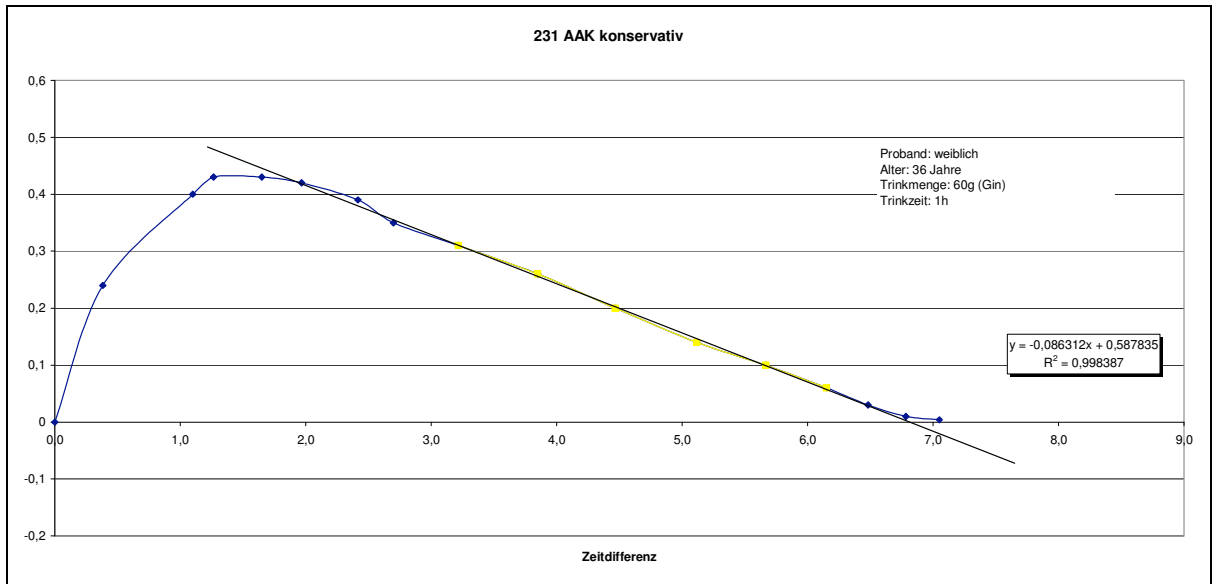


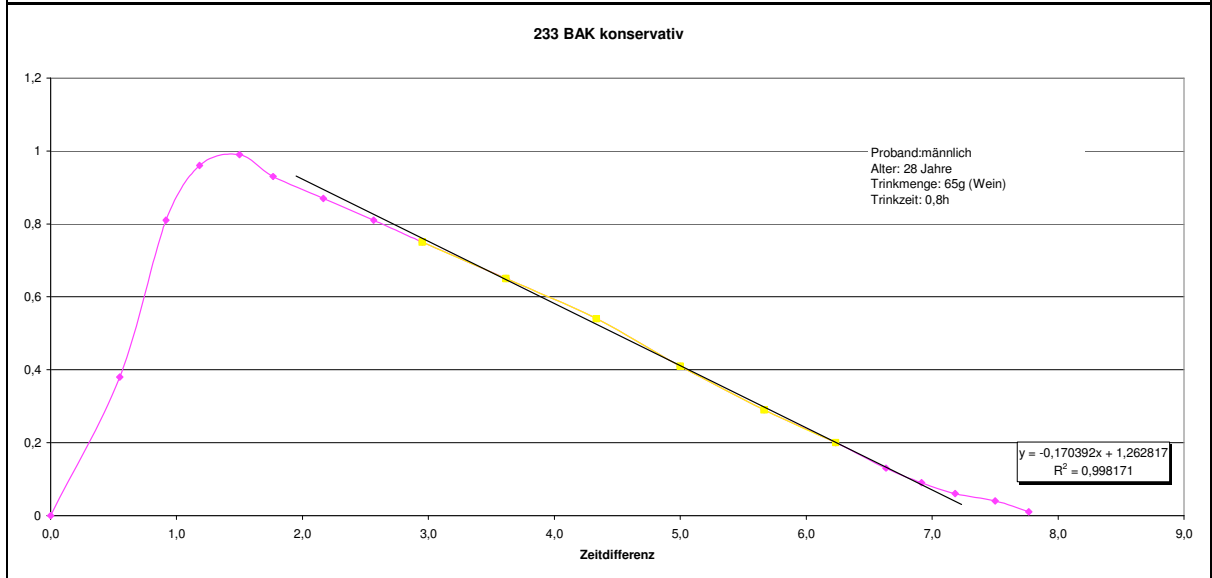
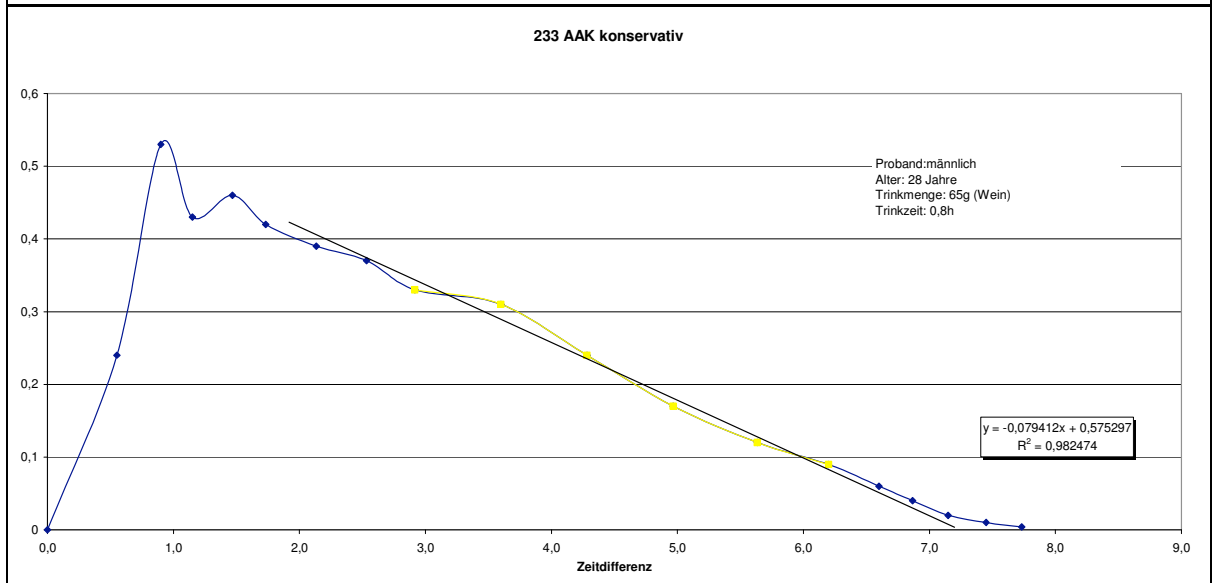
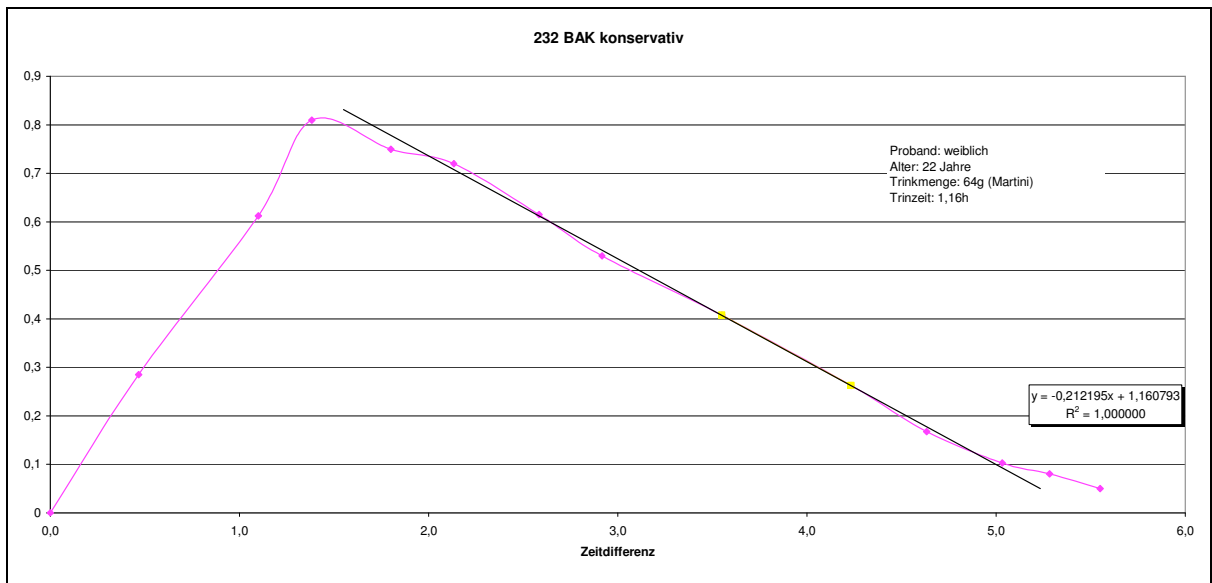




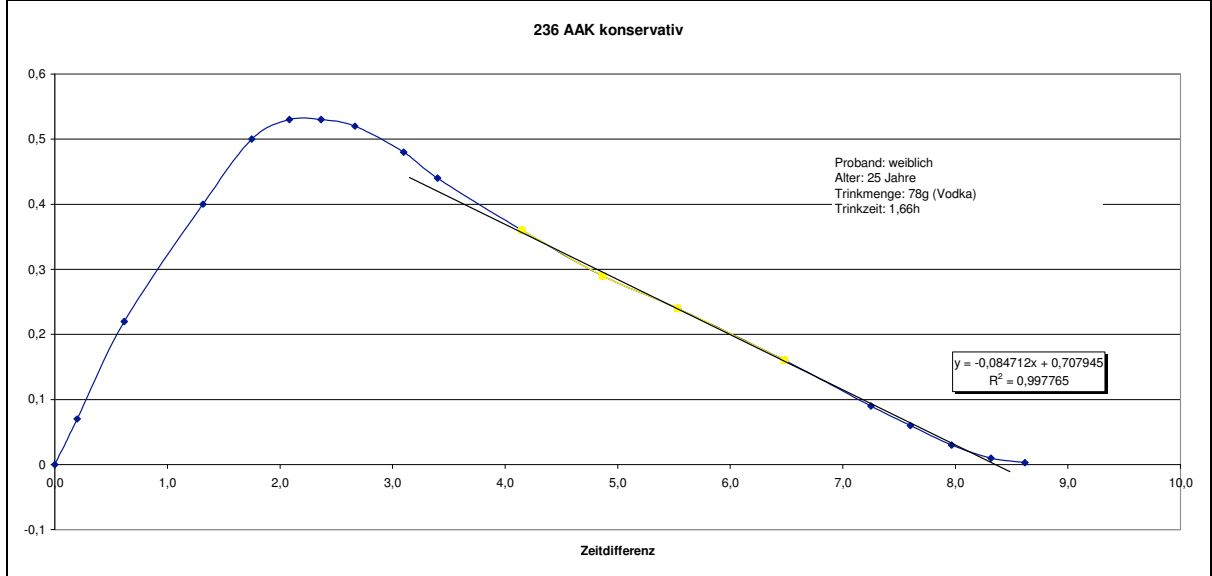
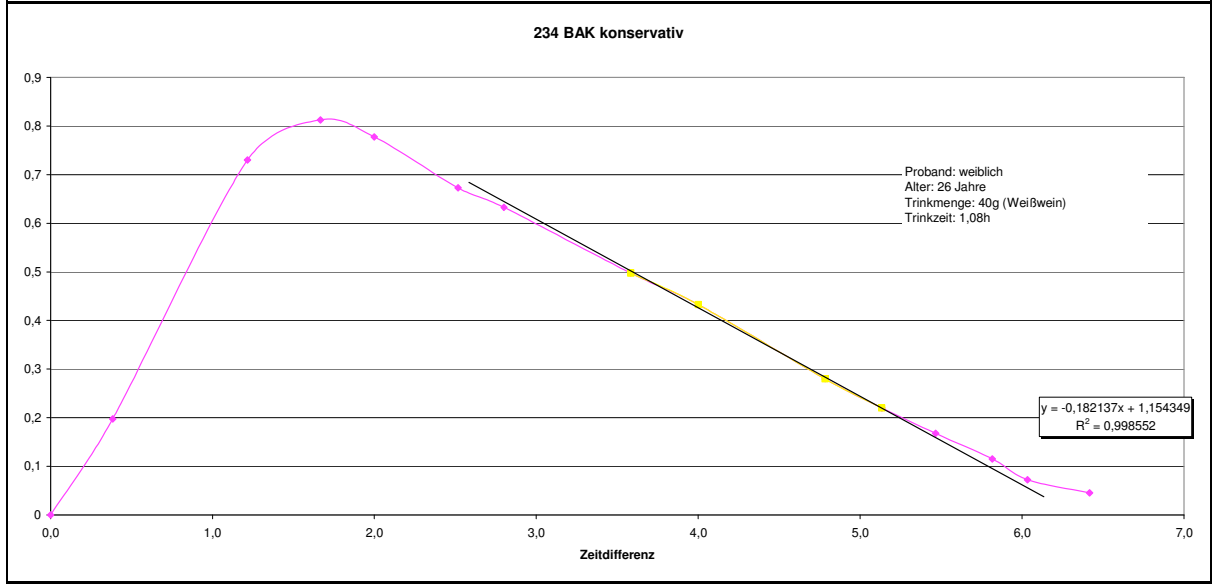
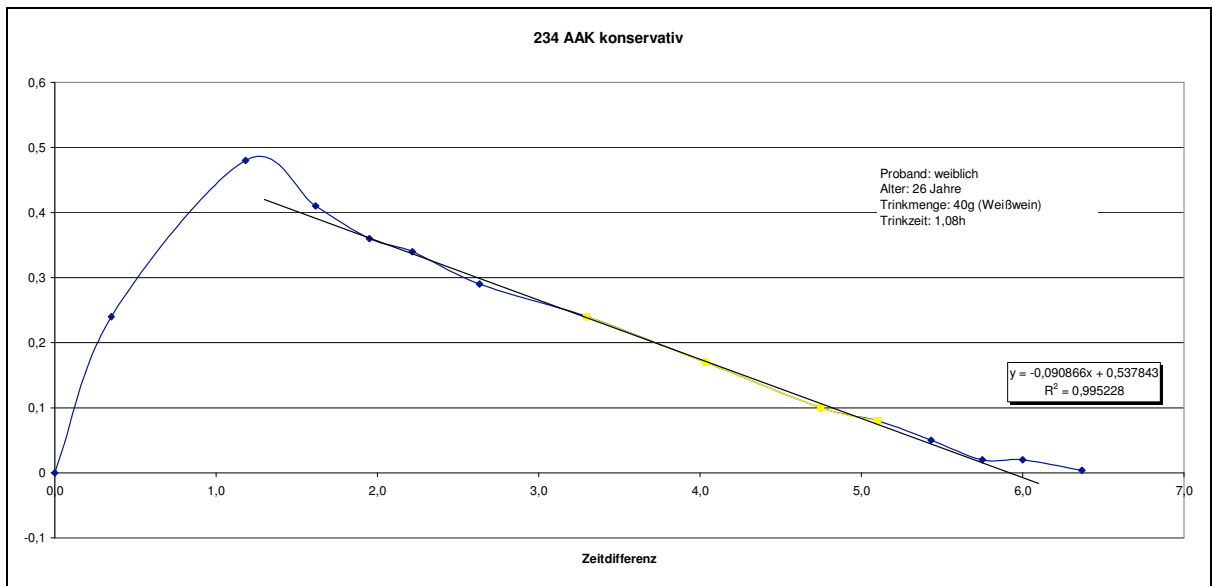


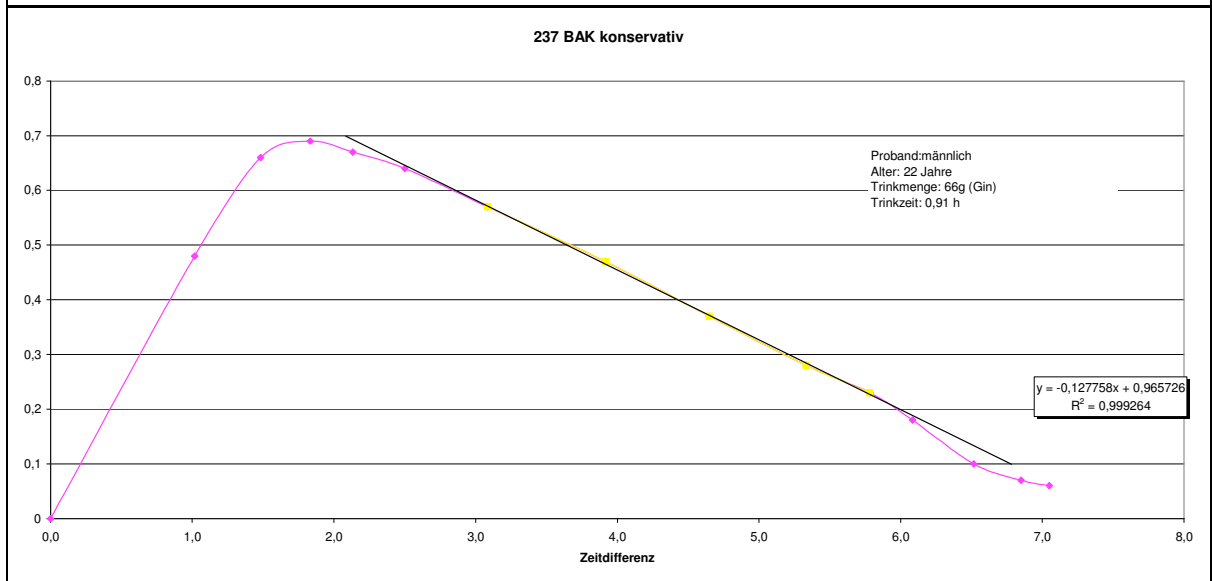
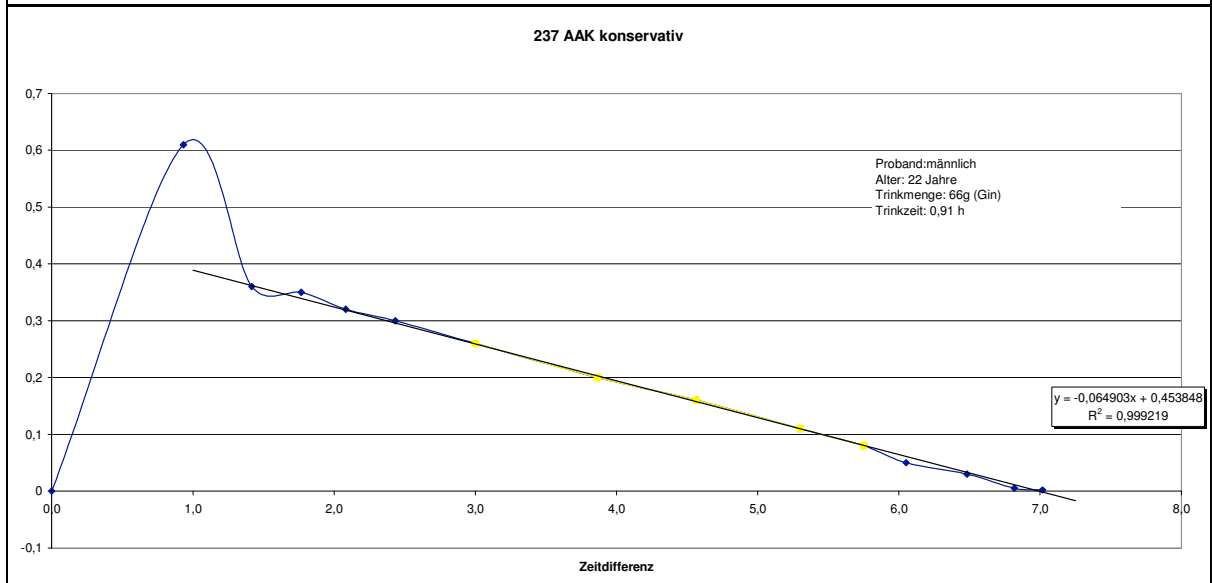
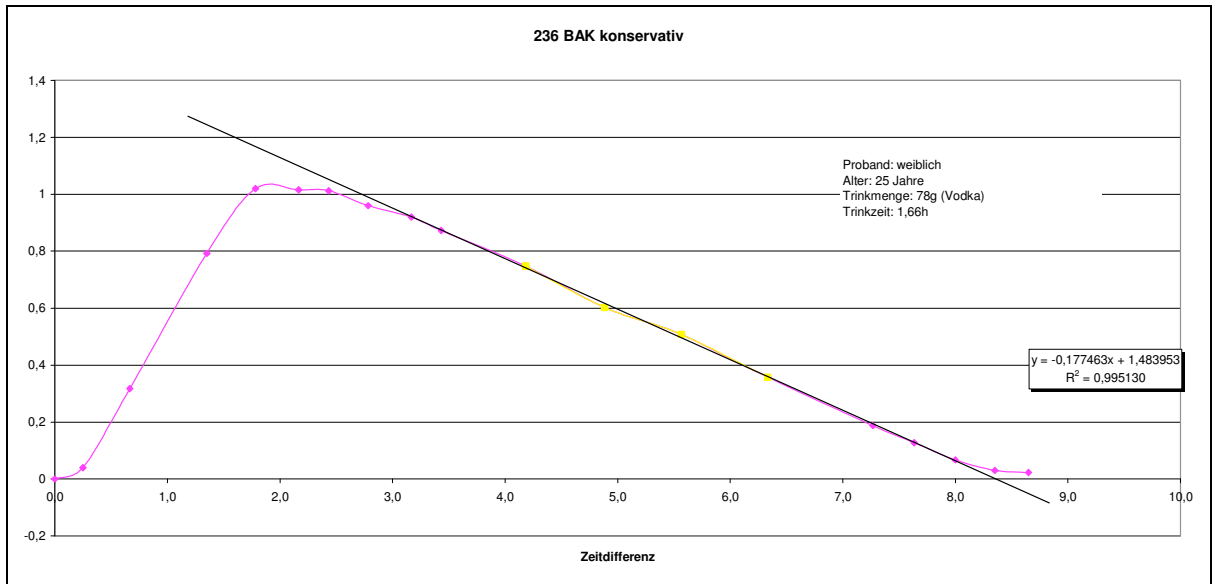


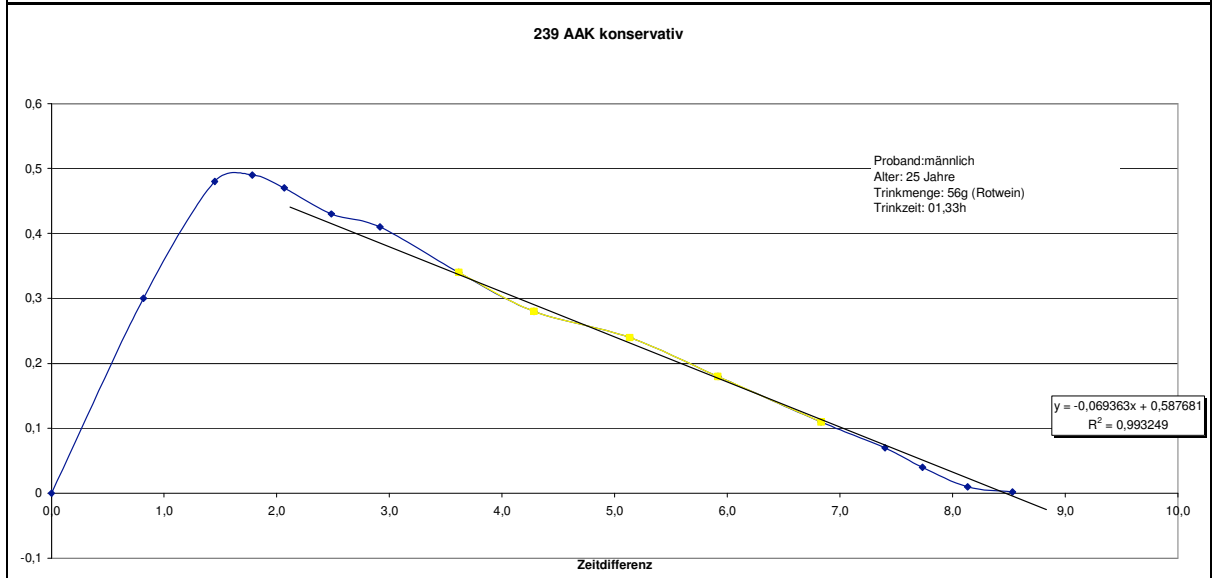
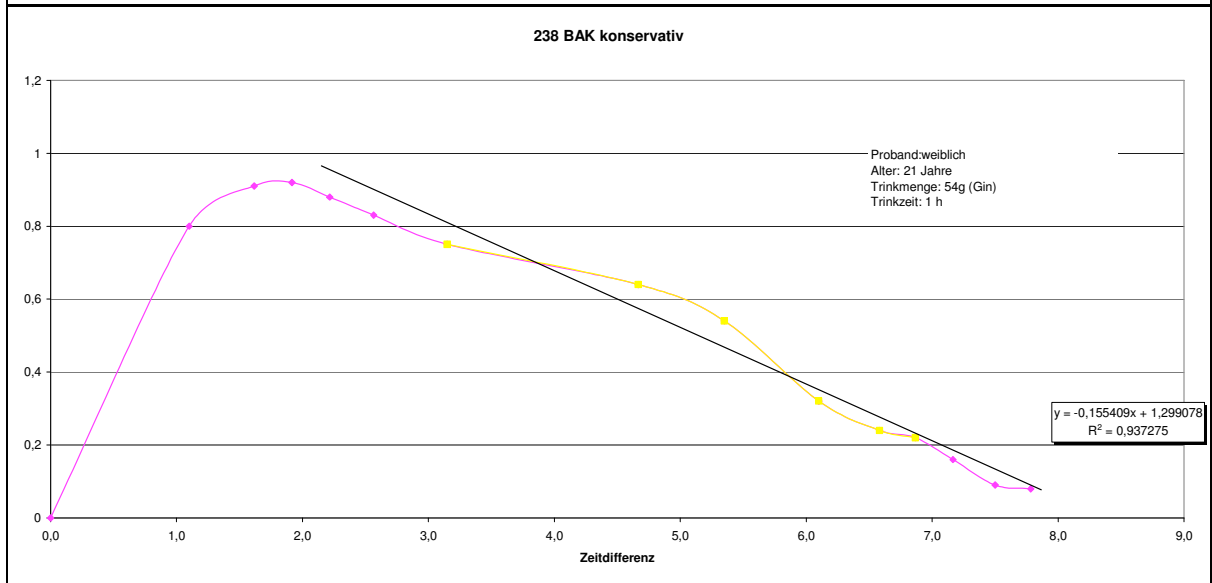
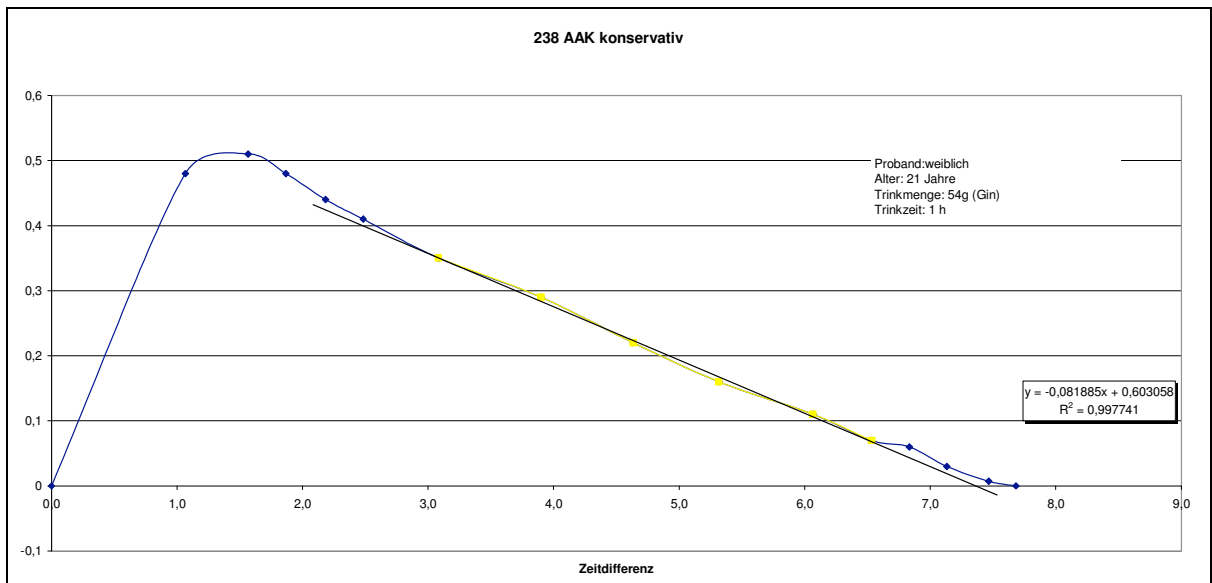


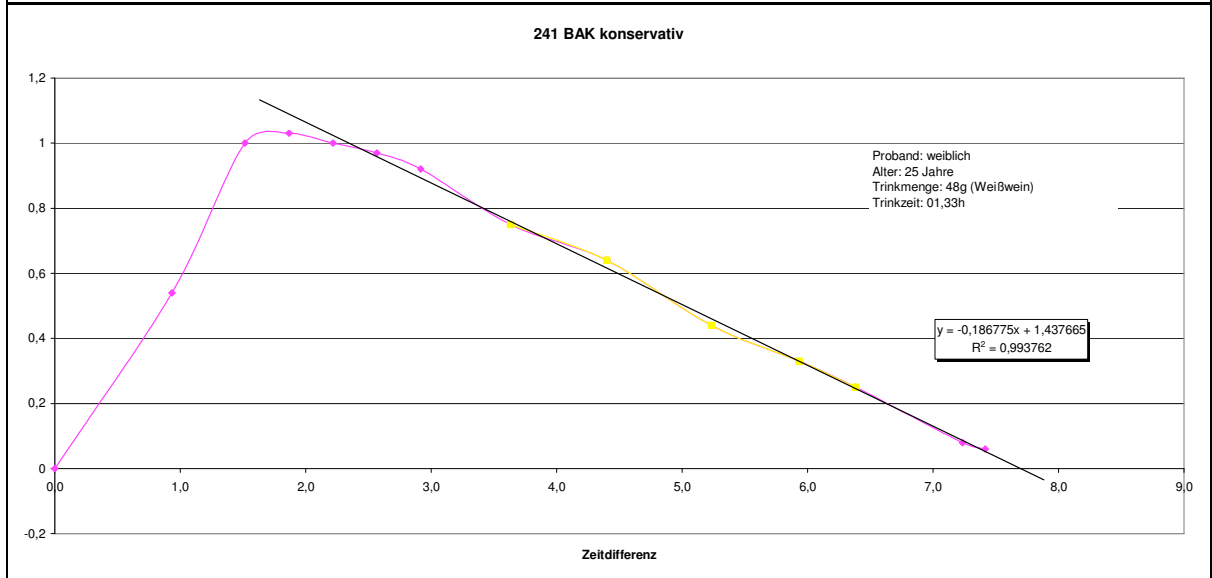
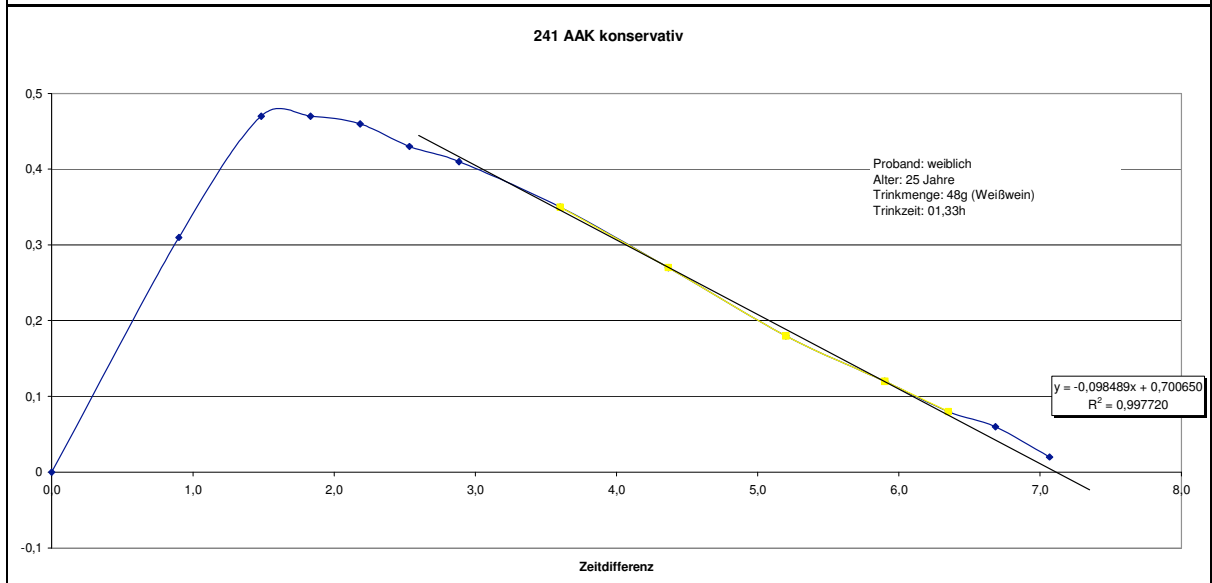
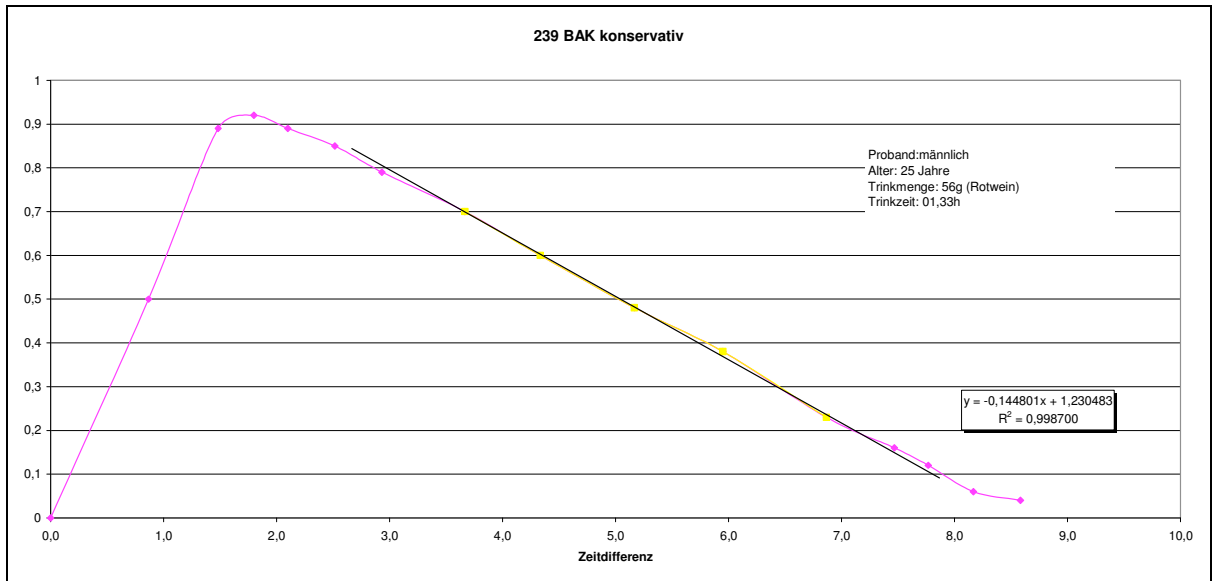


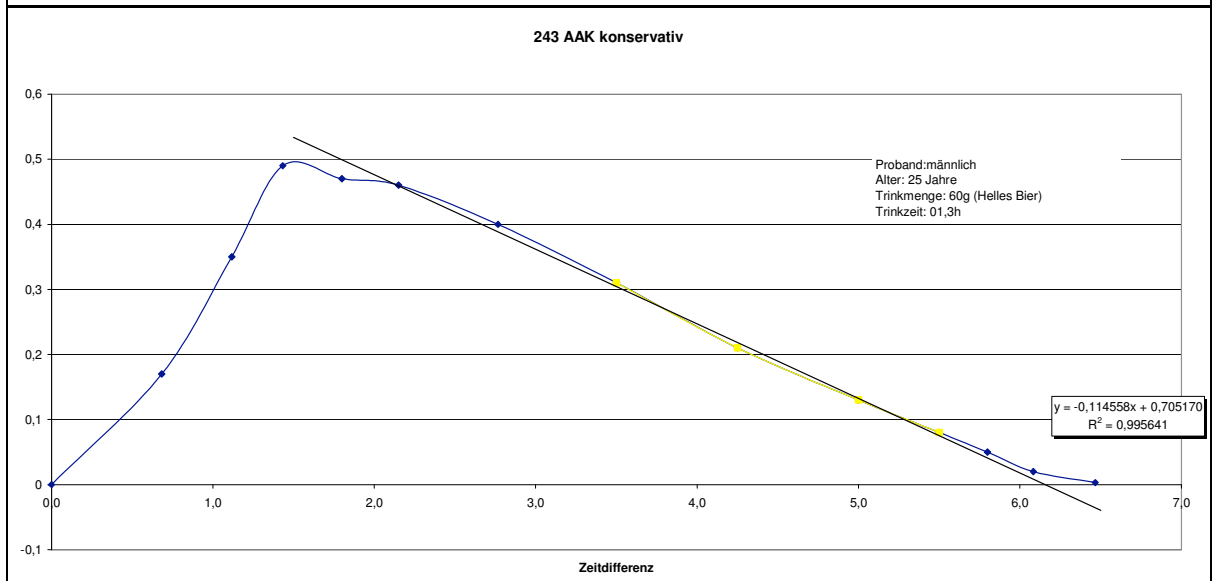
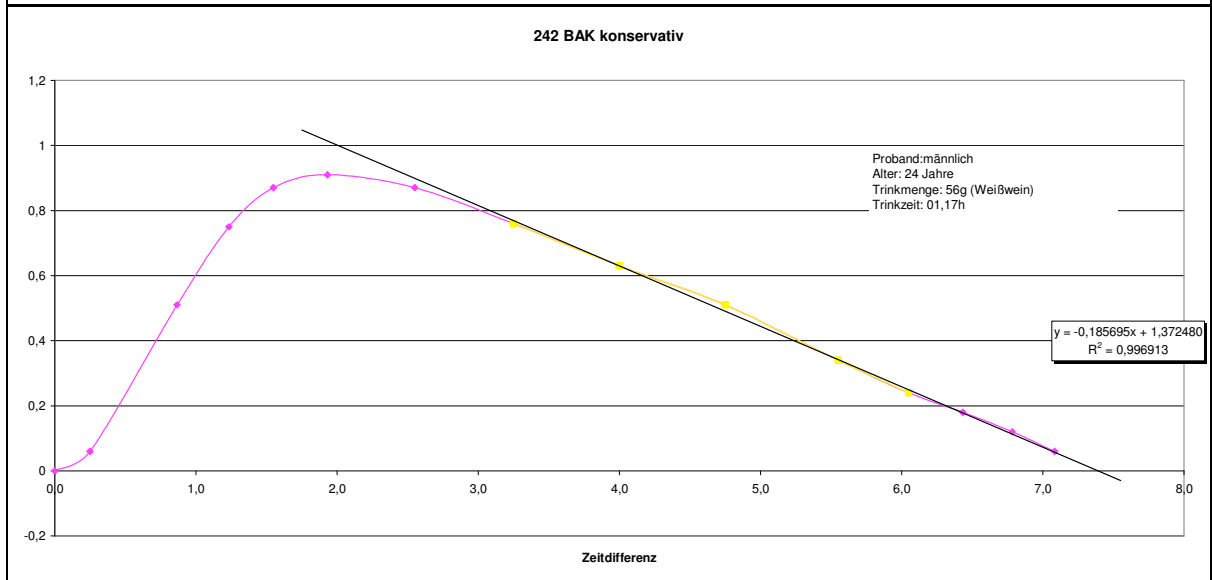
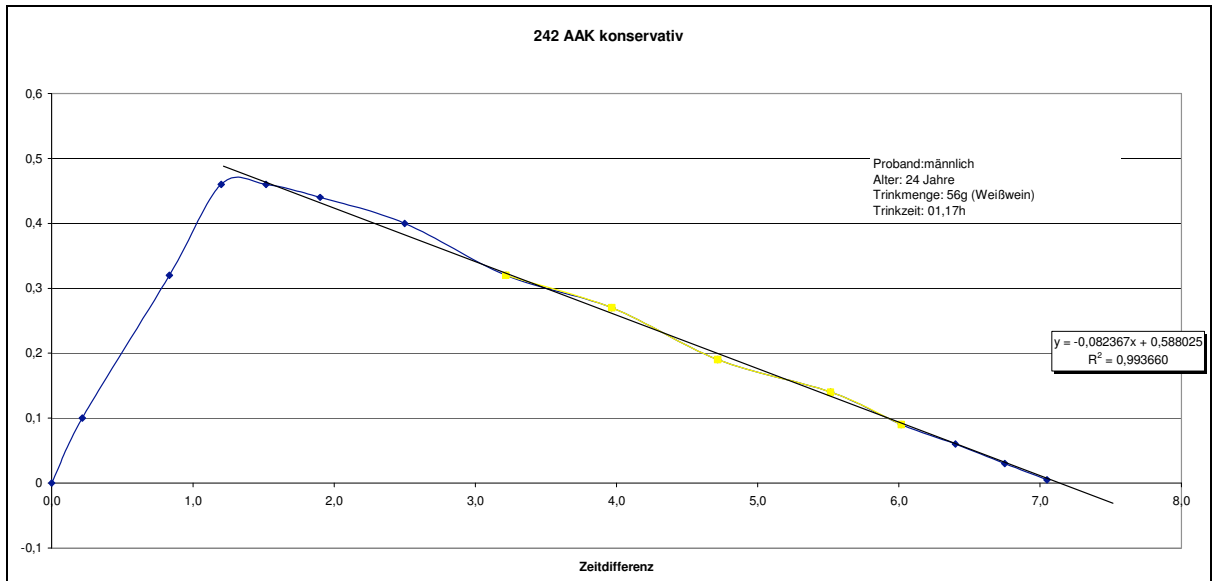


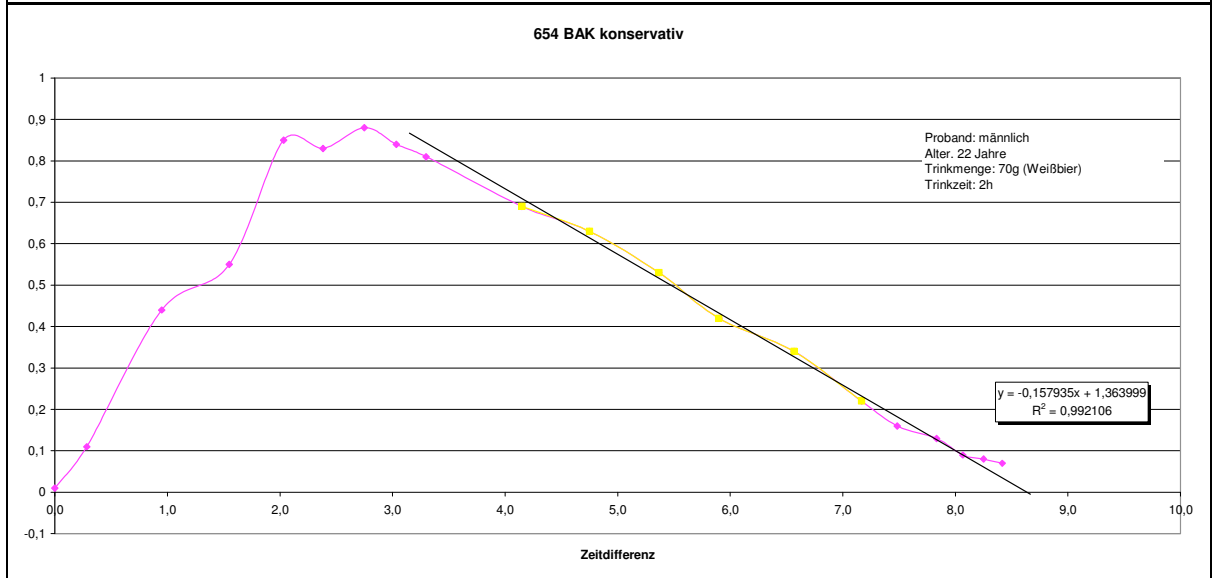
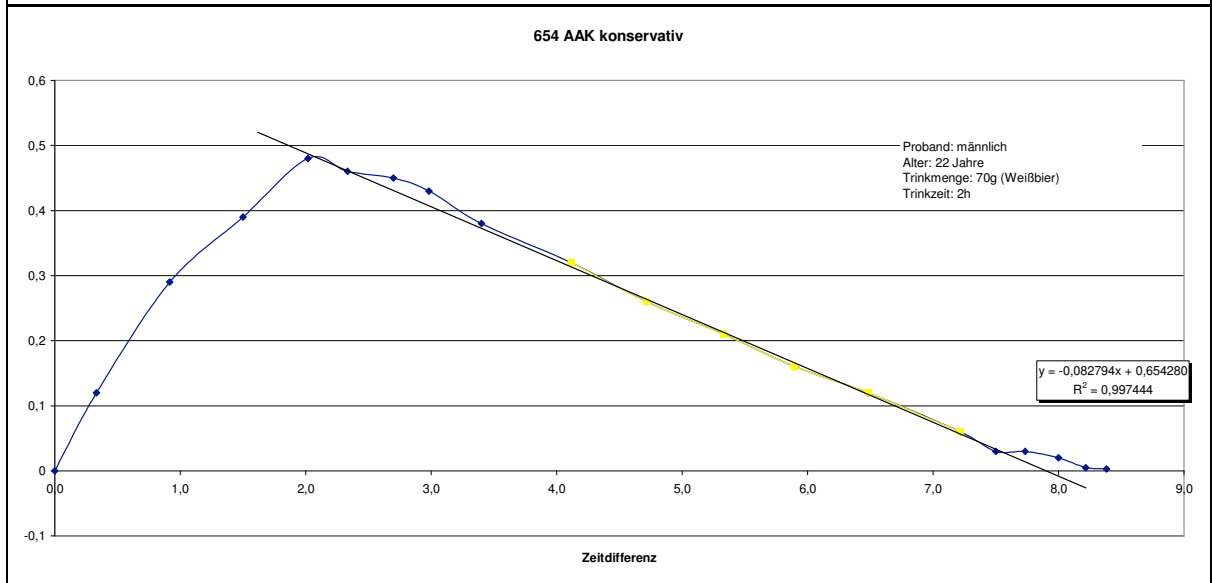
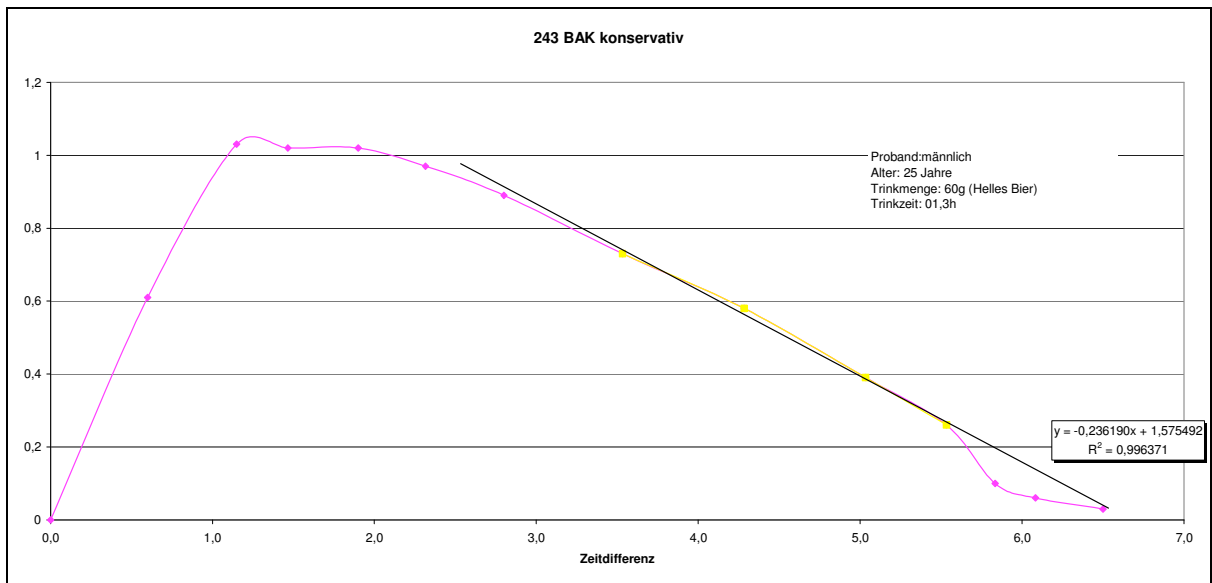


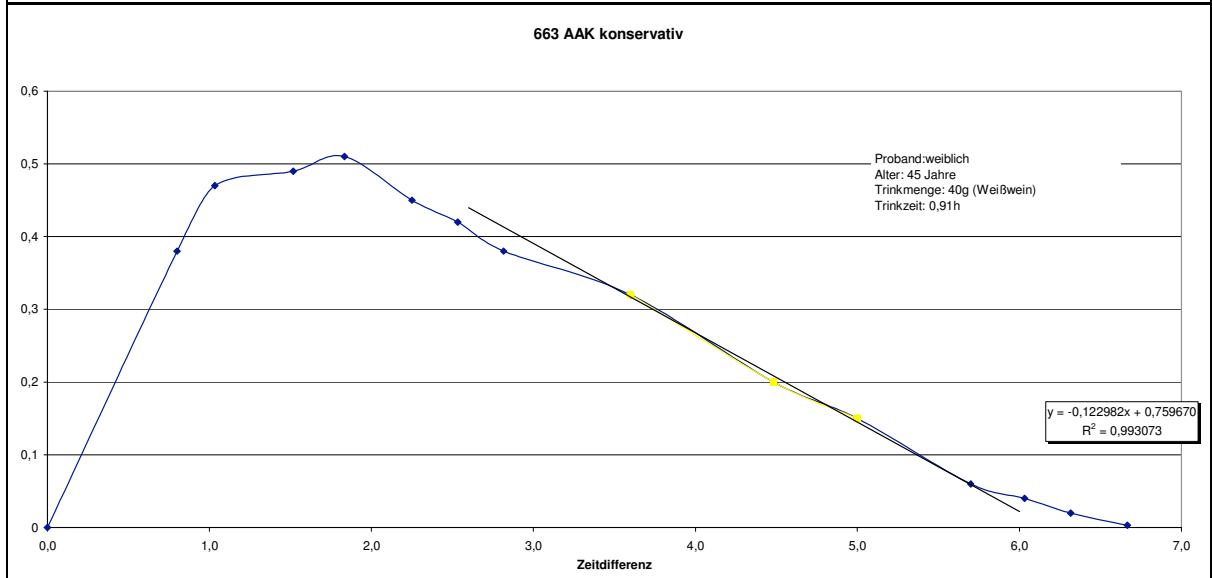
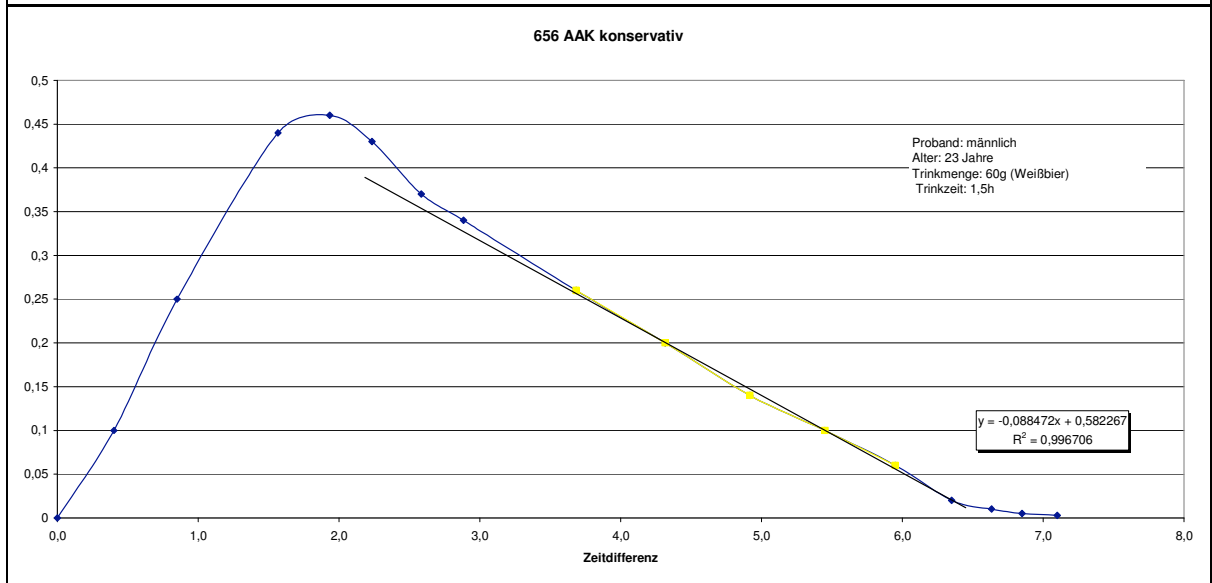
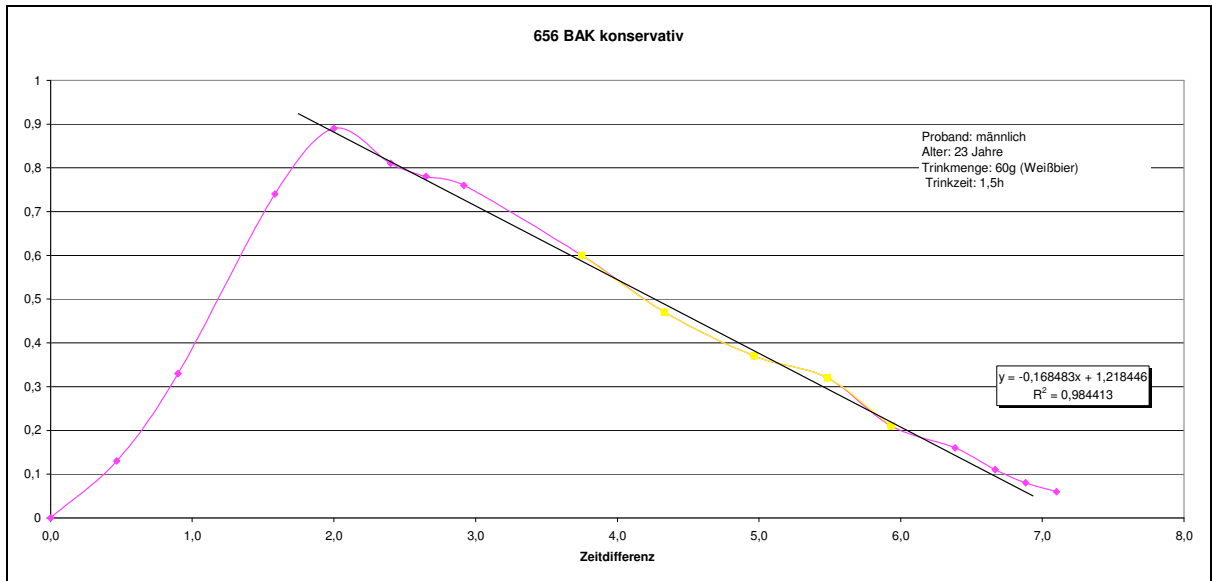


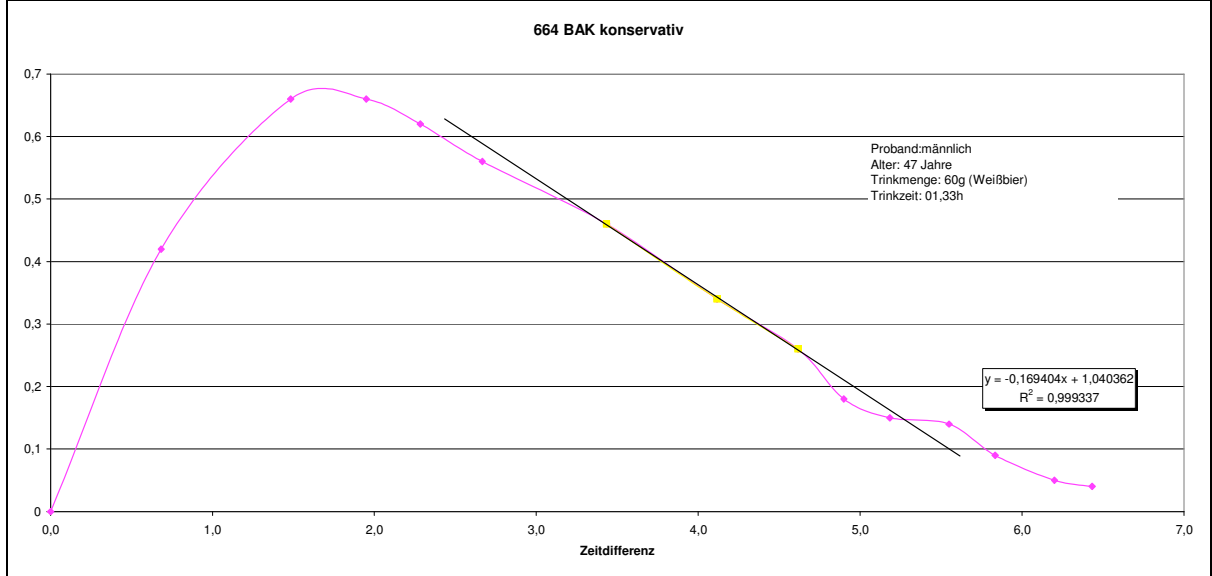
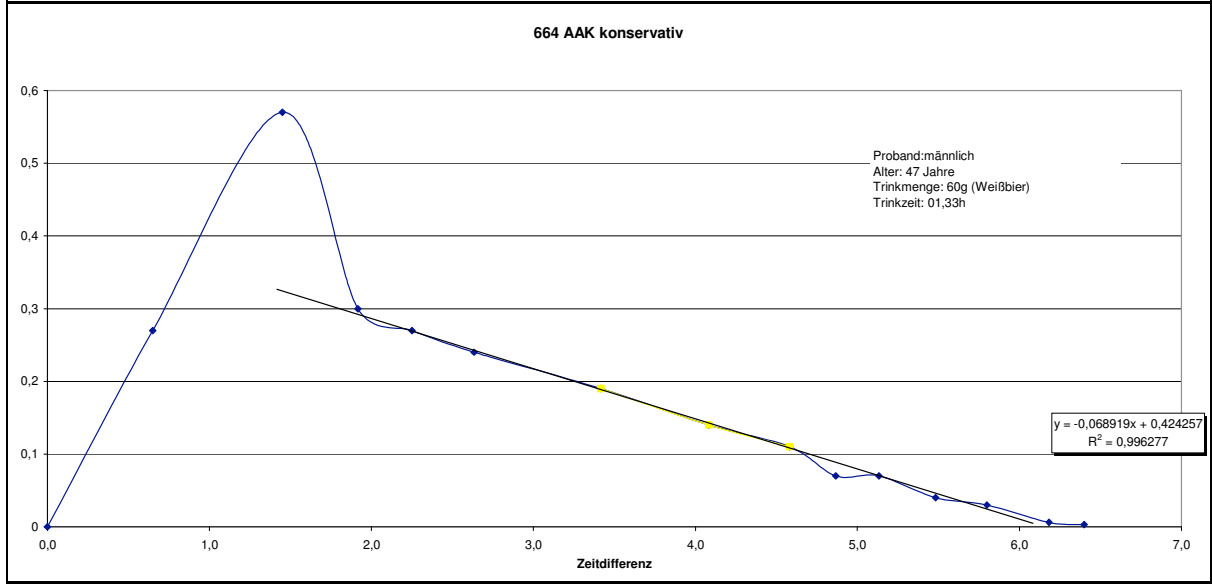
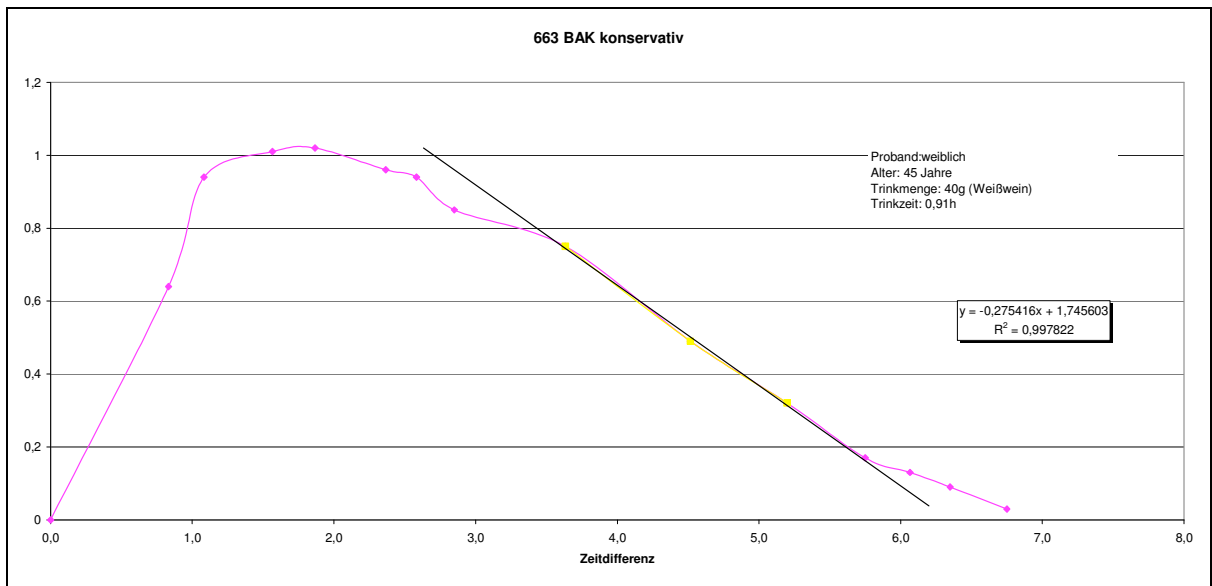




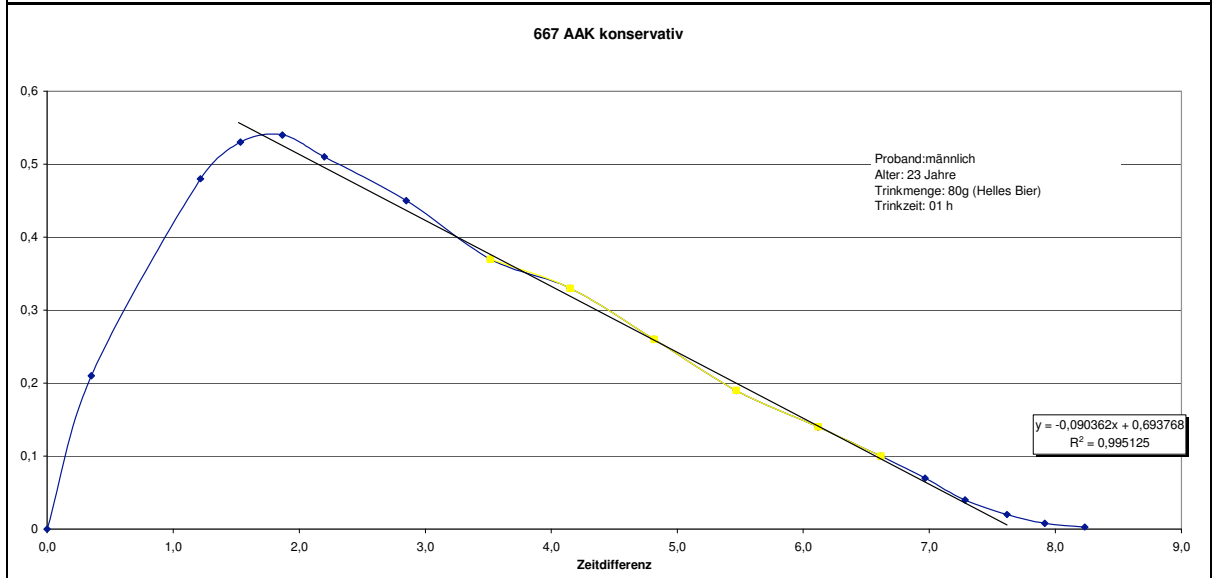
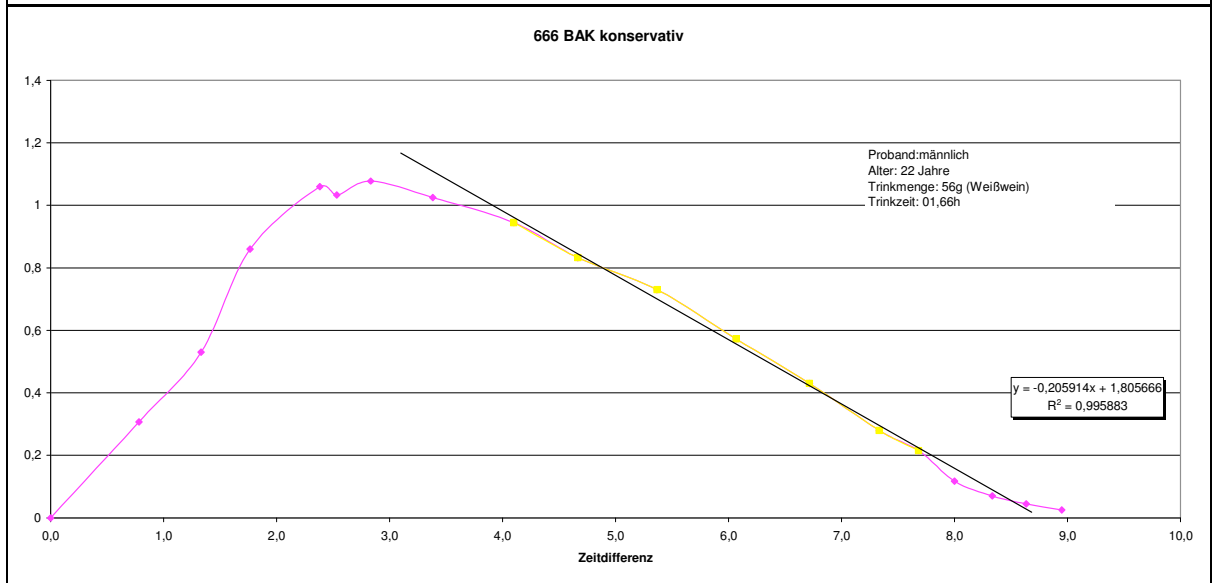
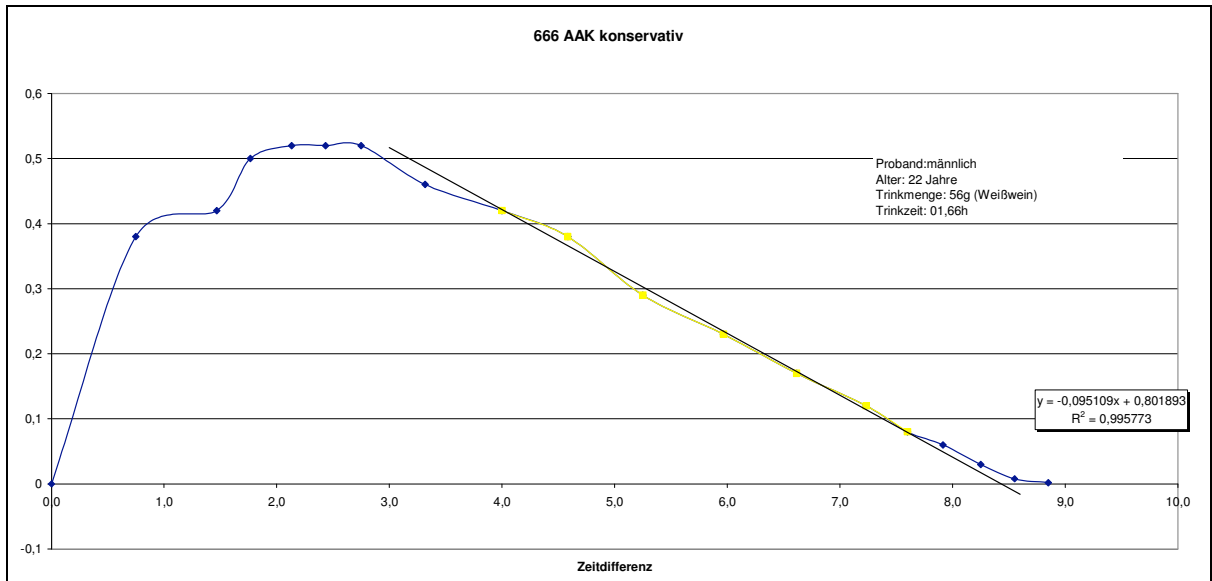


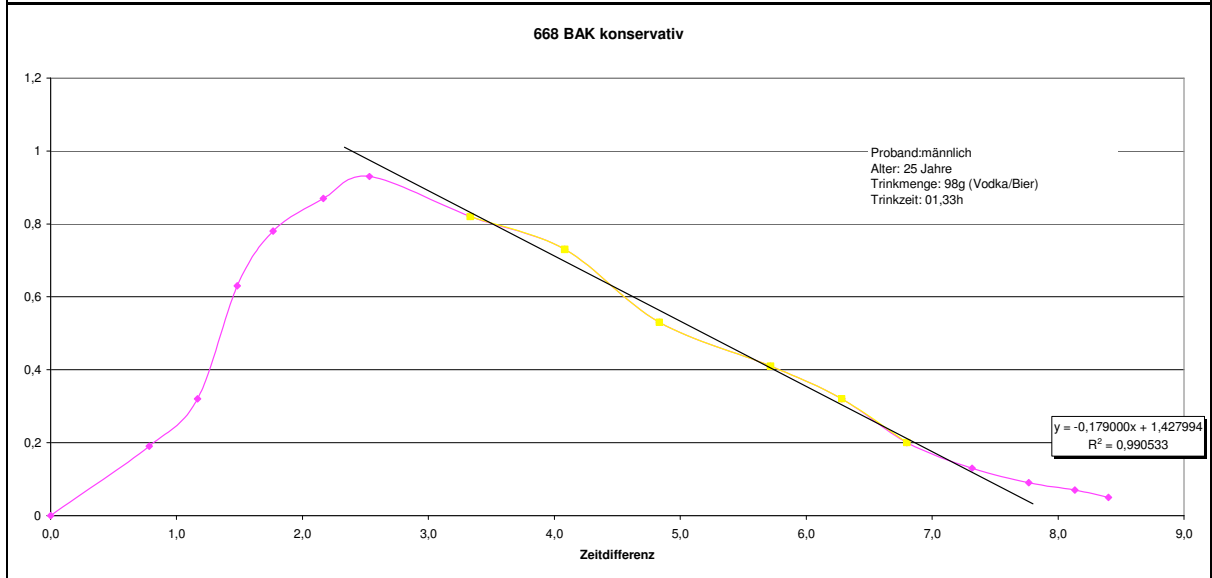
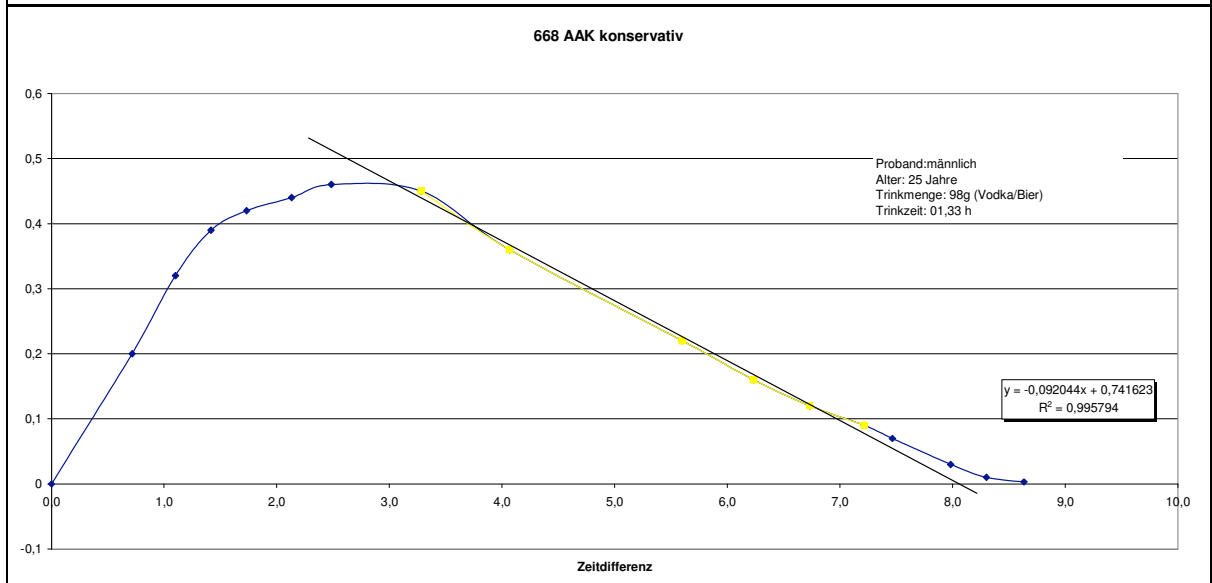
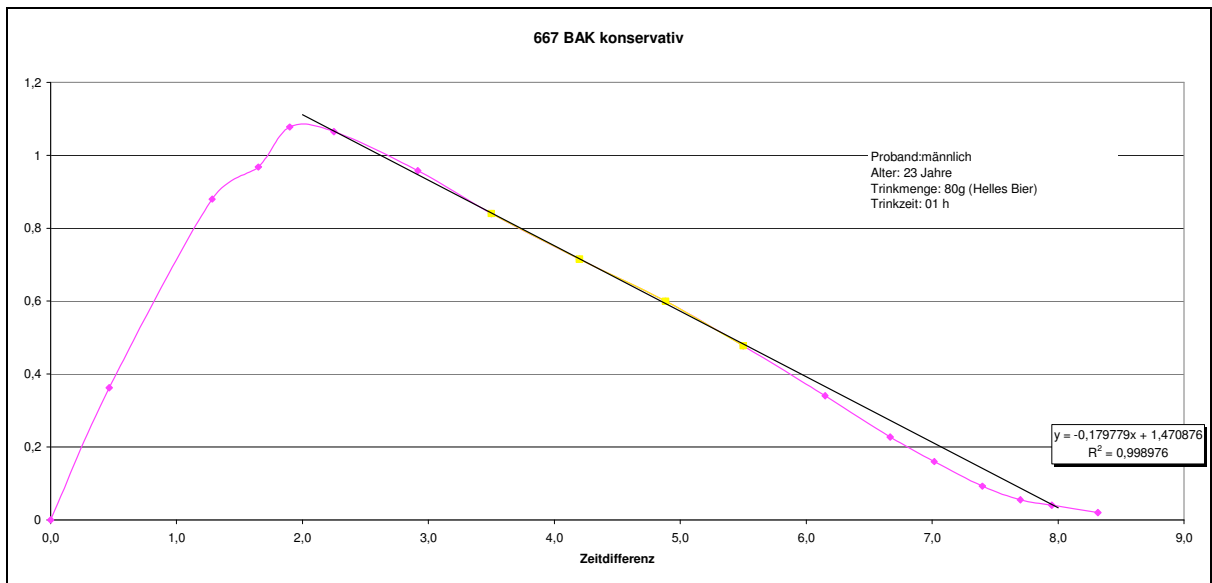


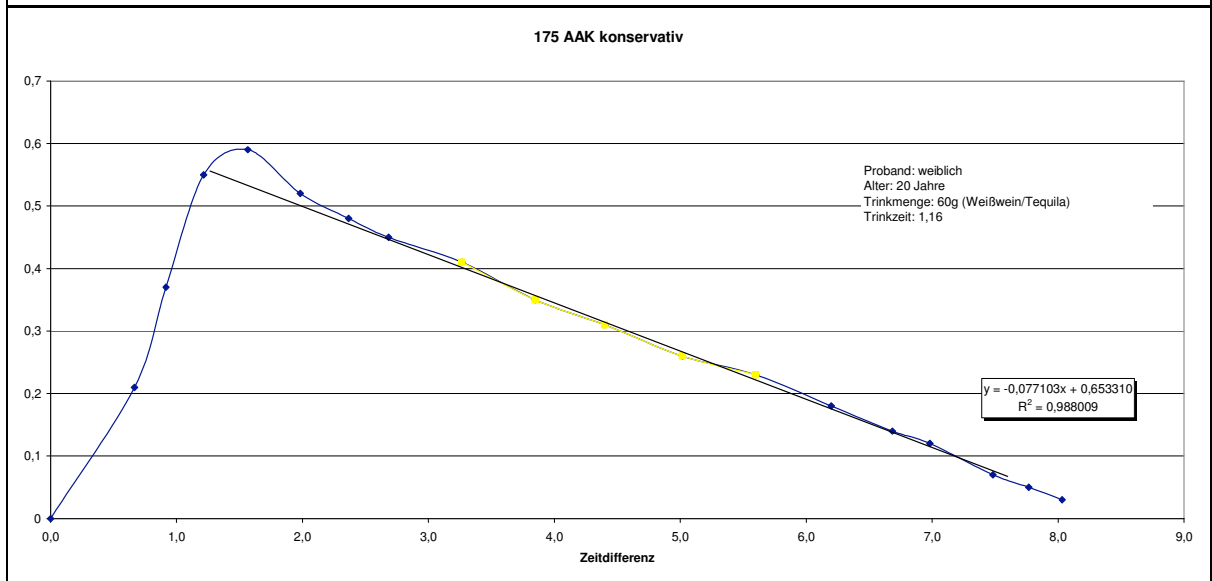
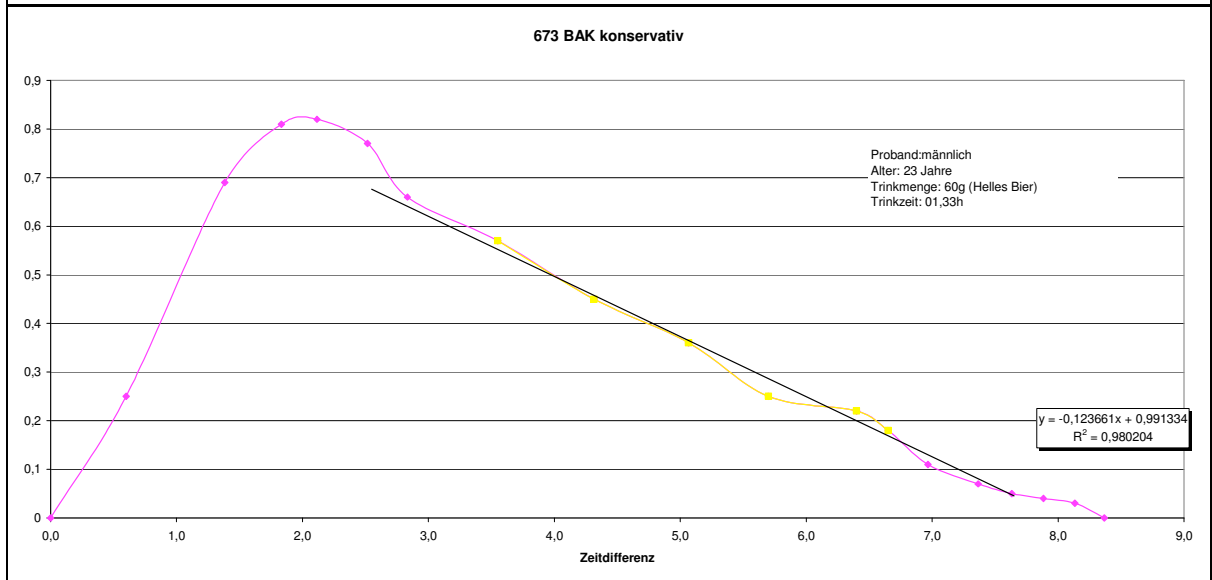
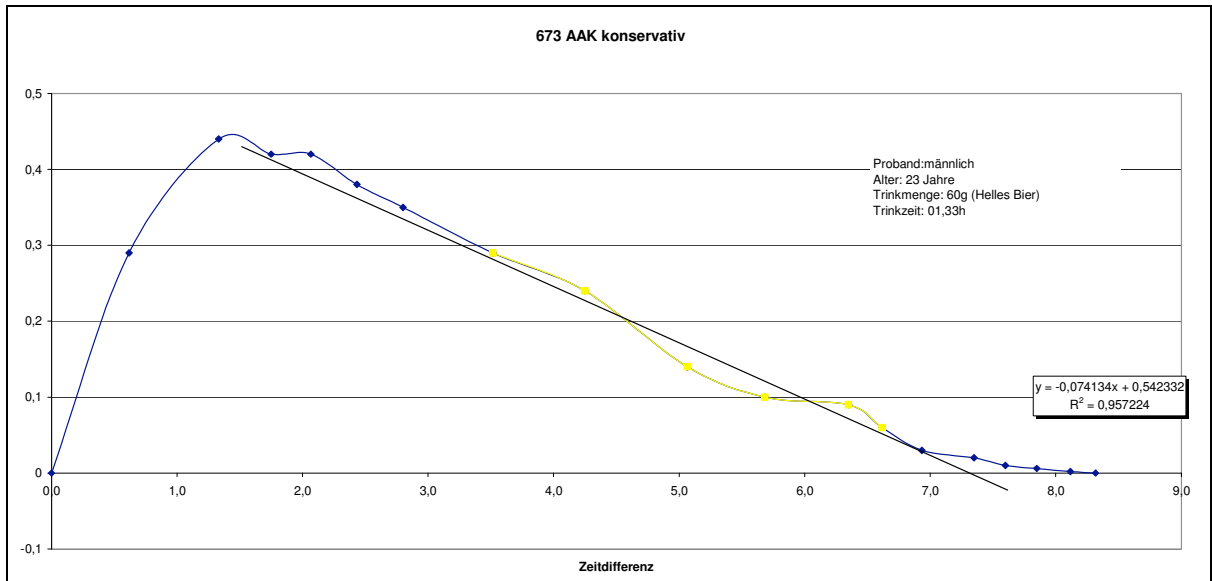


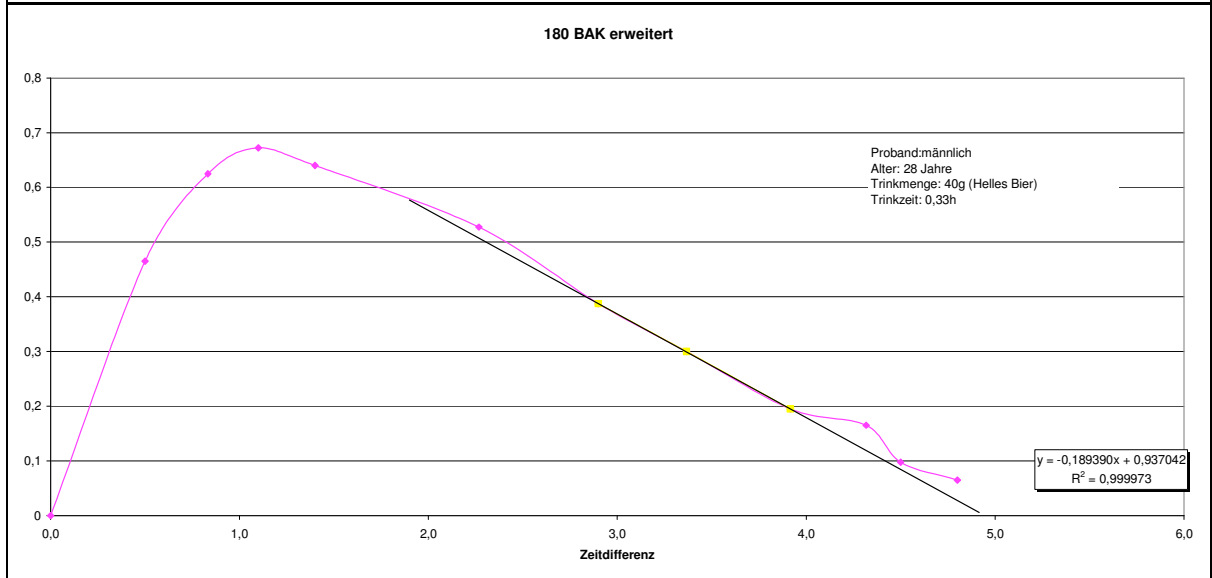
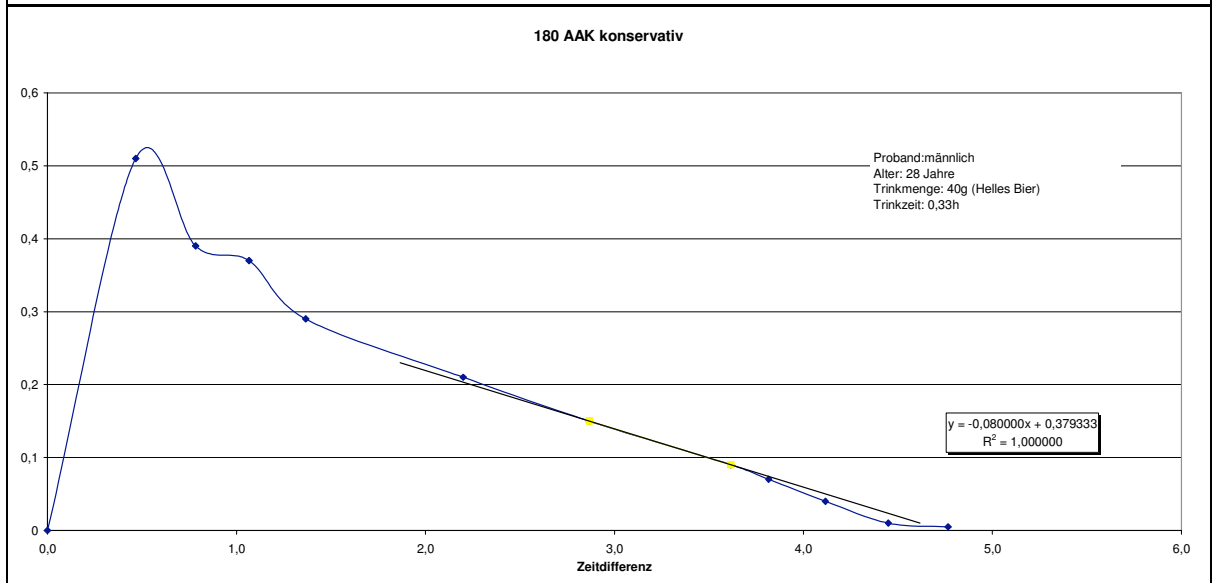
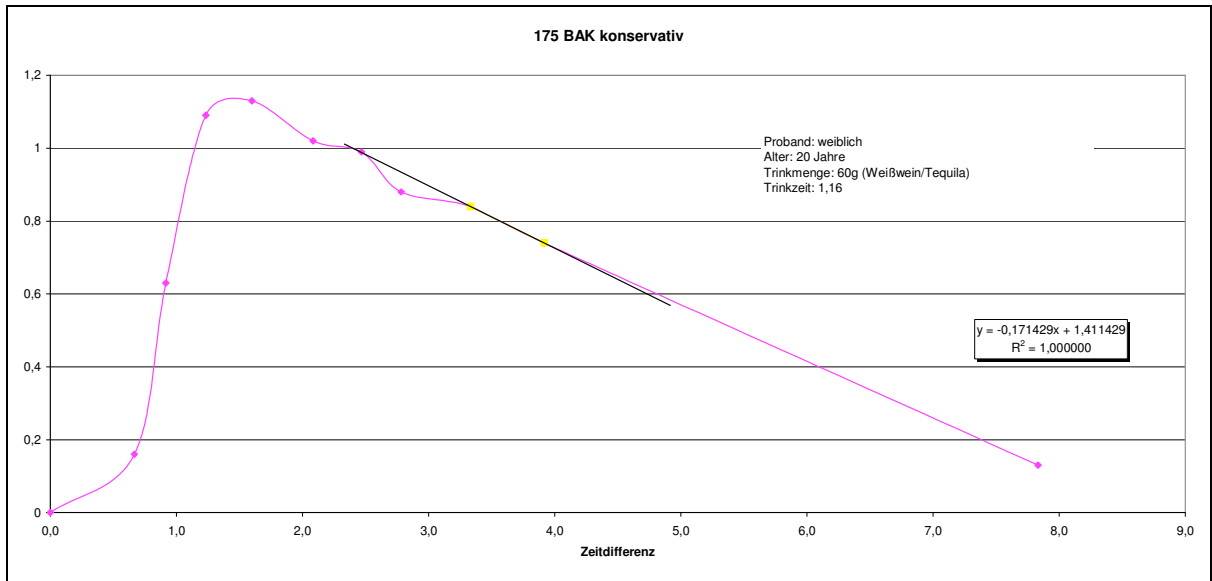


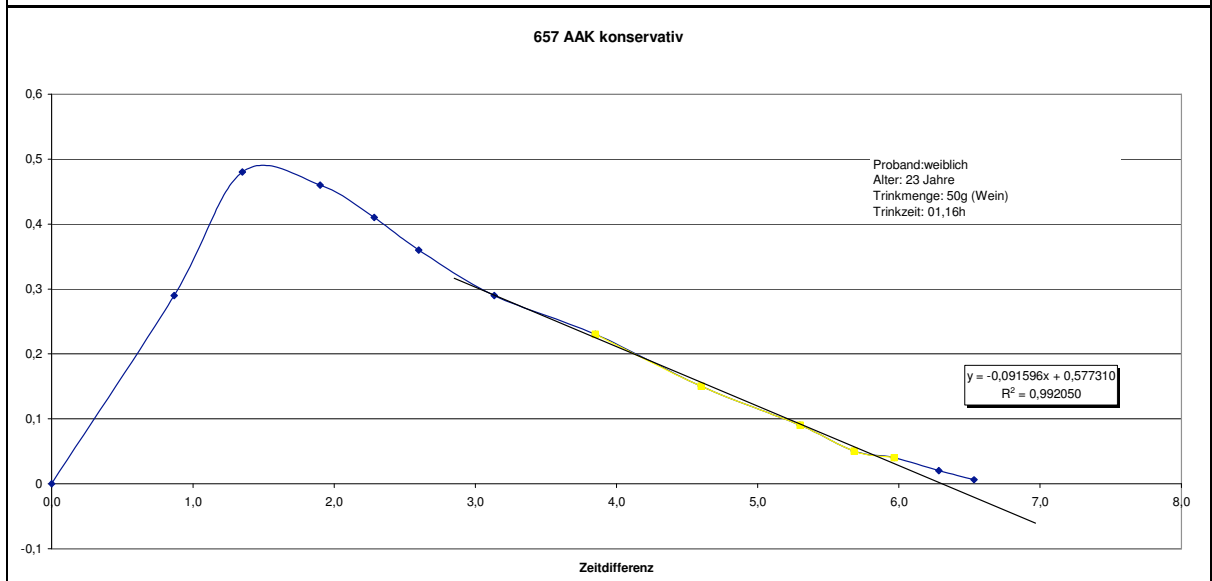
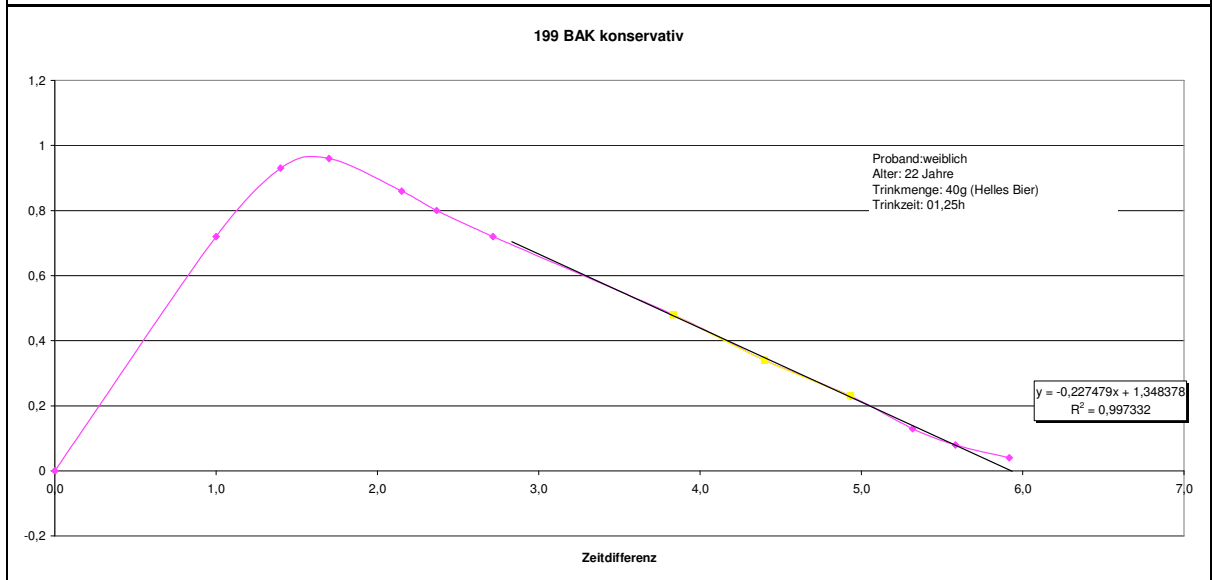
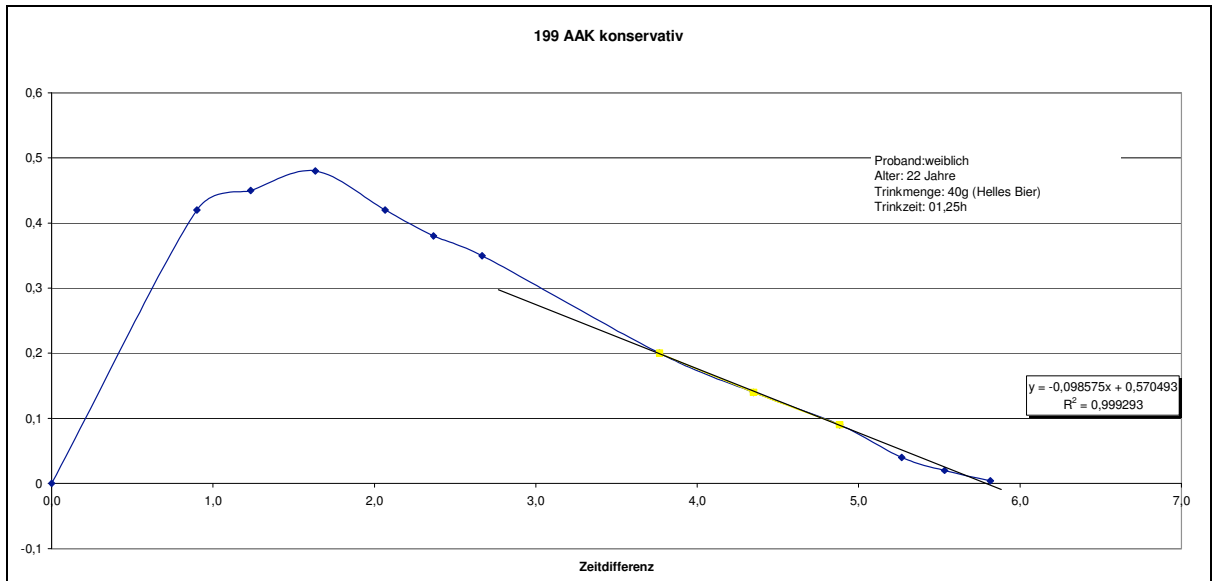


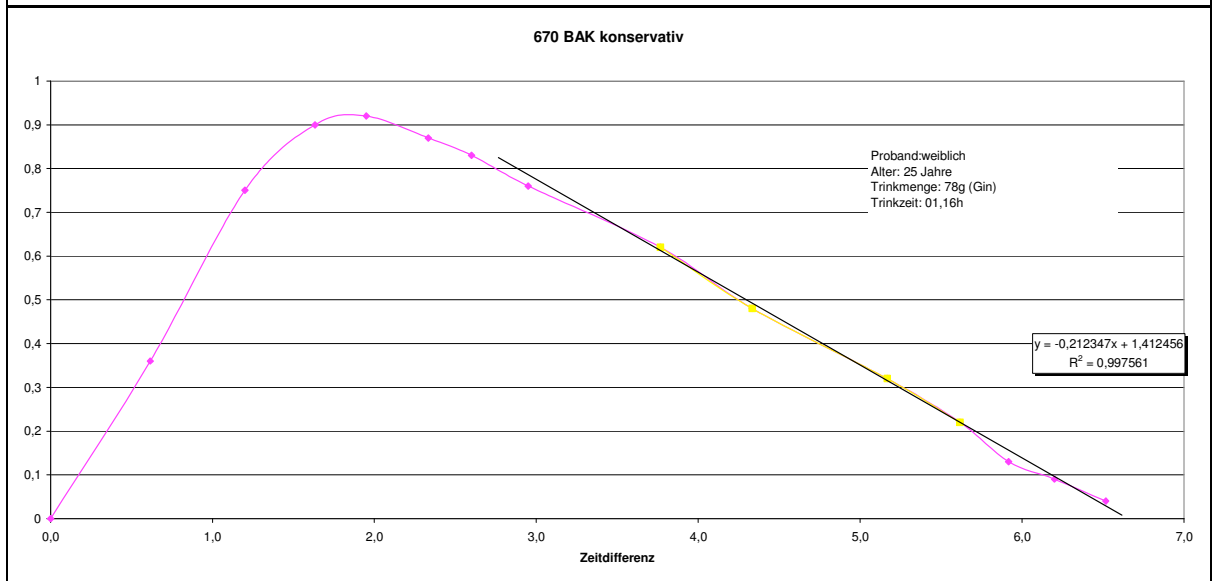
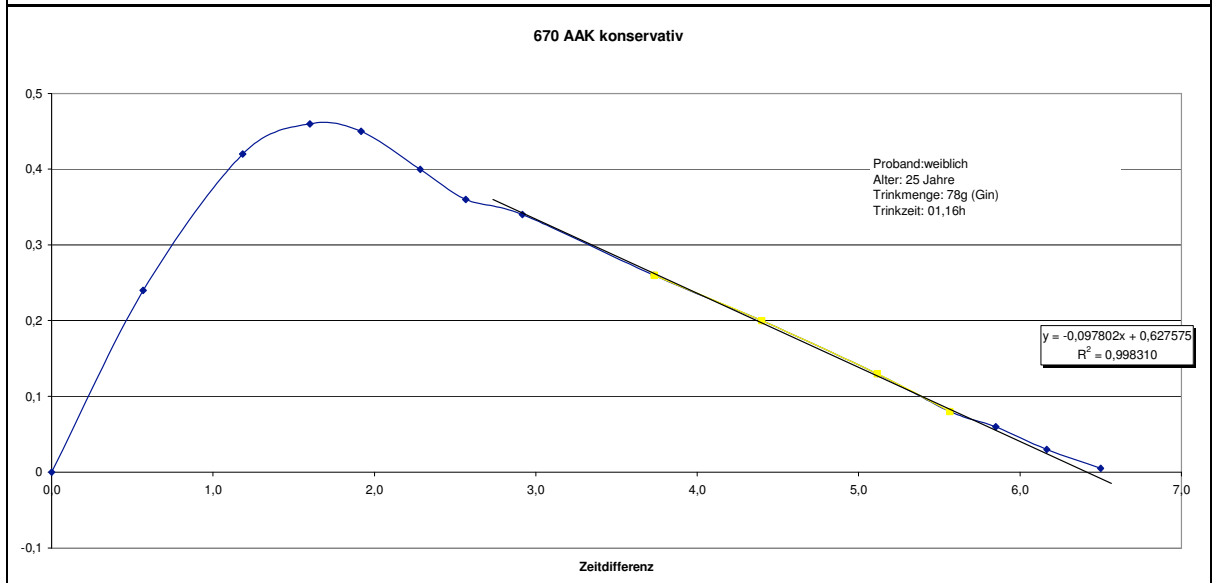
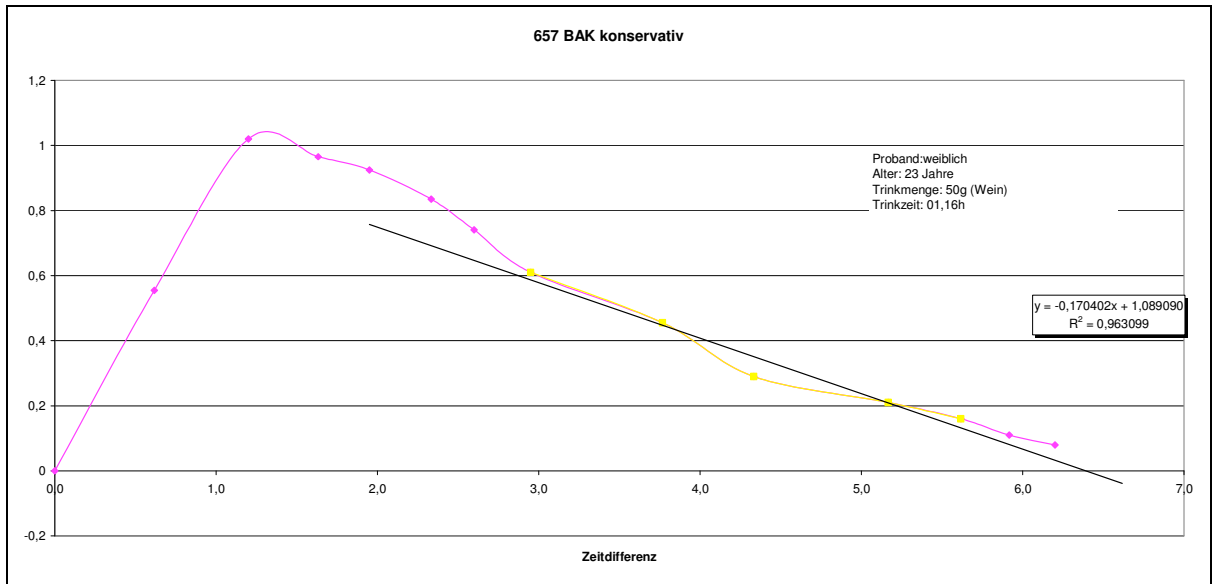


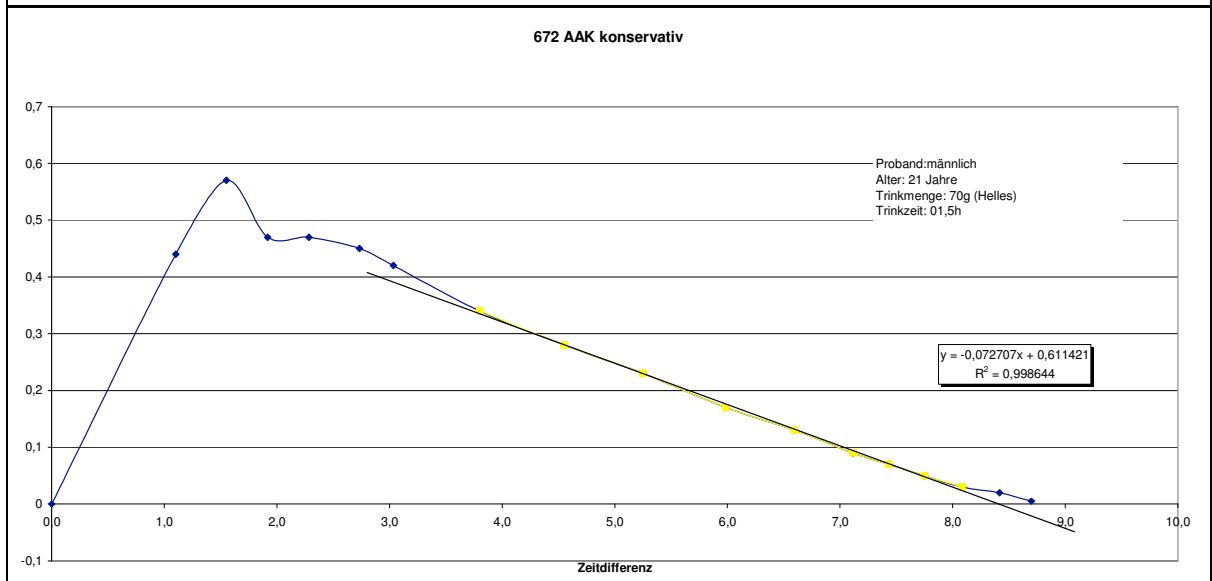
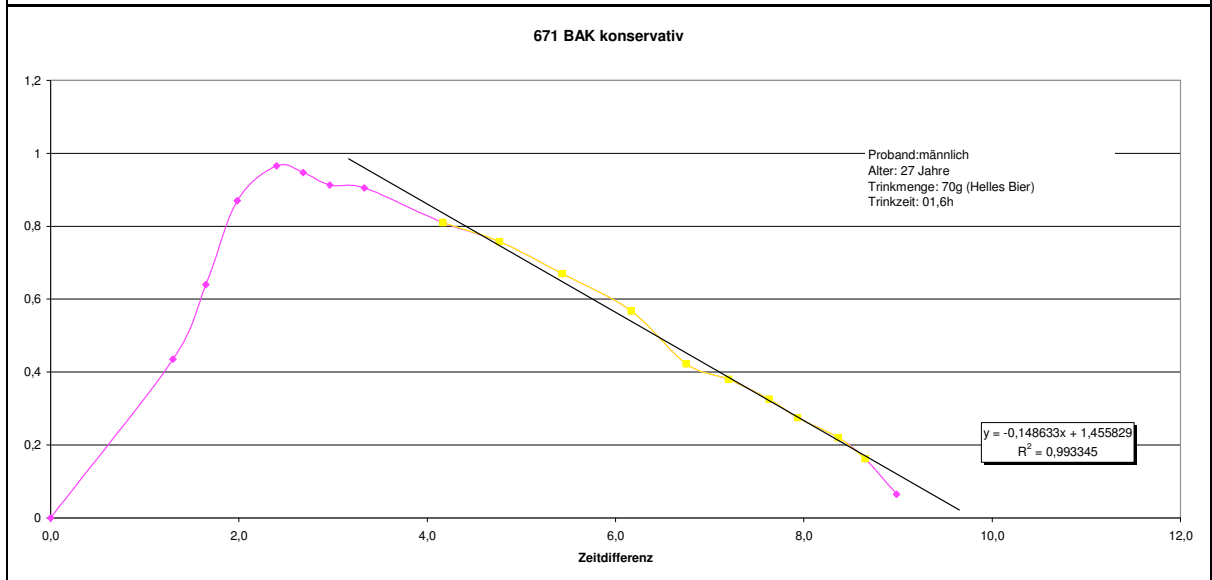
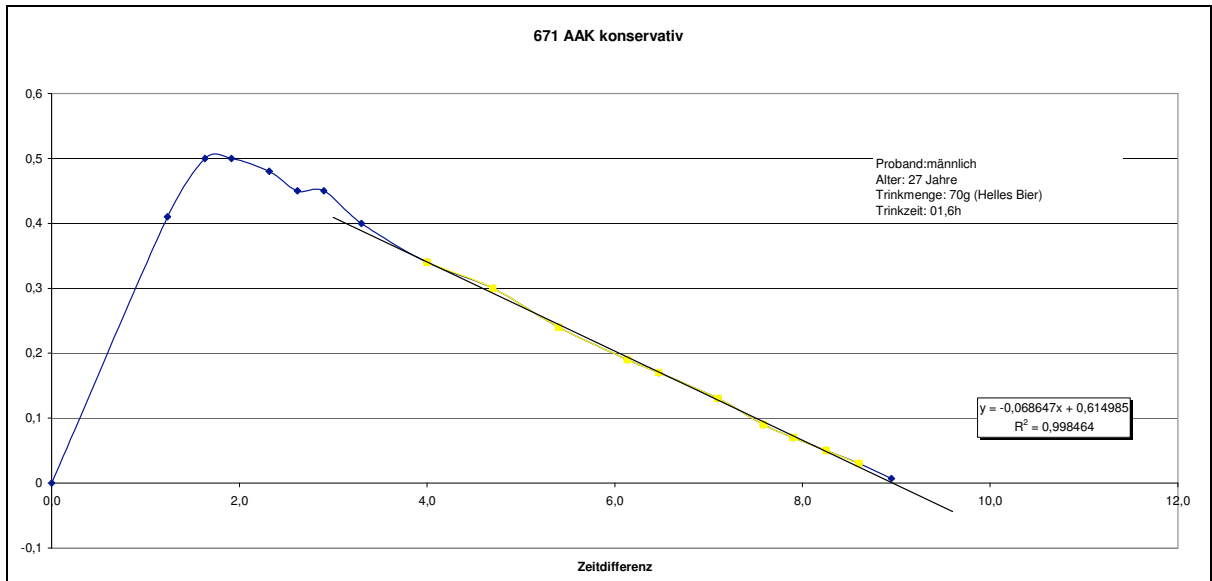


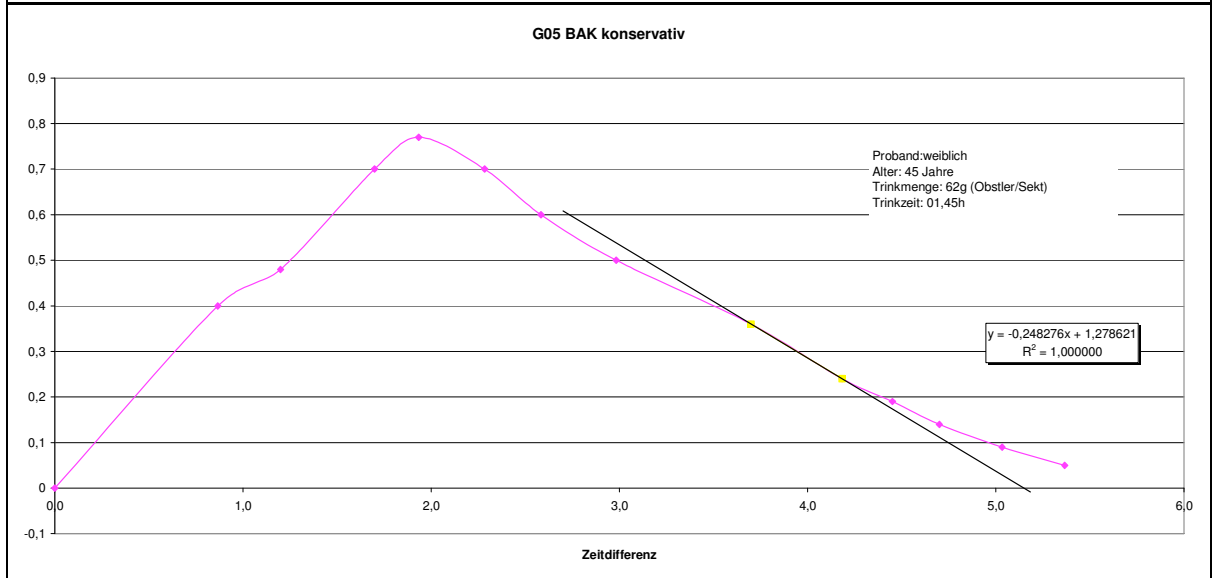
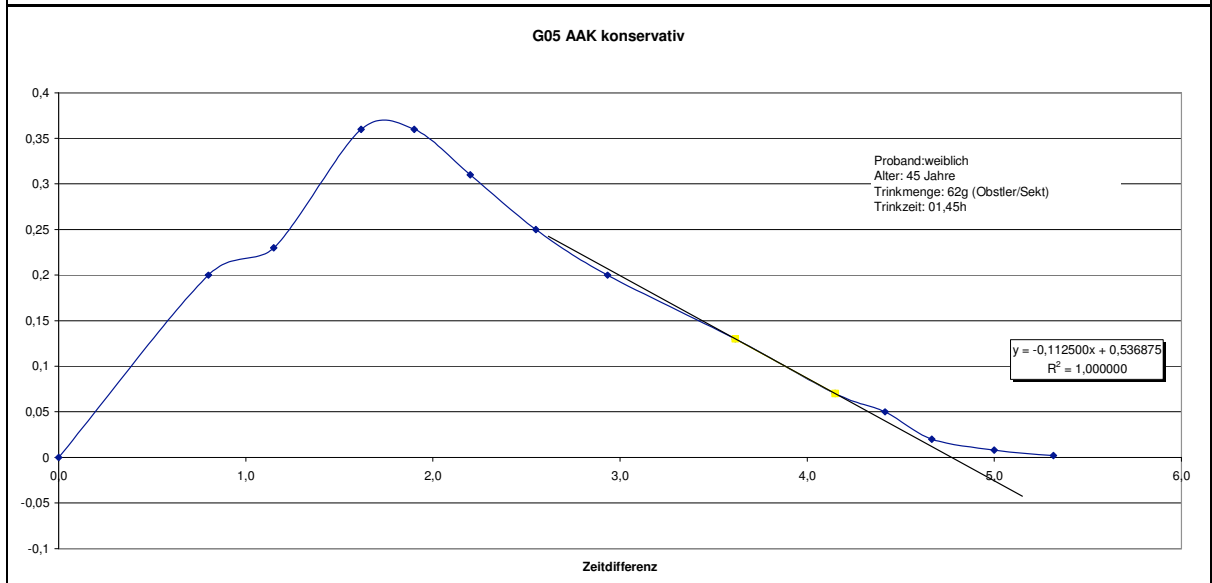
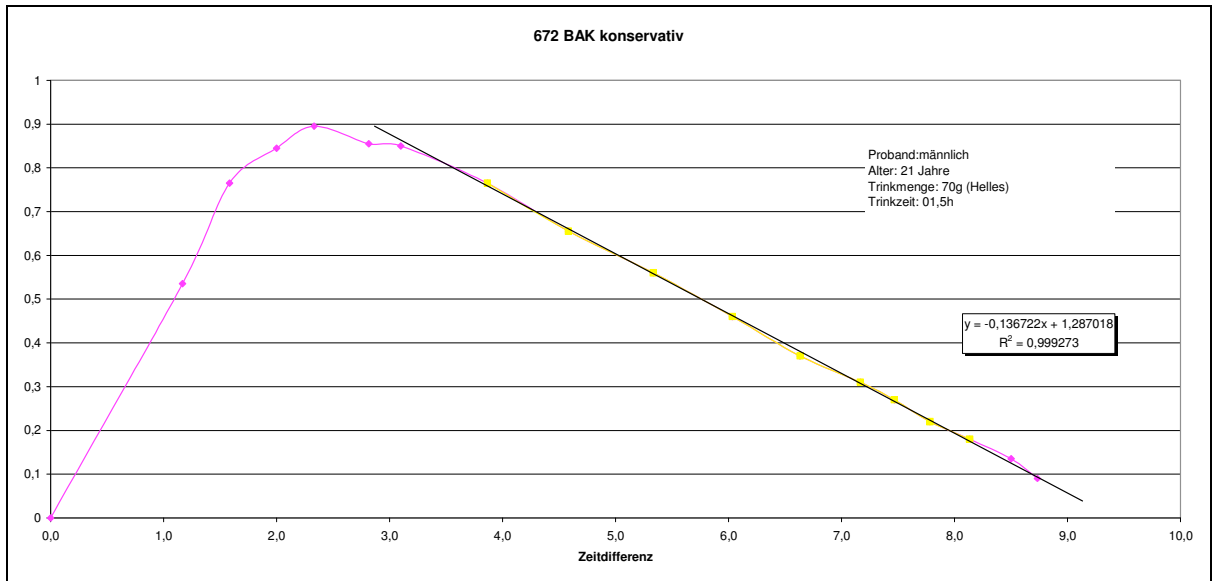




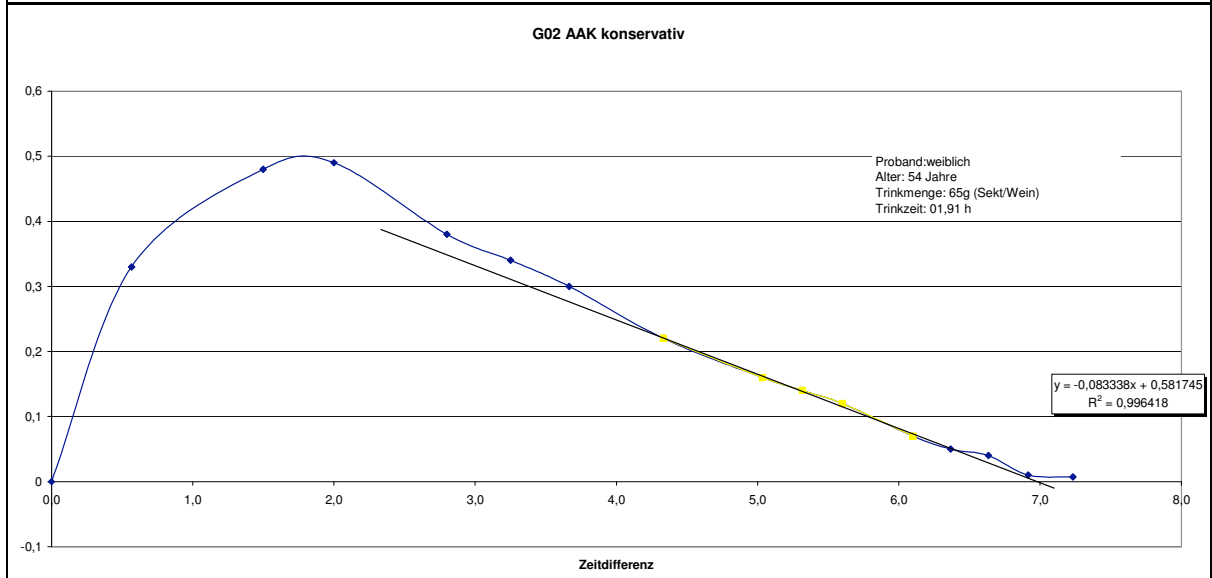
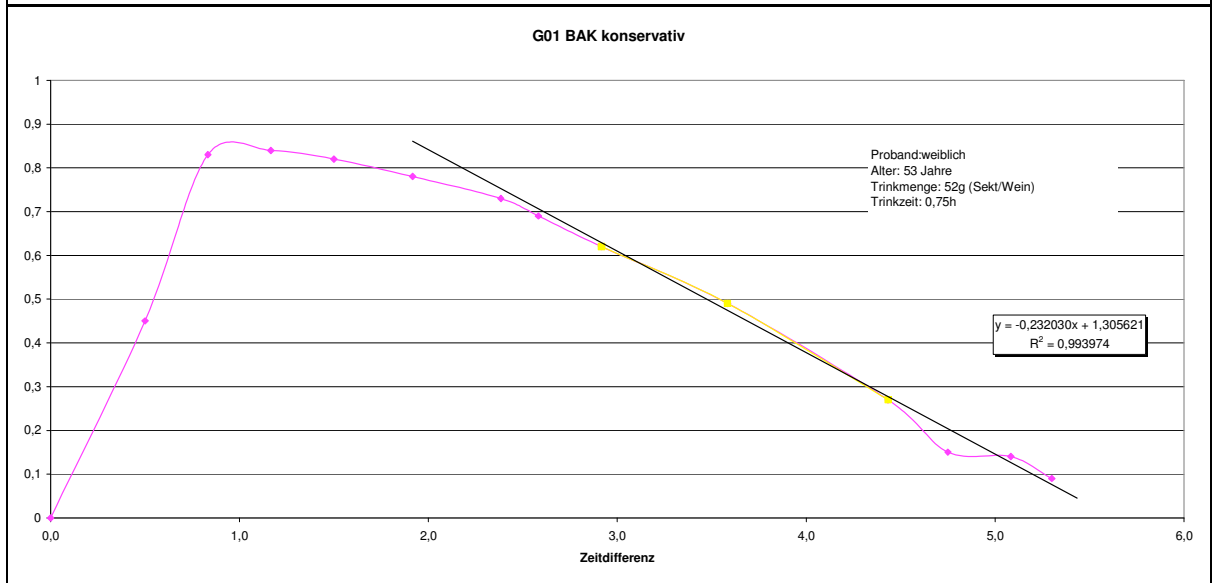
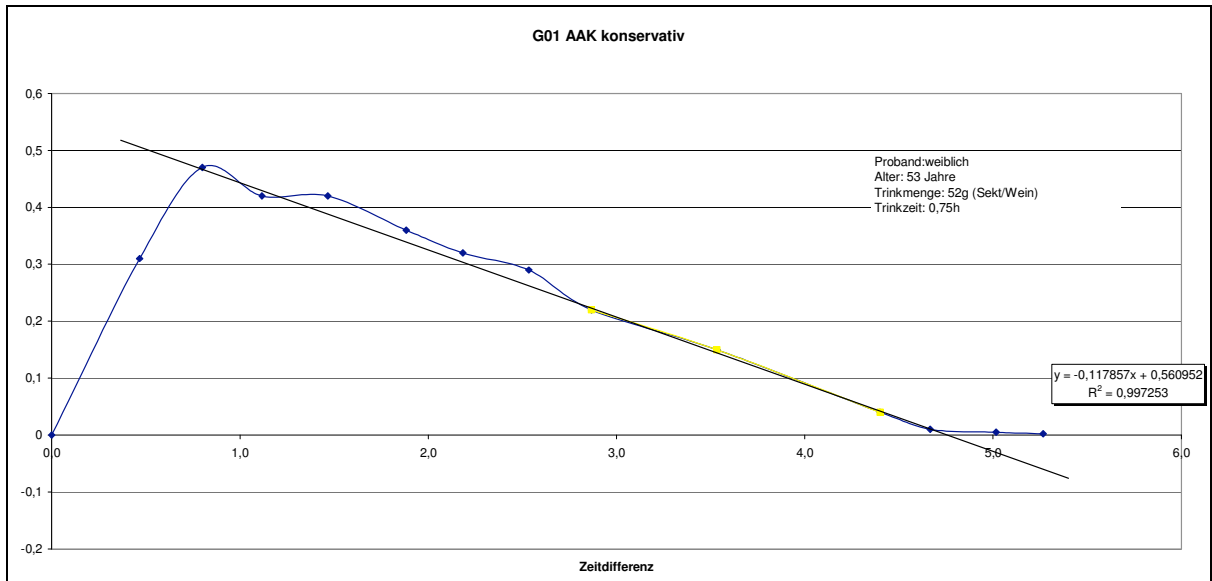


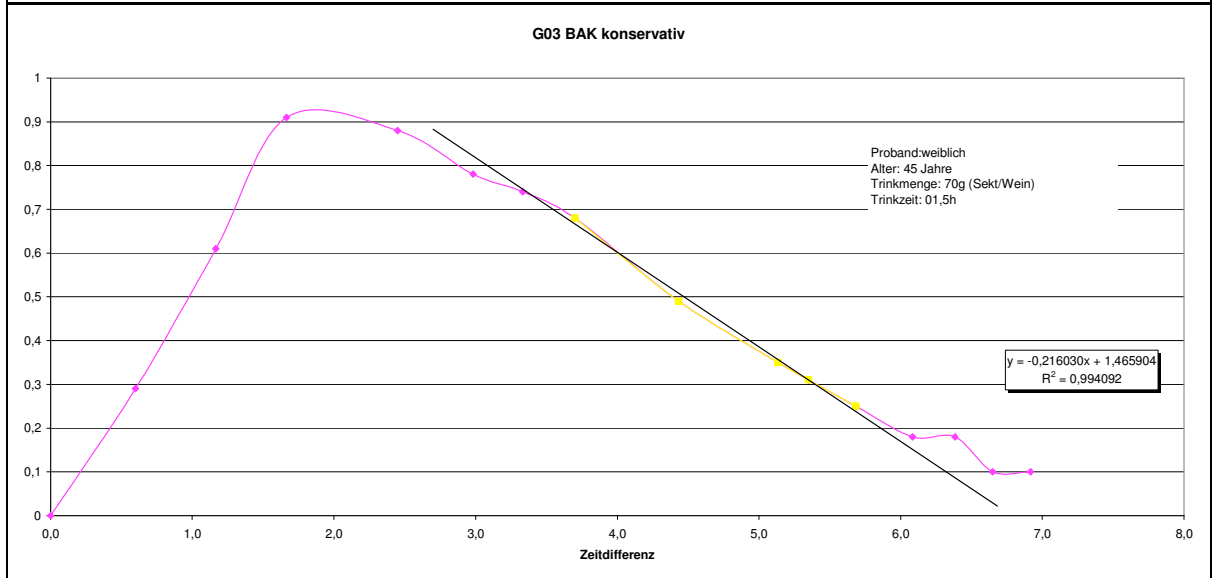
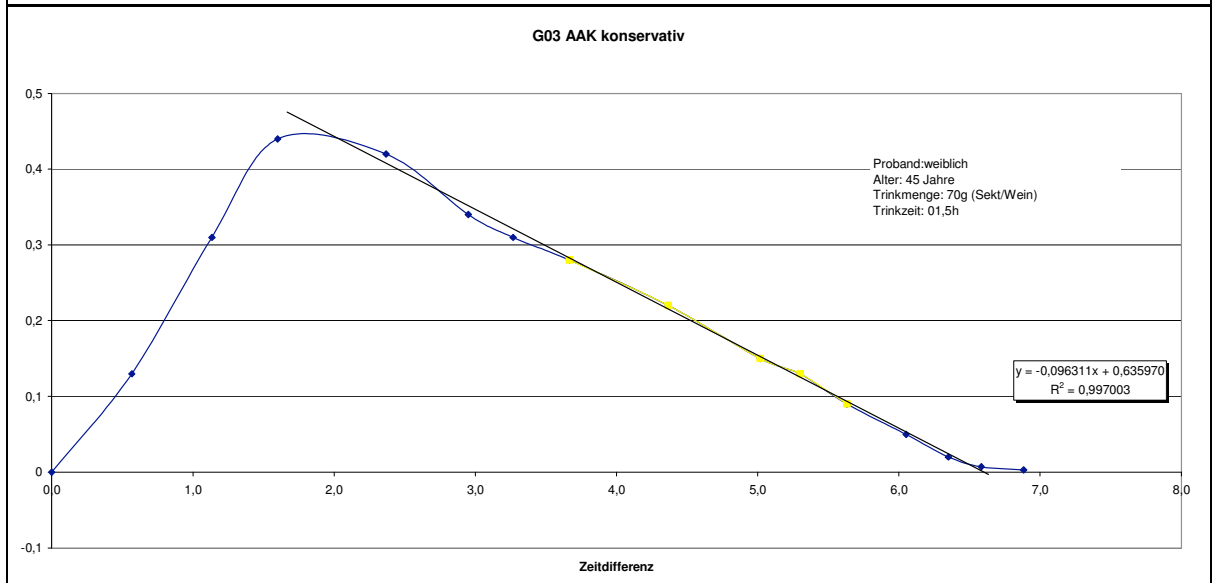
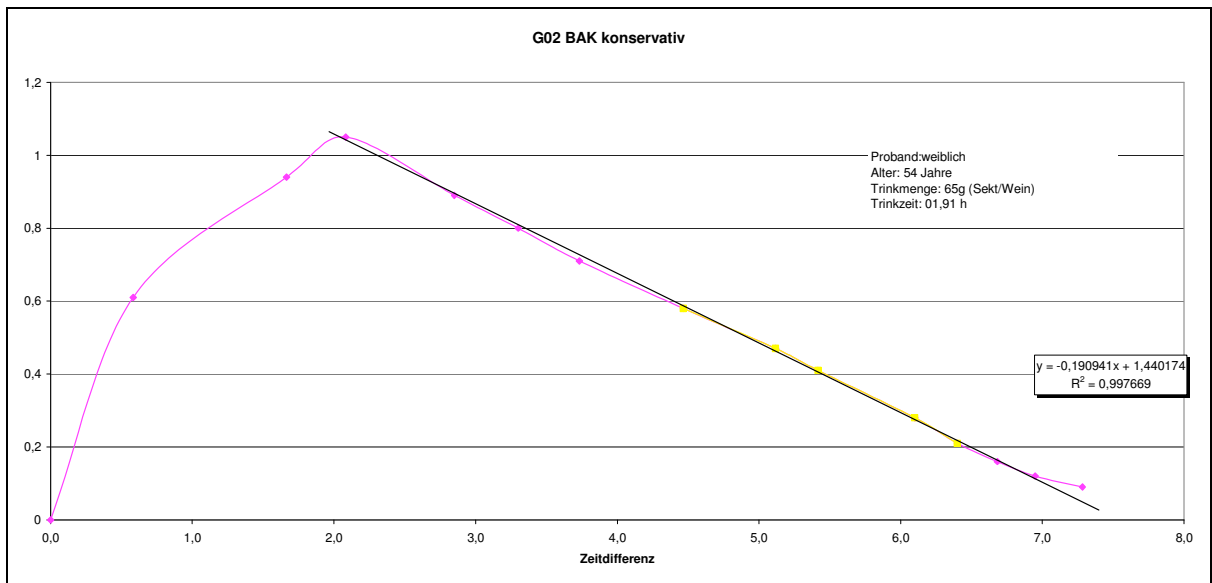


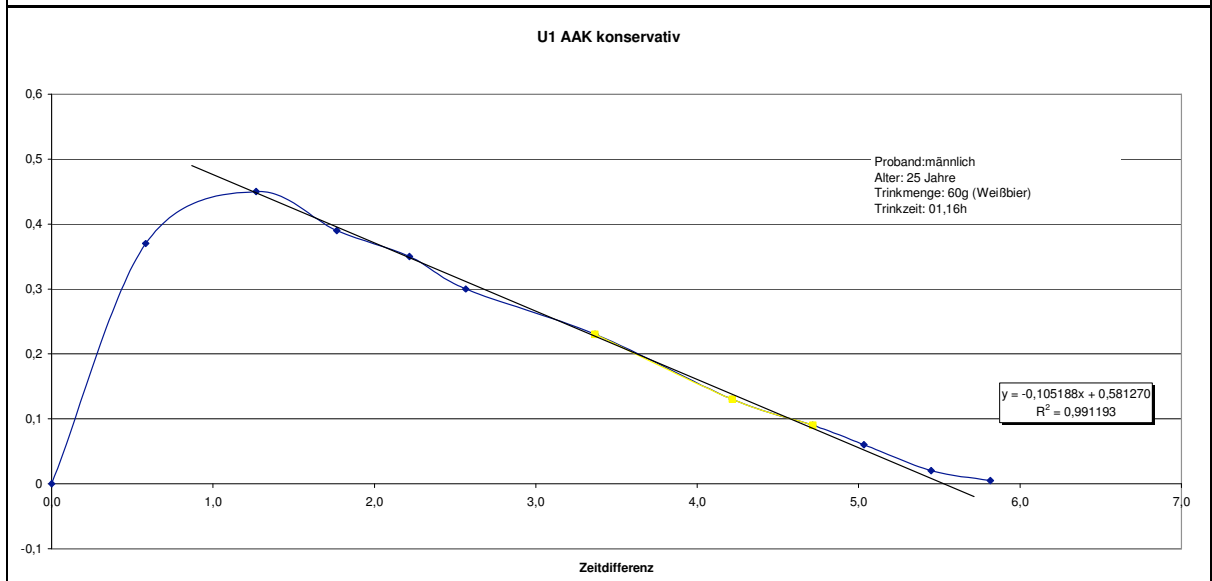
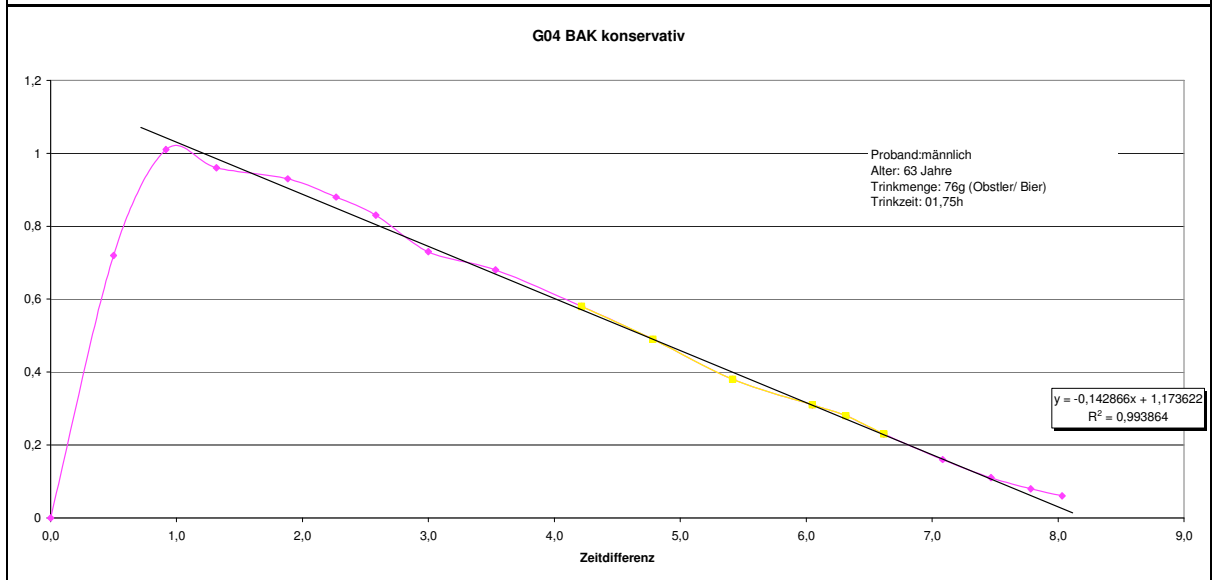
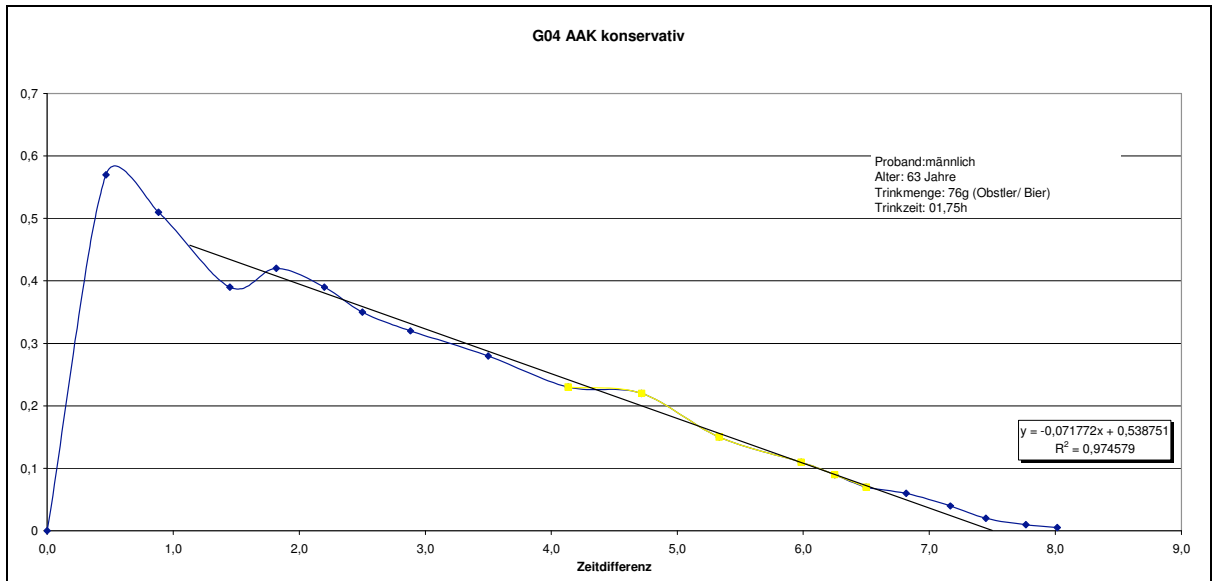


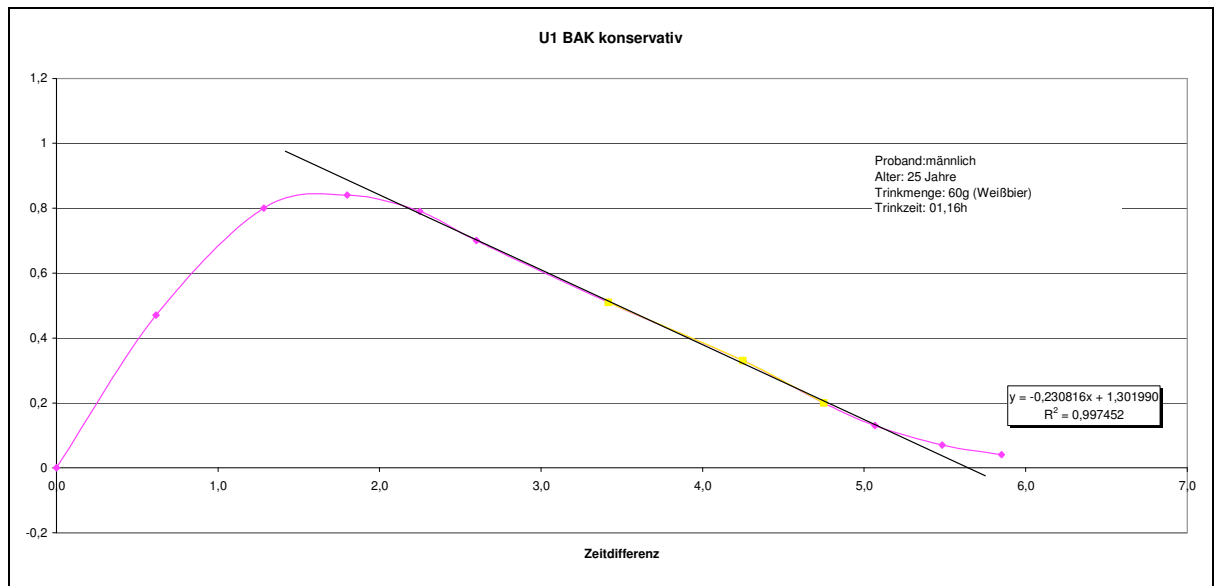




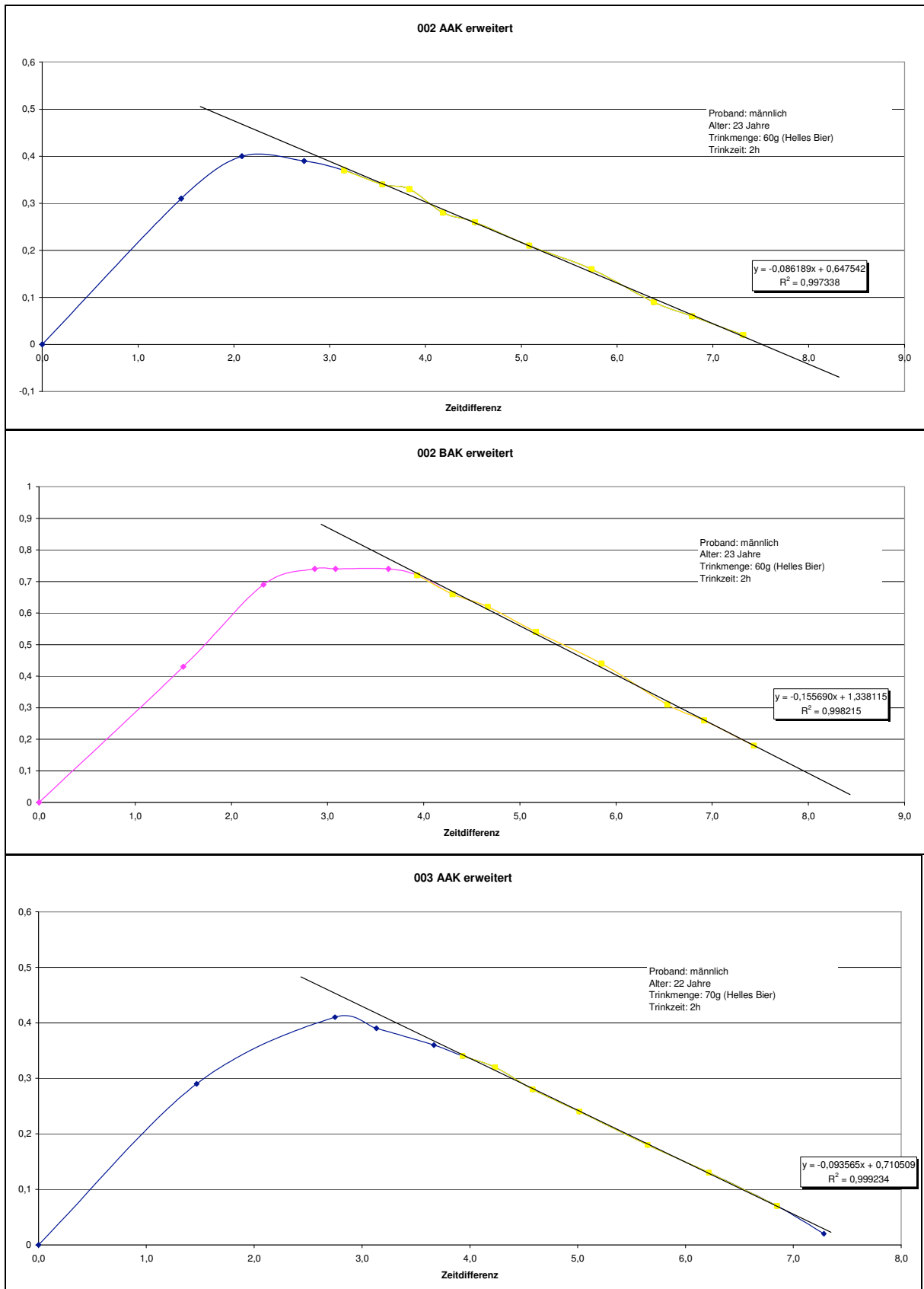


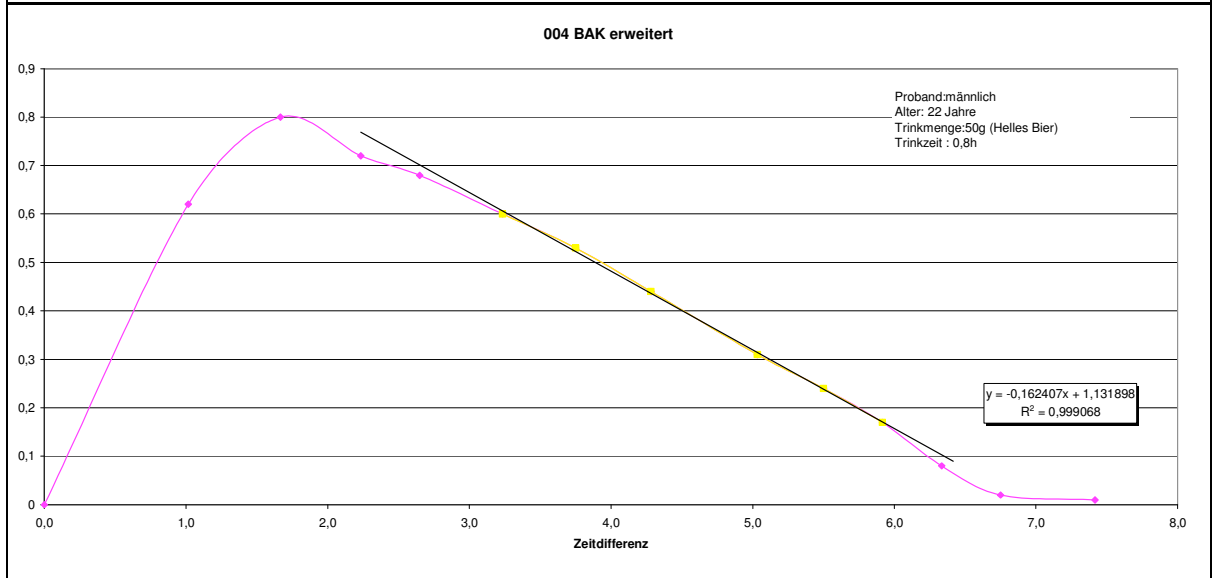
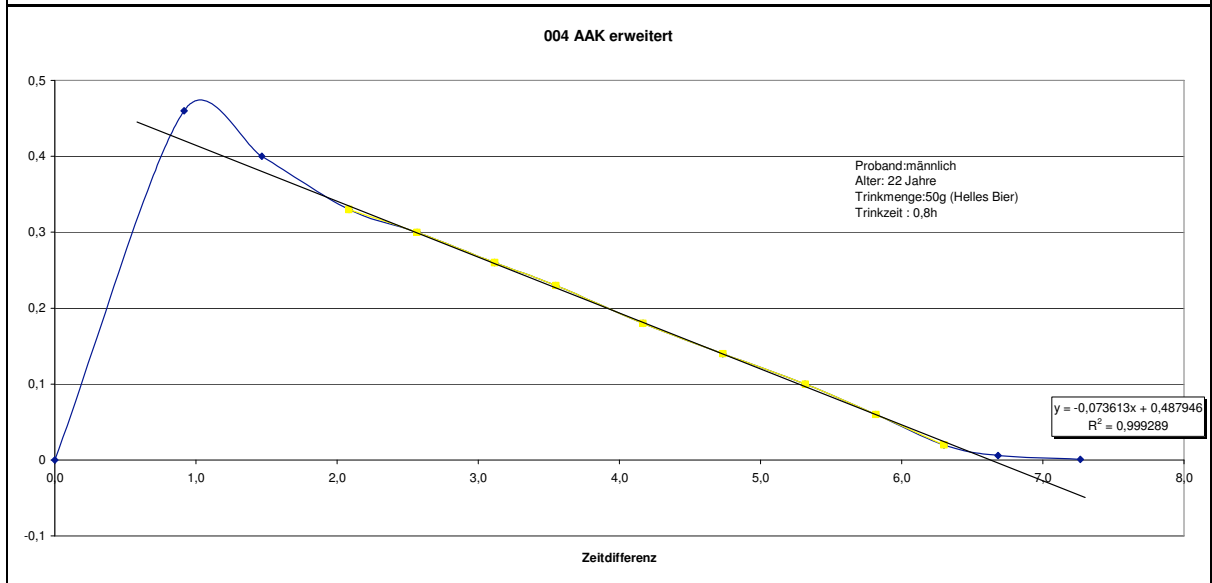
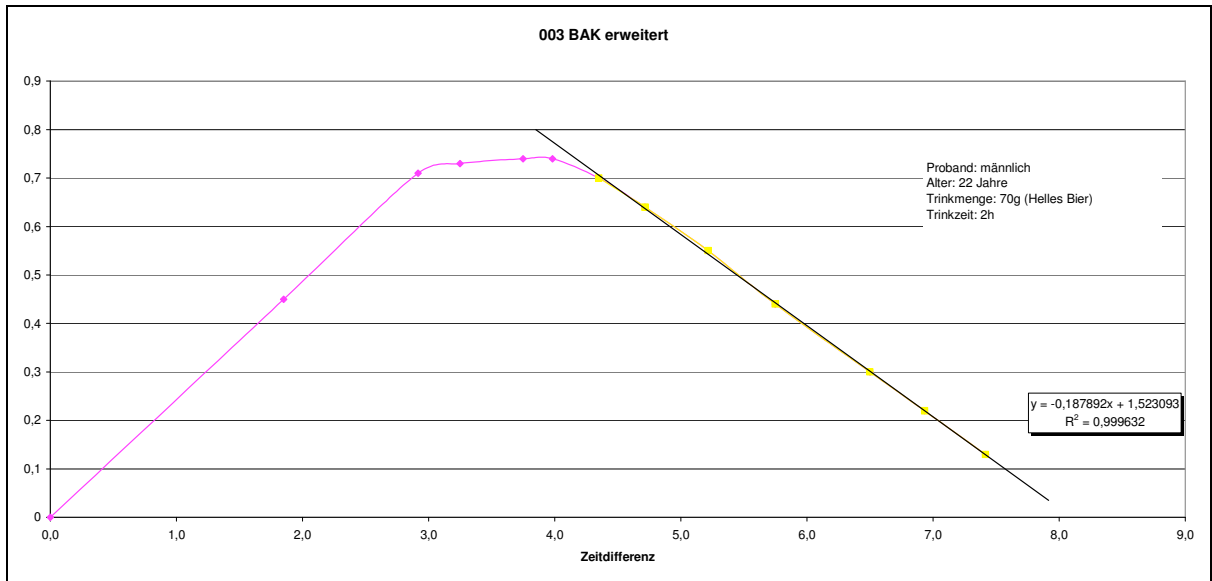


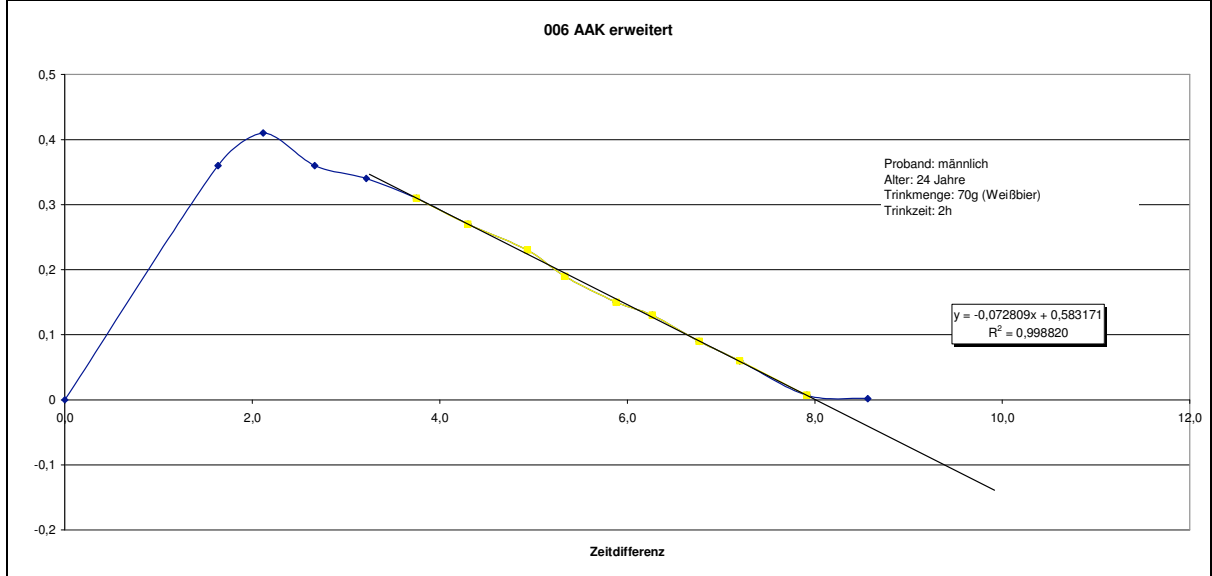
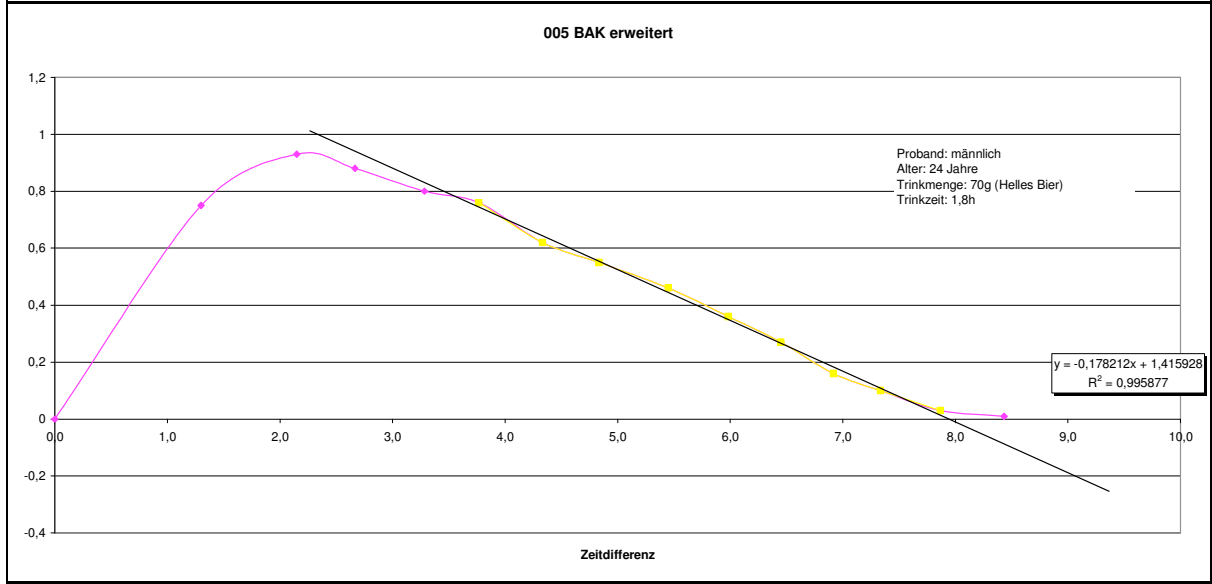
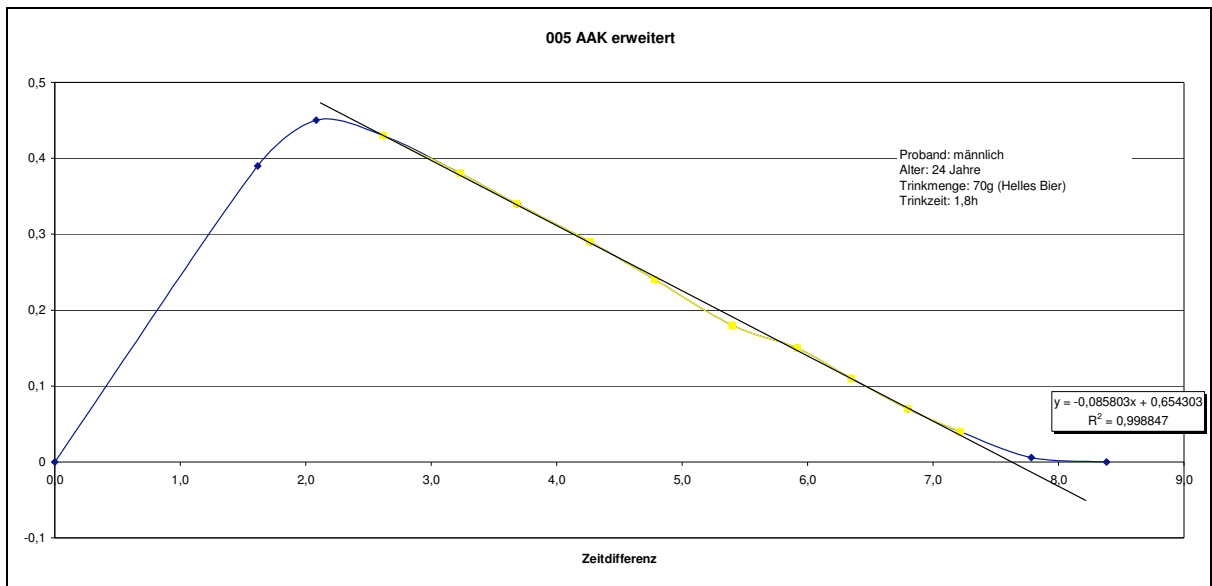


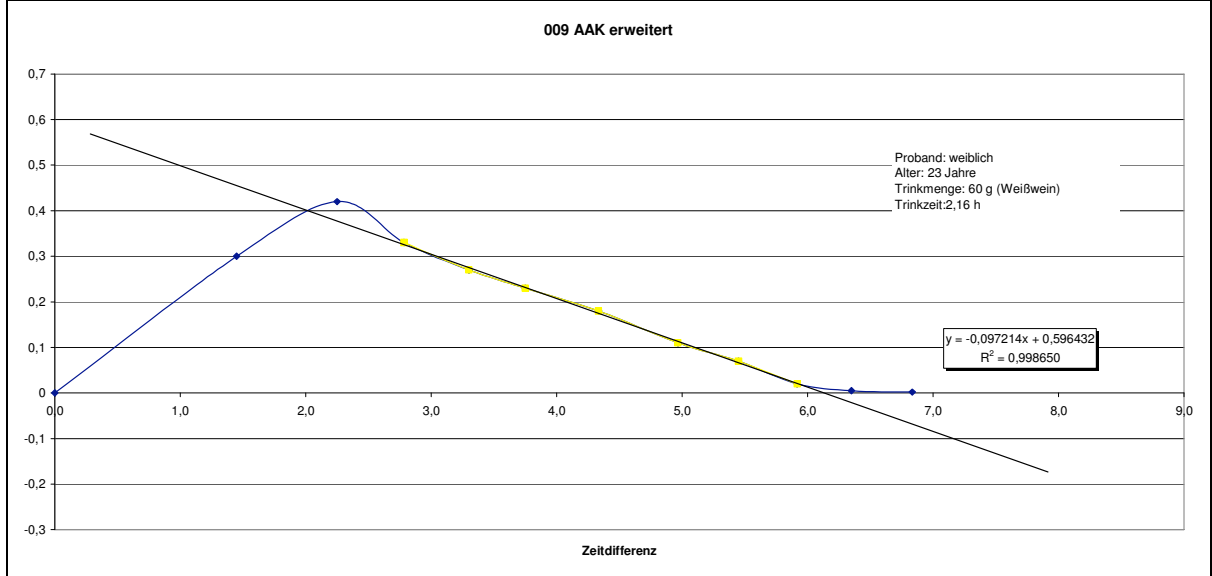
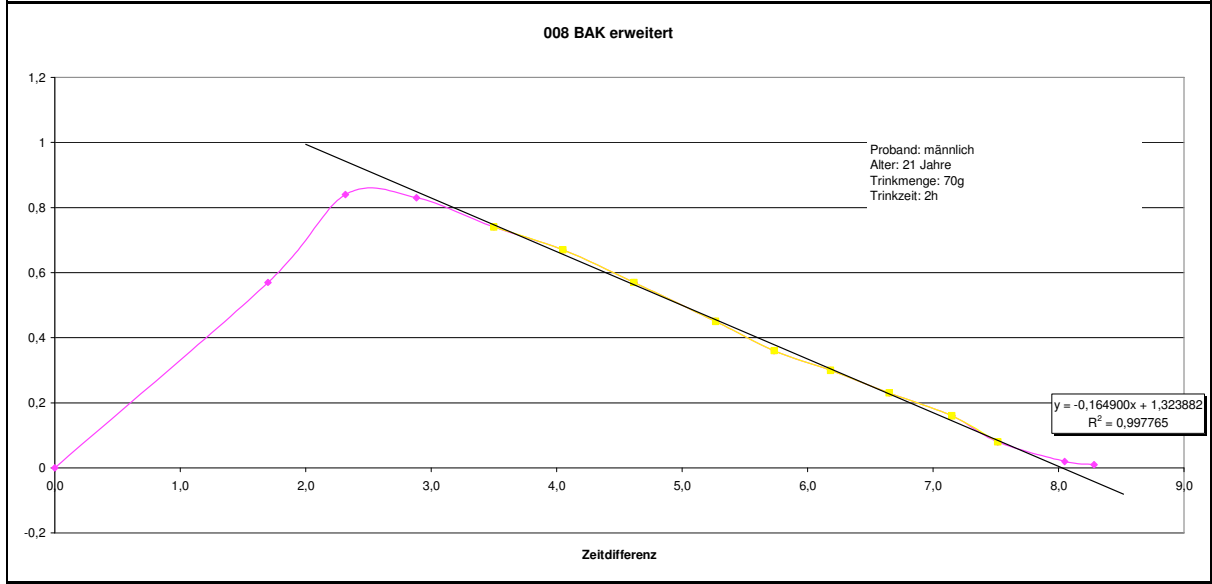
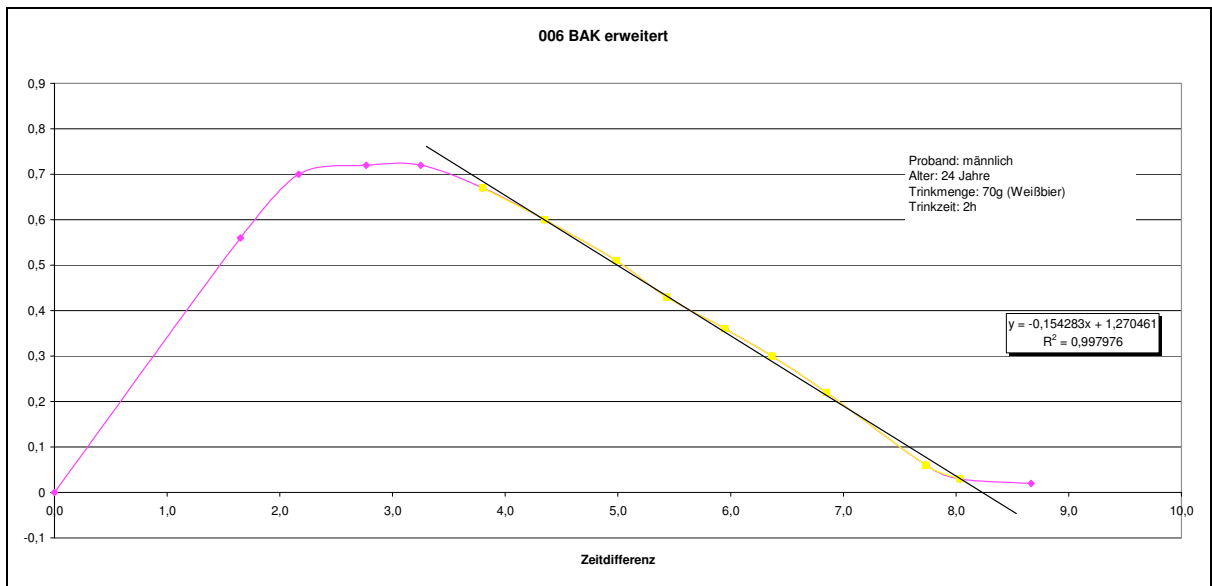


## 8.4 Erweiterte Blutalkohol- und Atemalkoholkurven der 100 Probanden

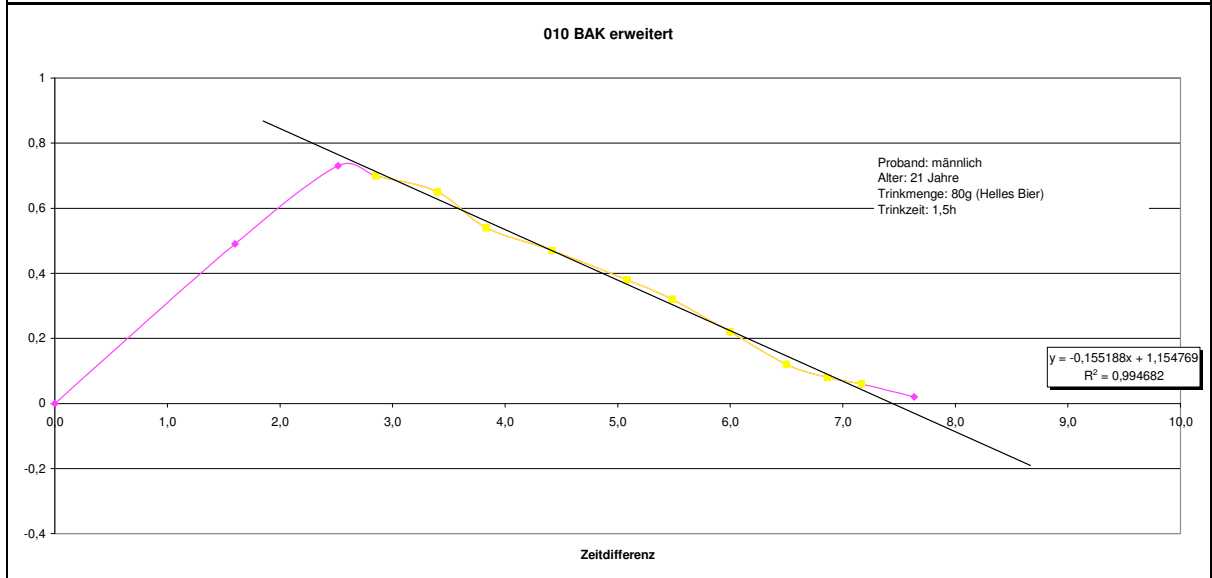
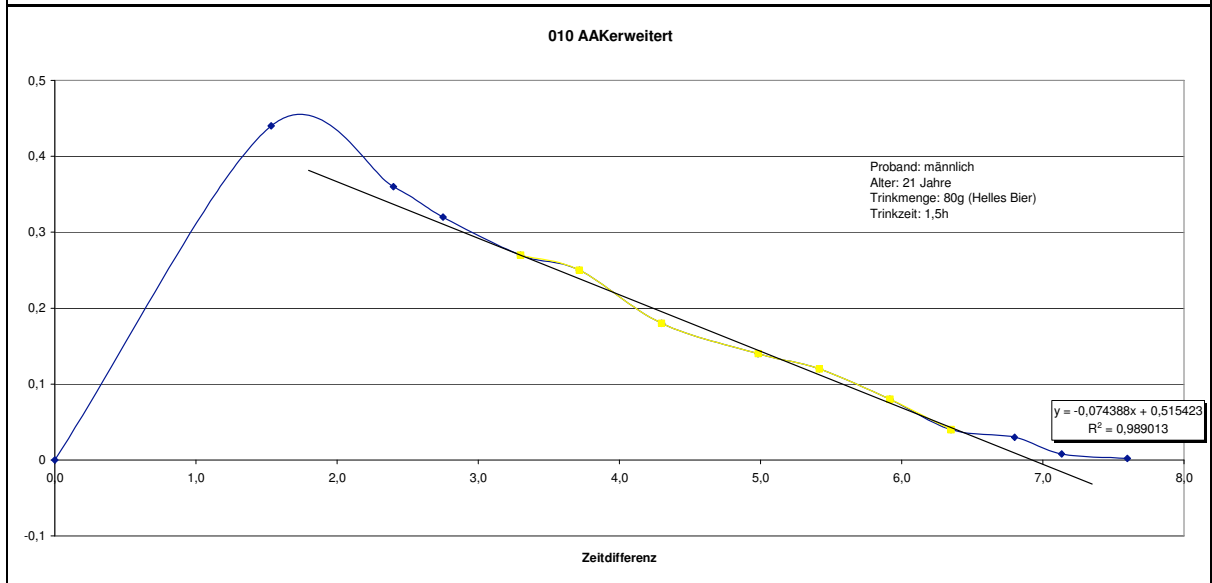
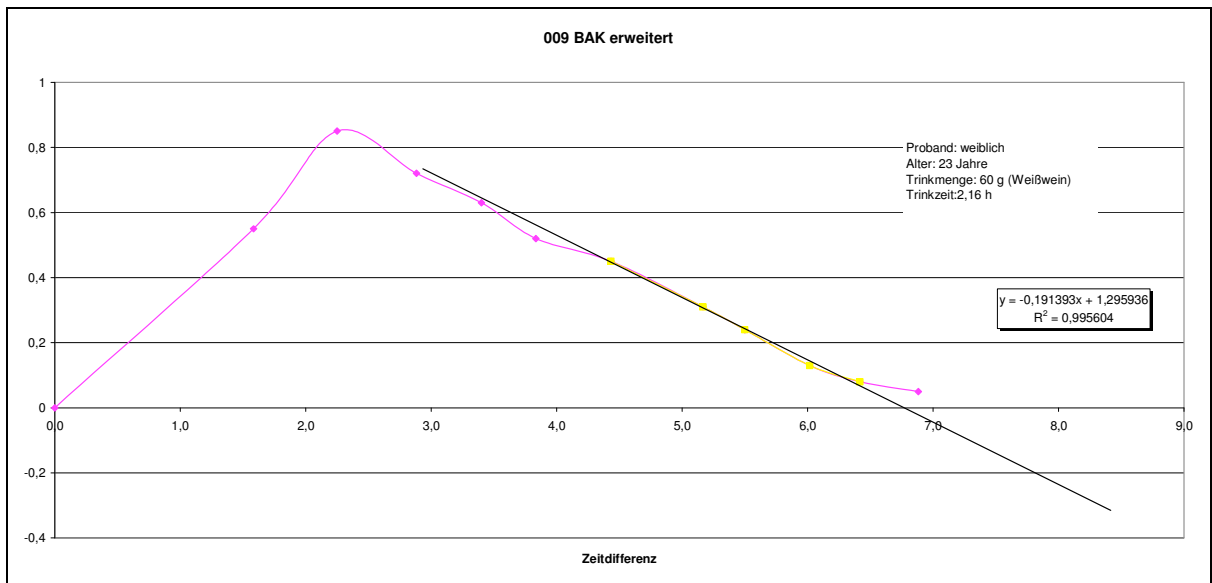


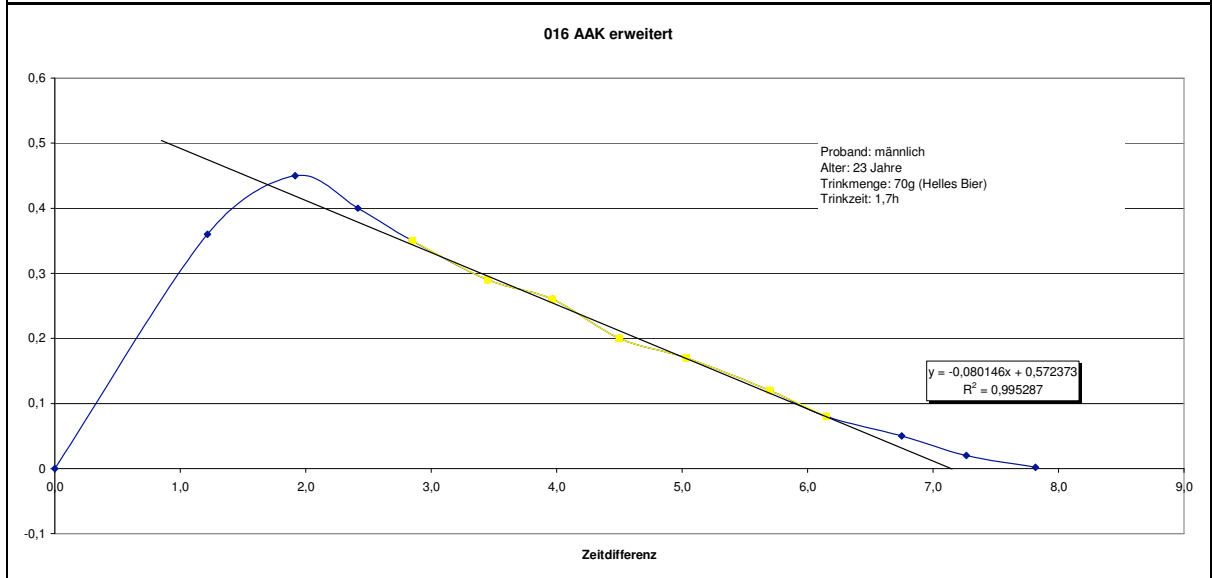
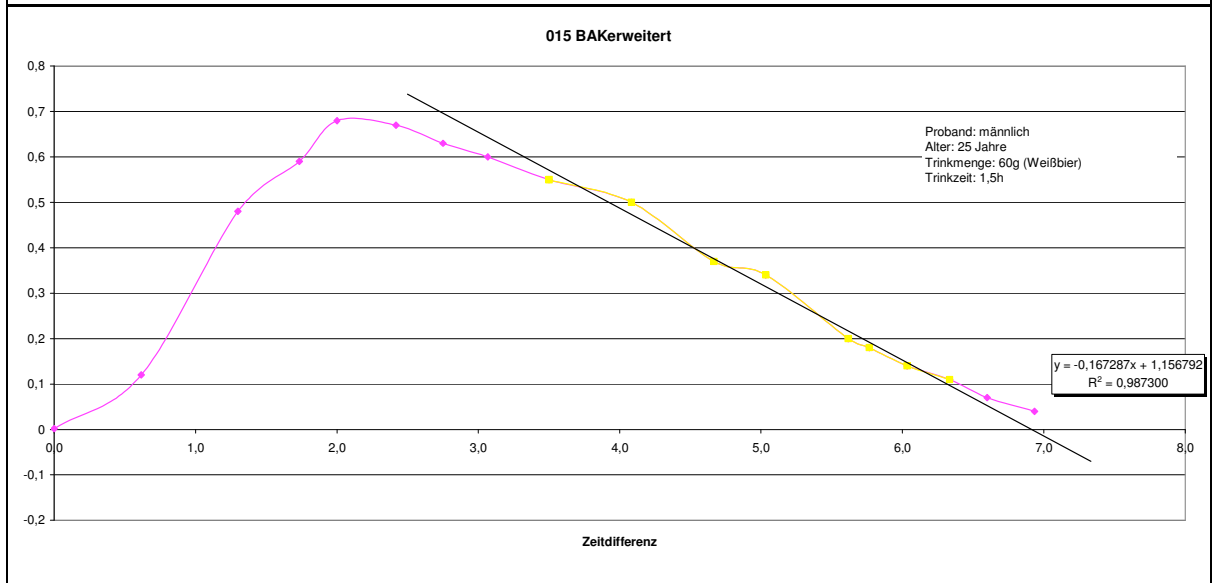
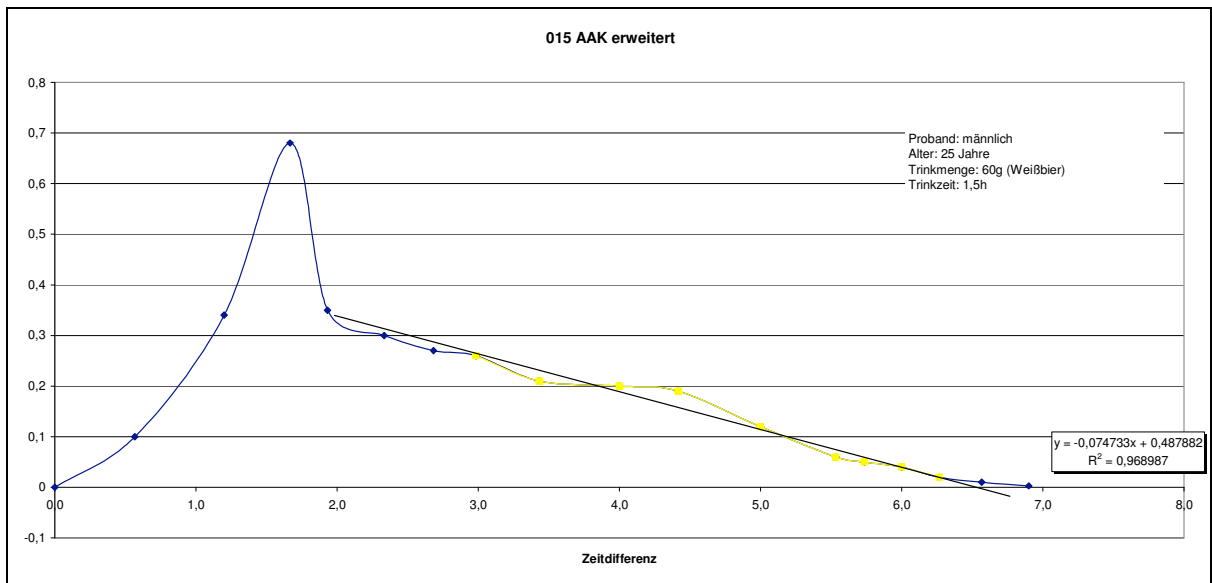


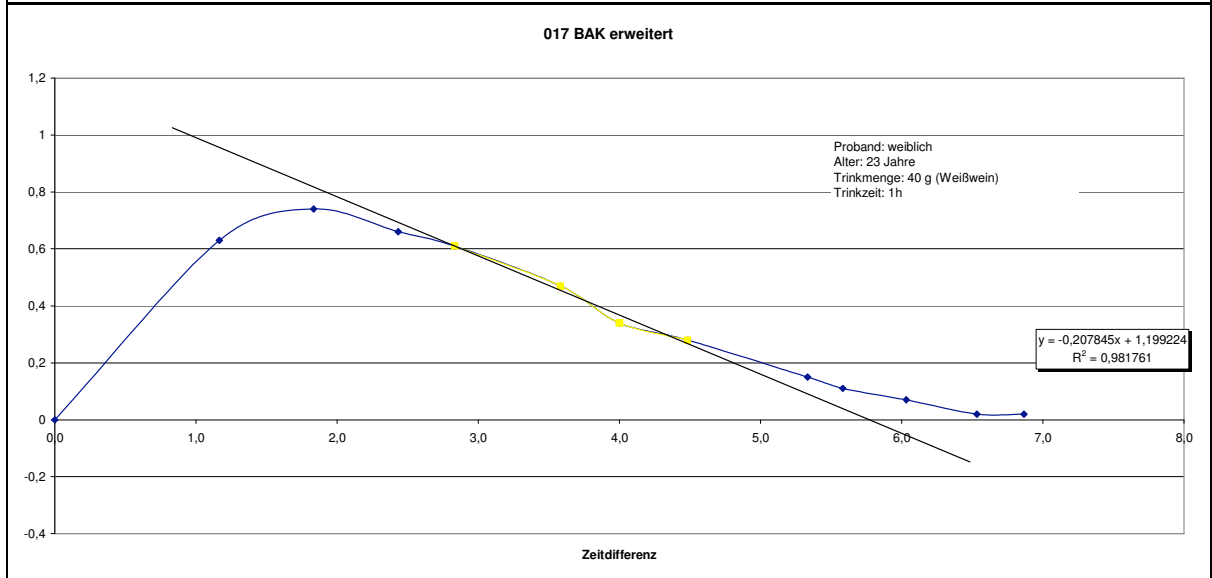
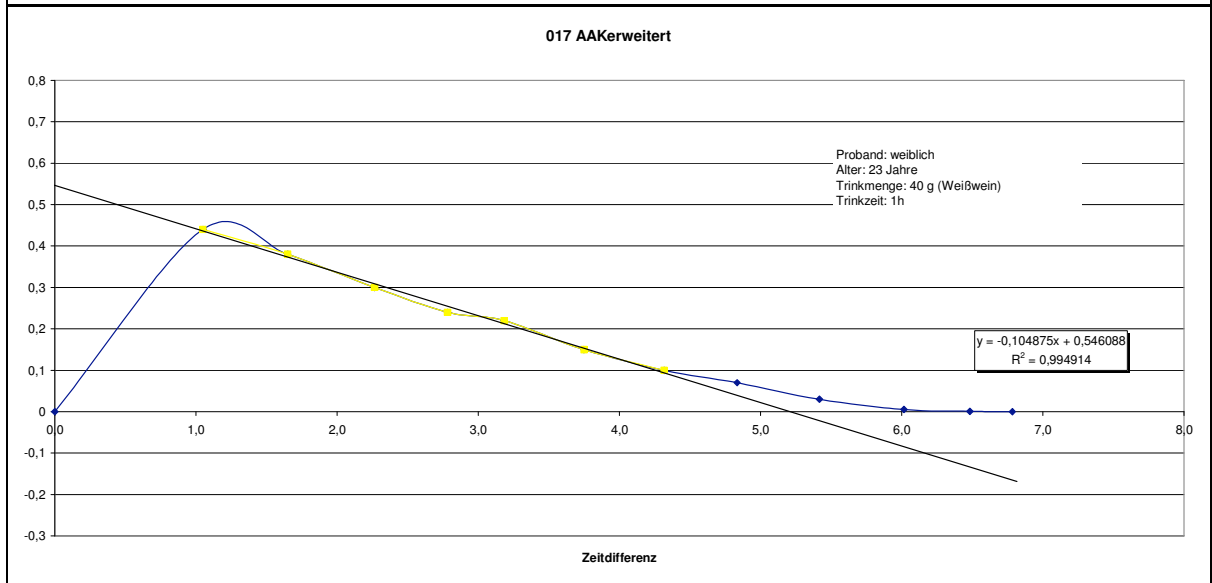
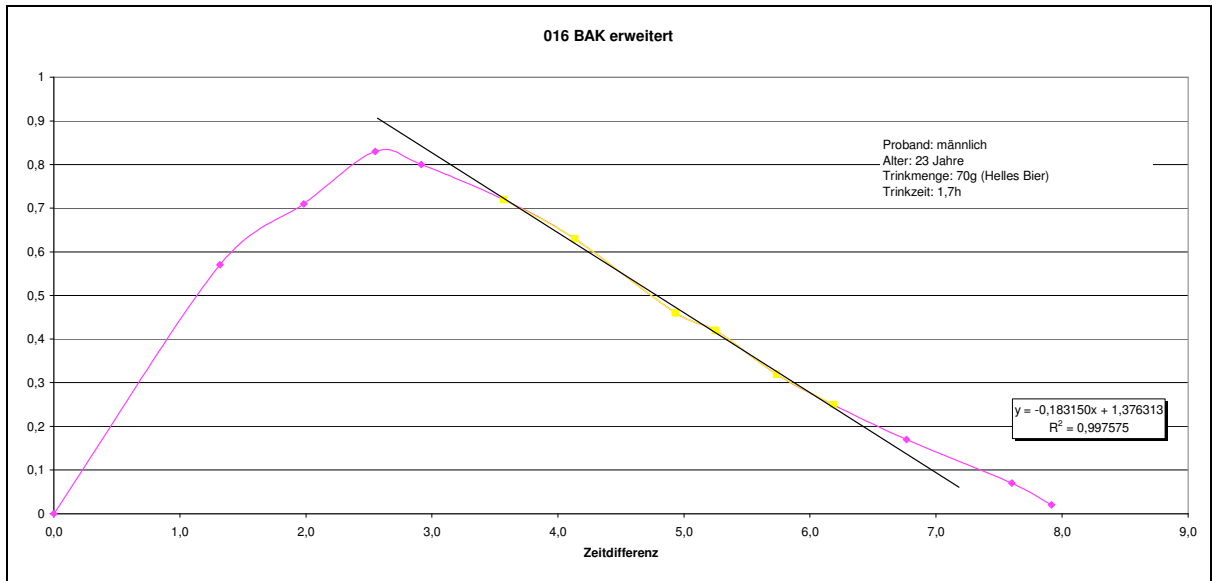


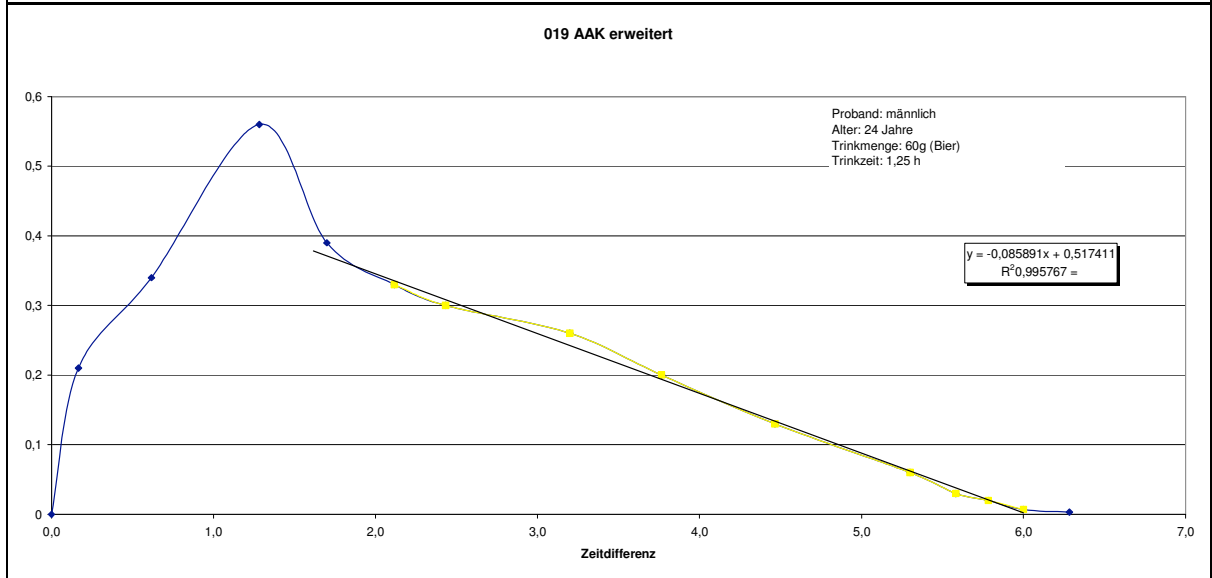
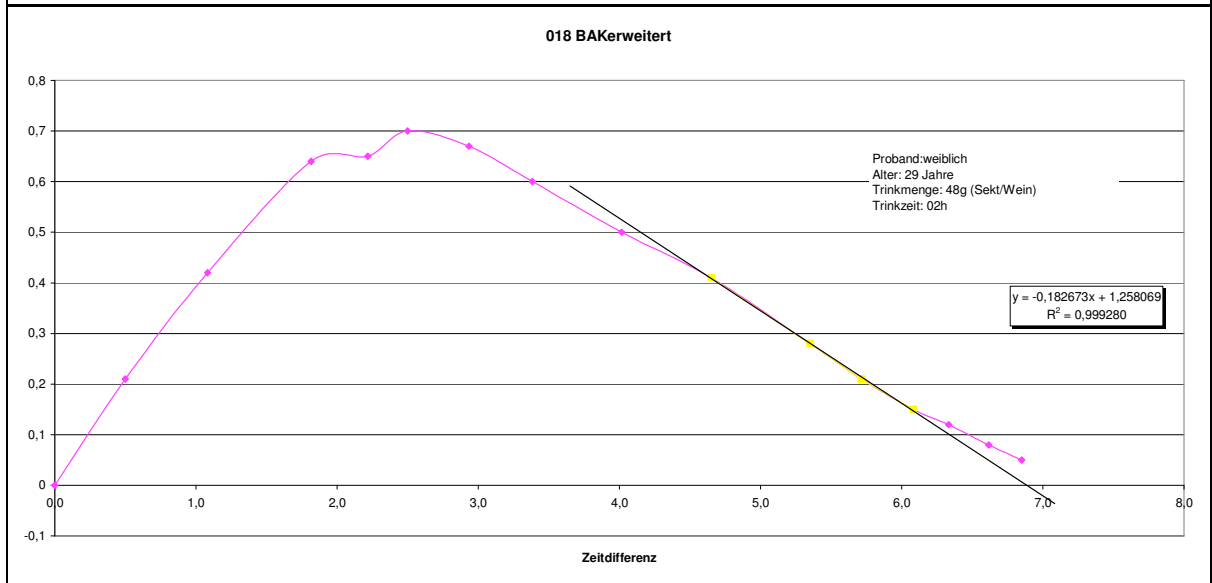
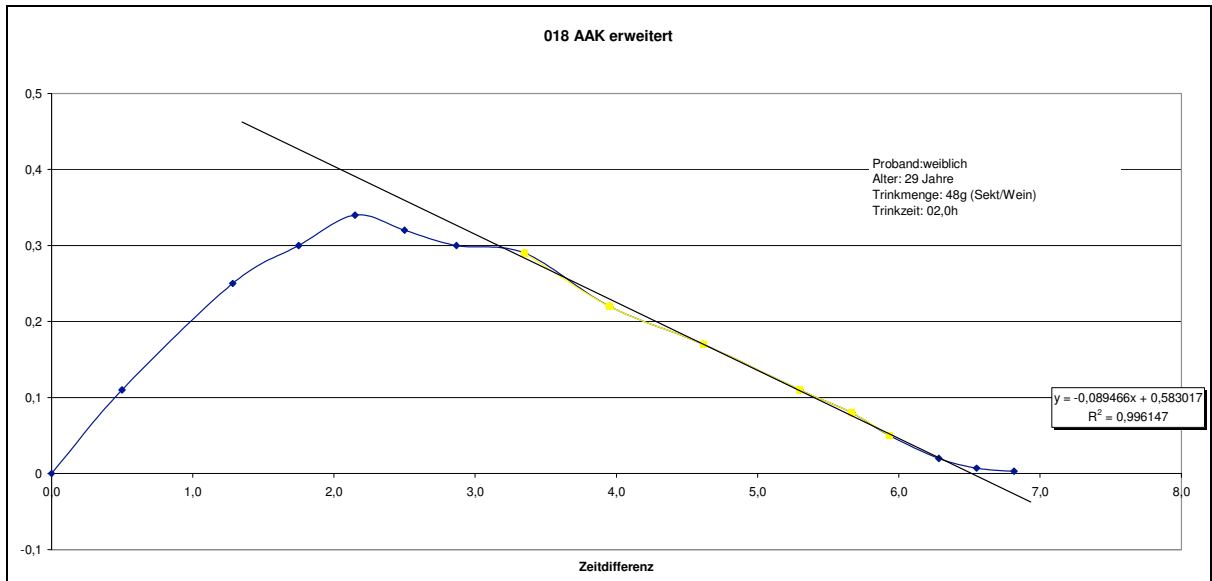


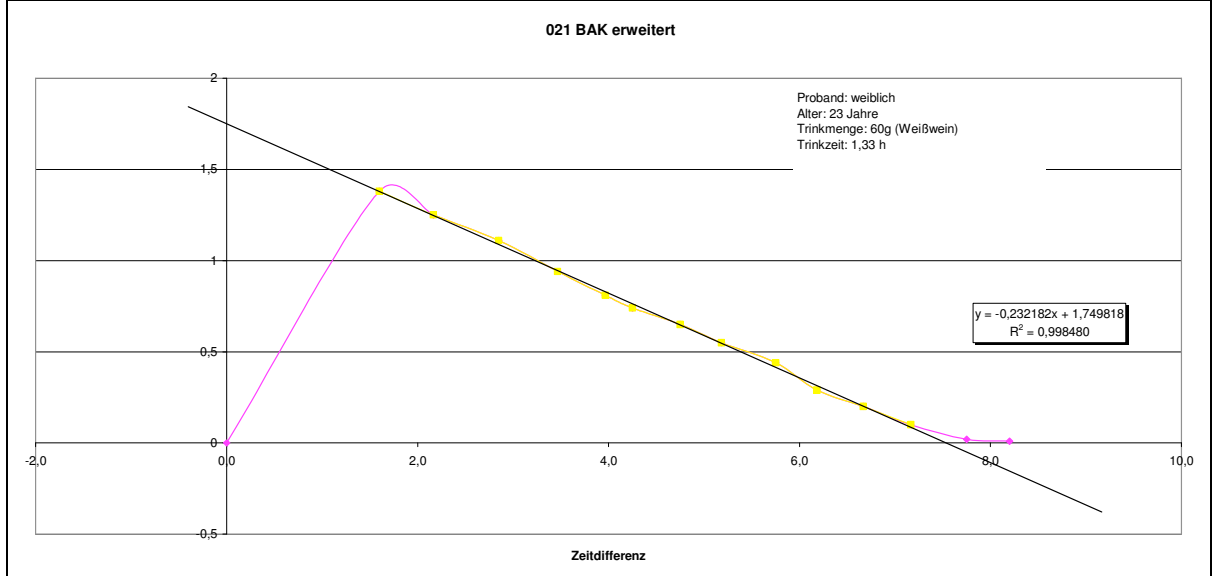
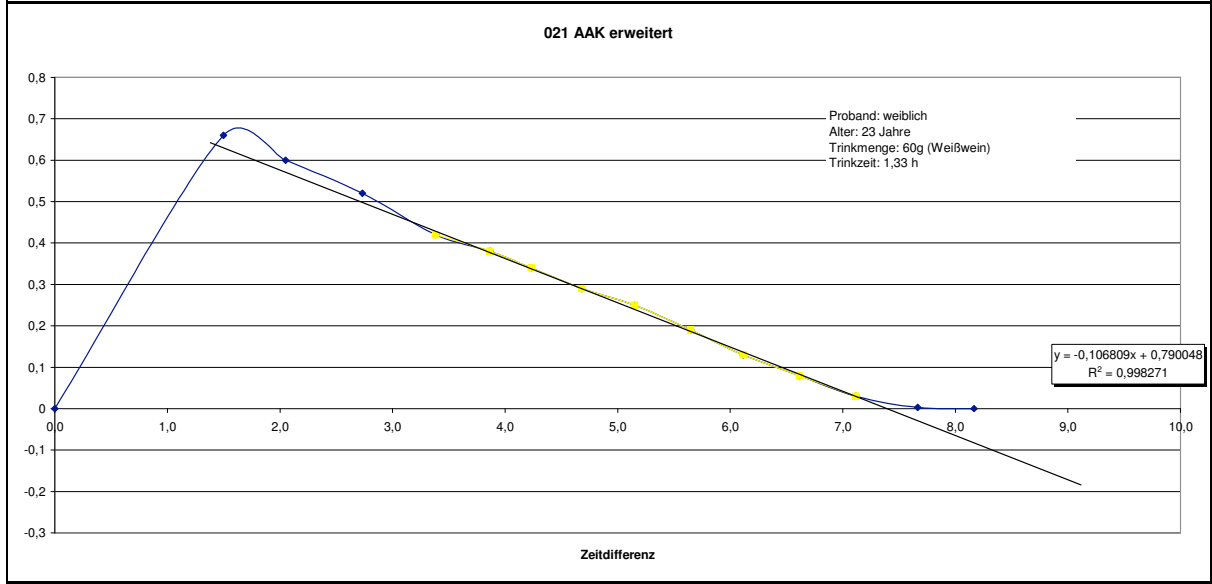
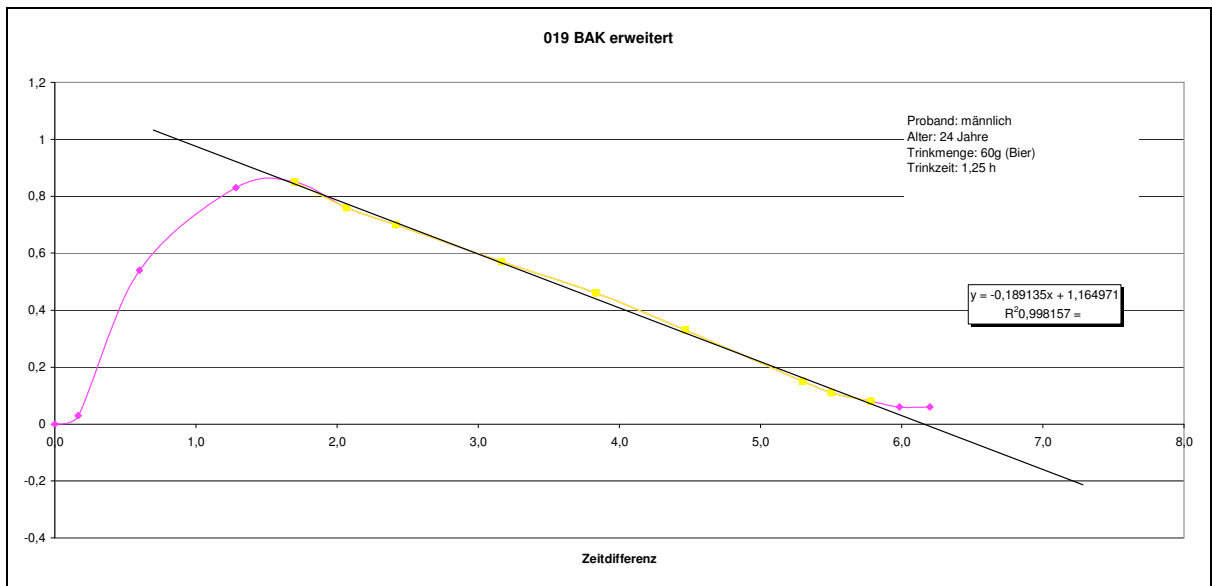


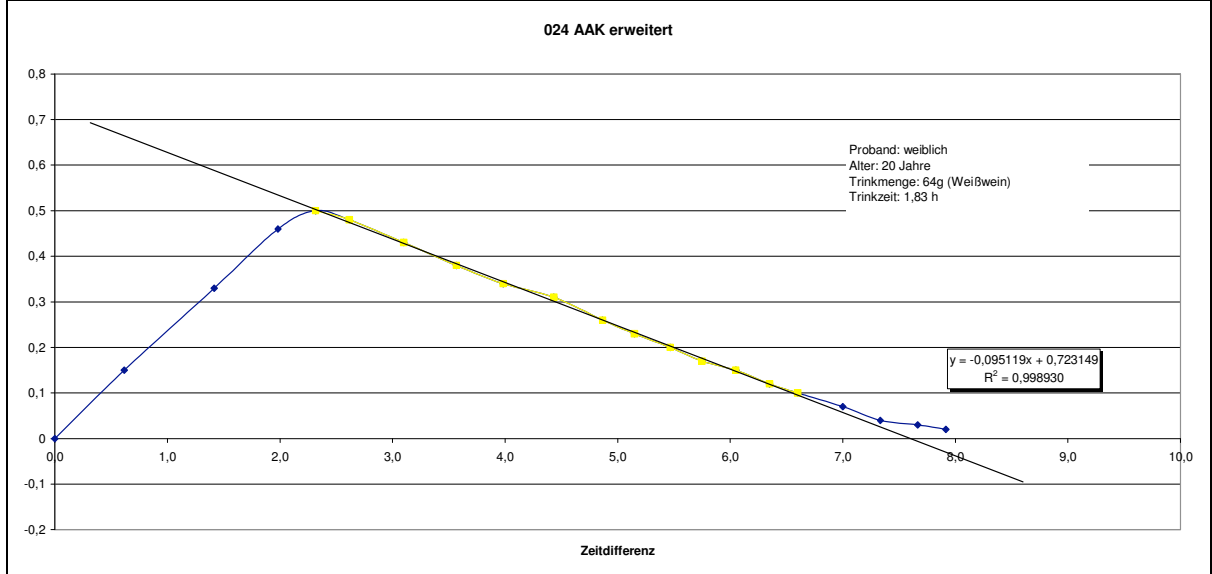
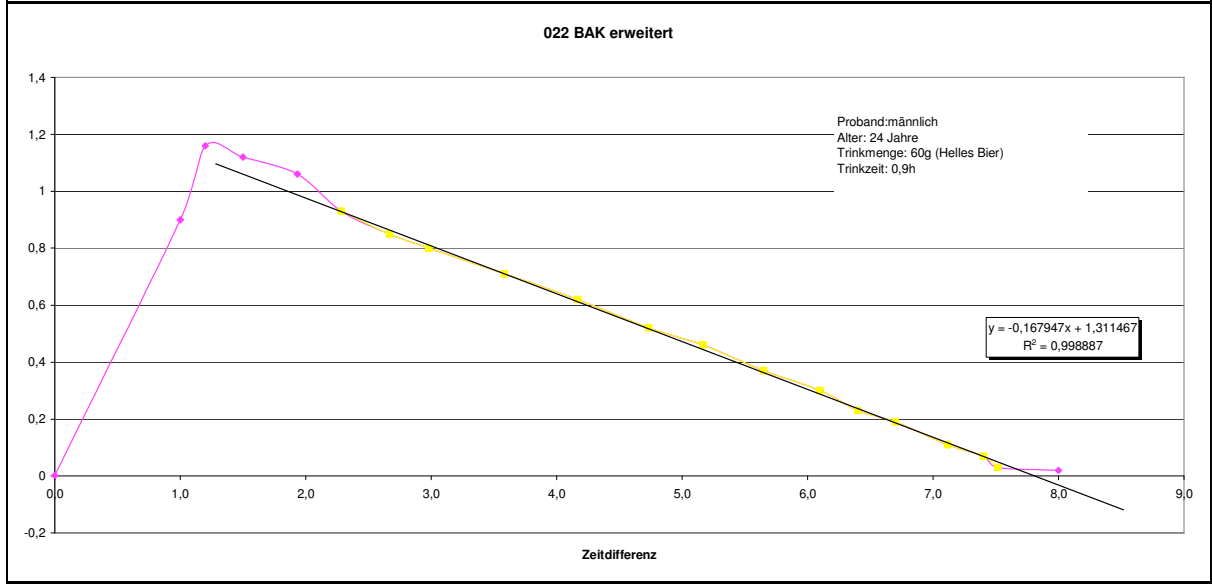
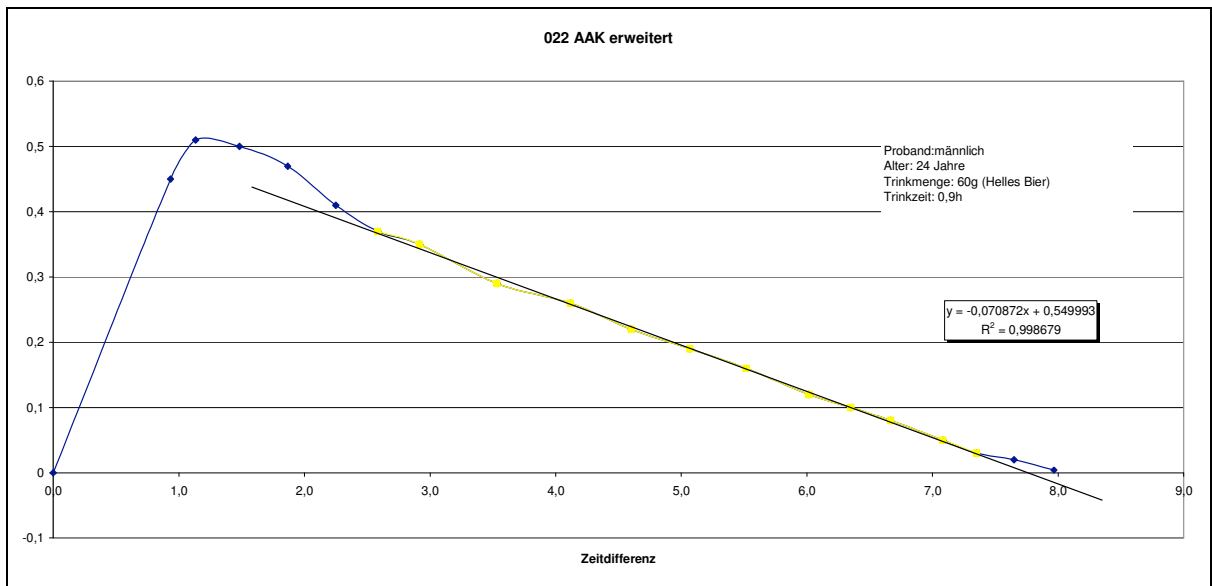


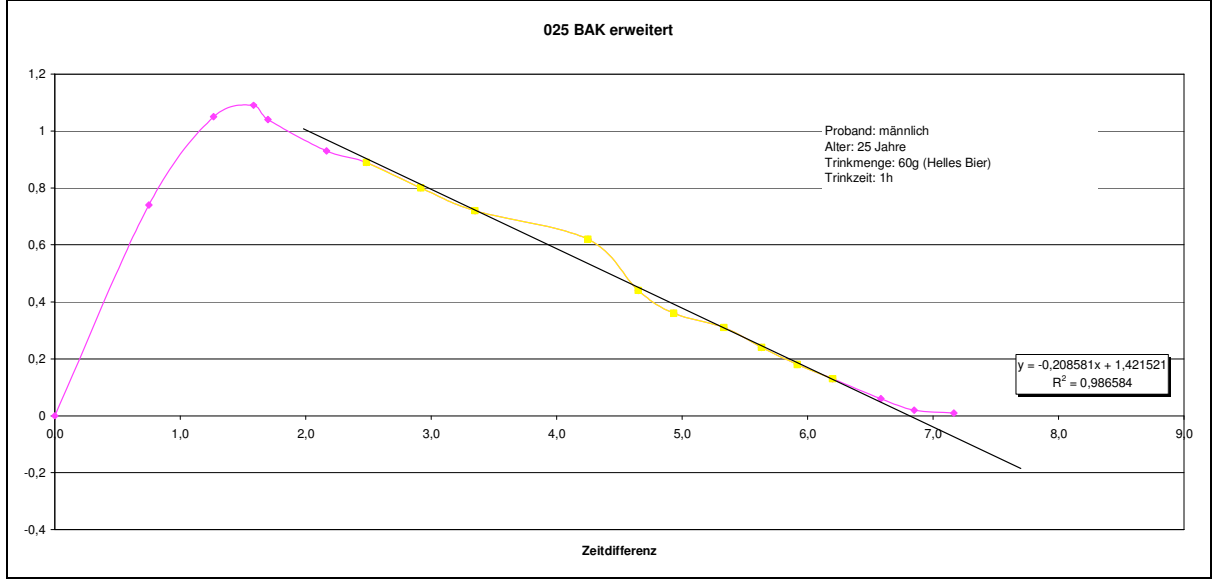
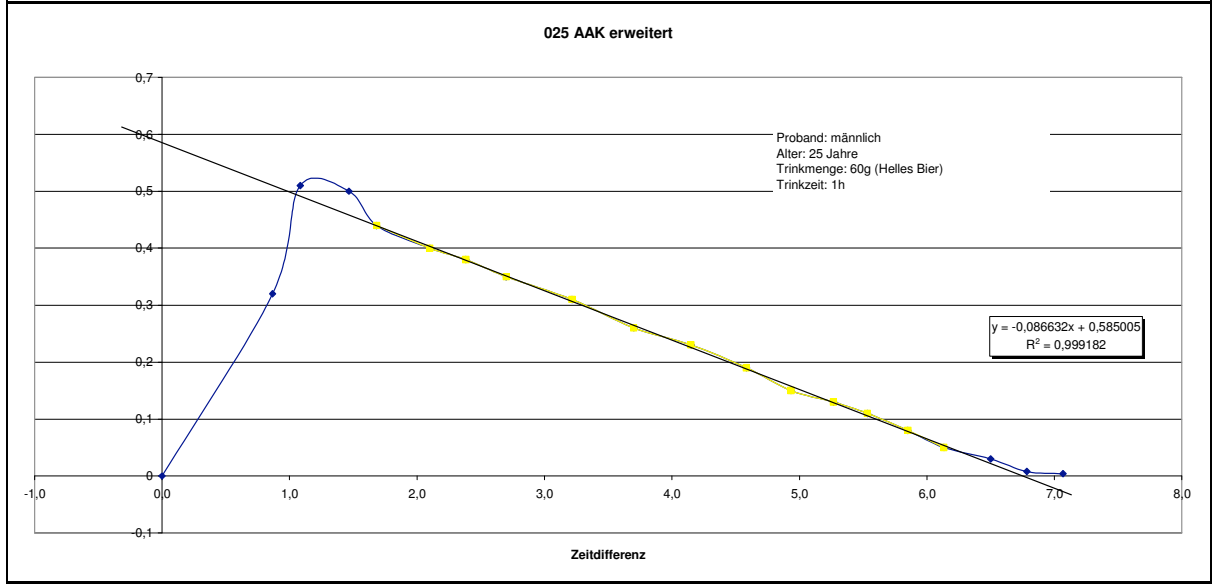
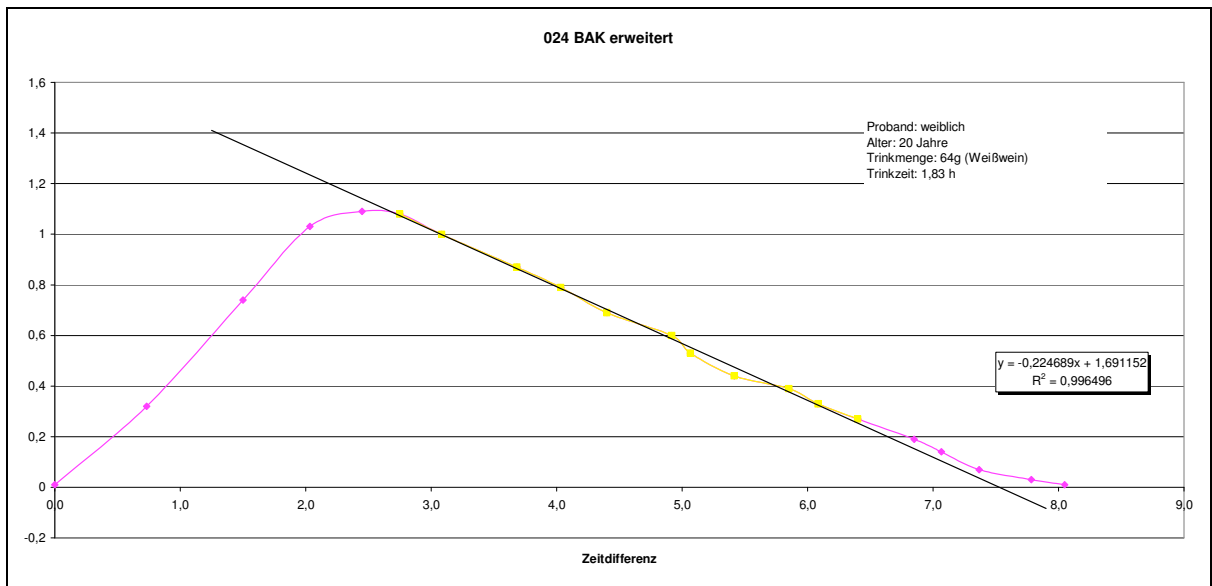


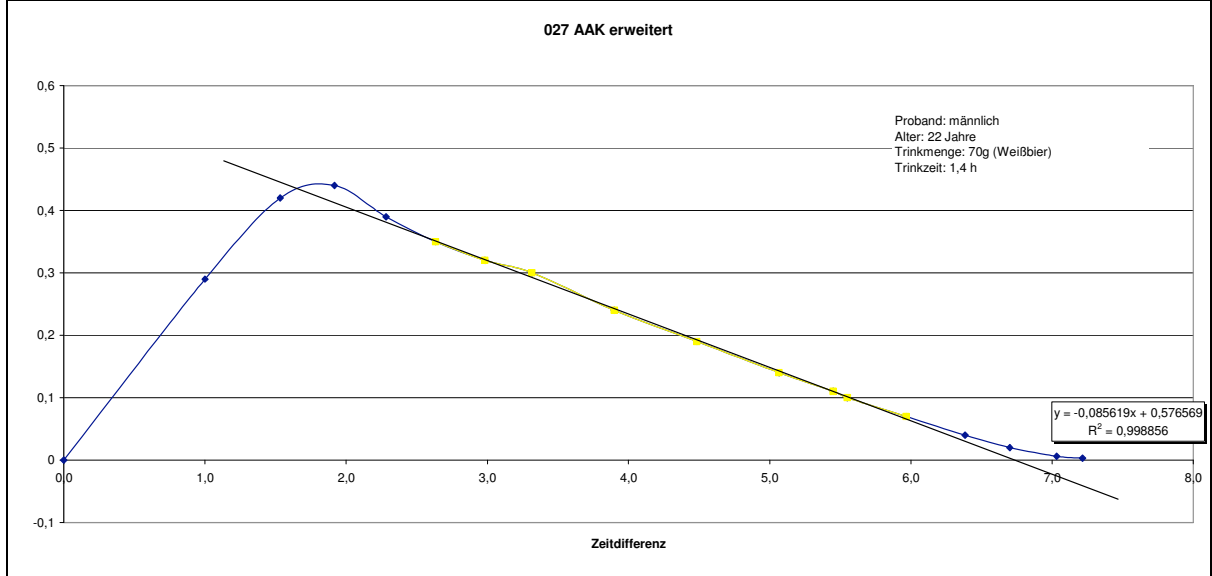
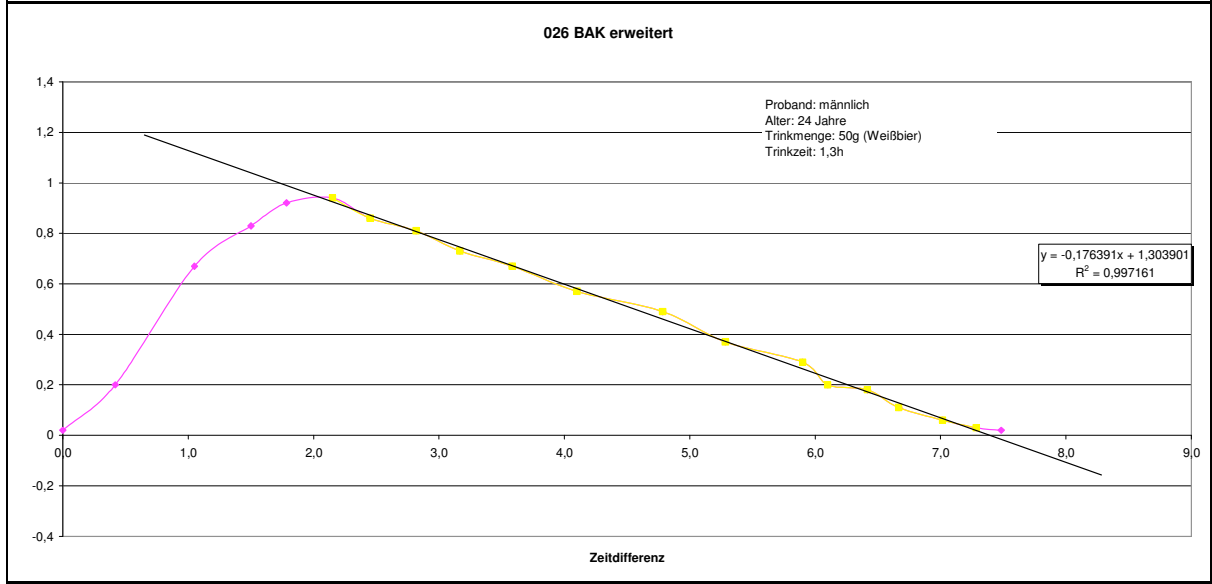
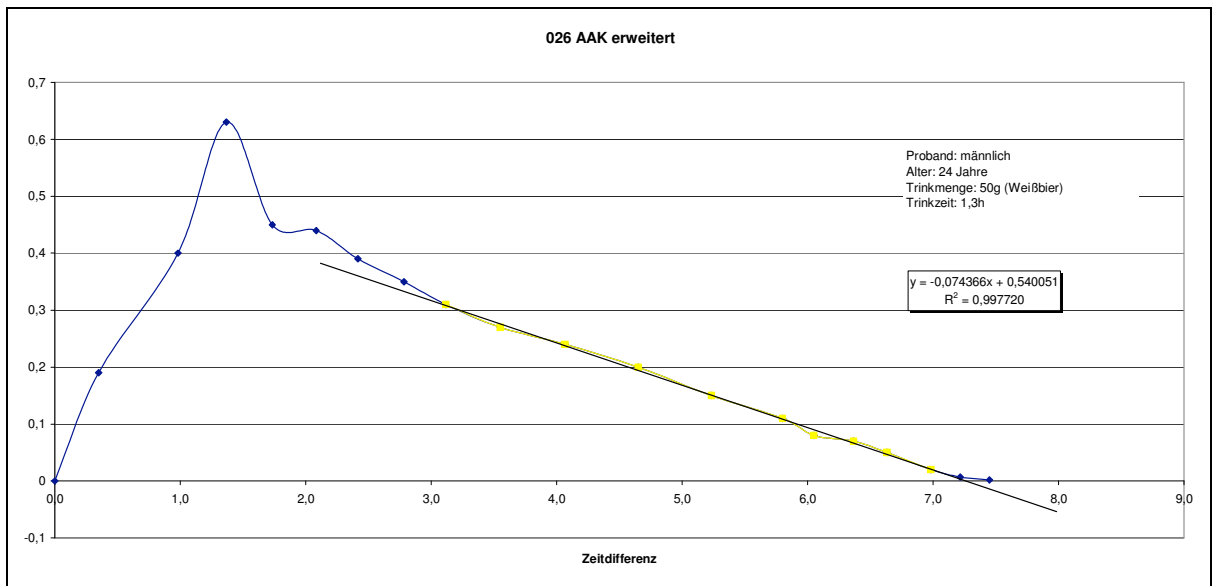




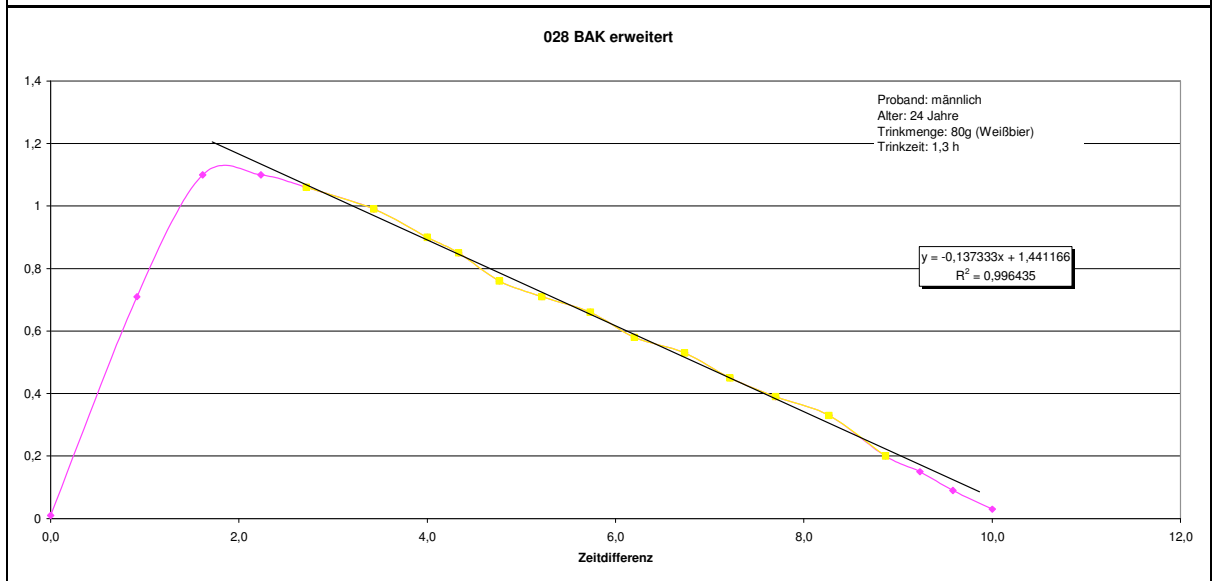
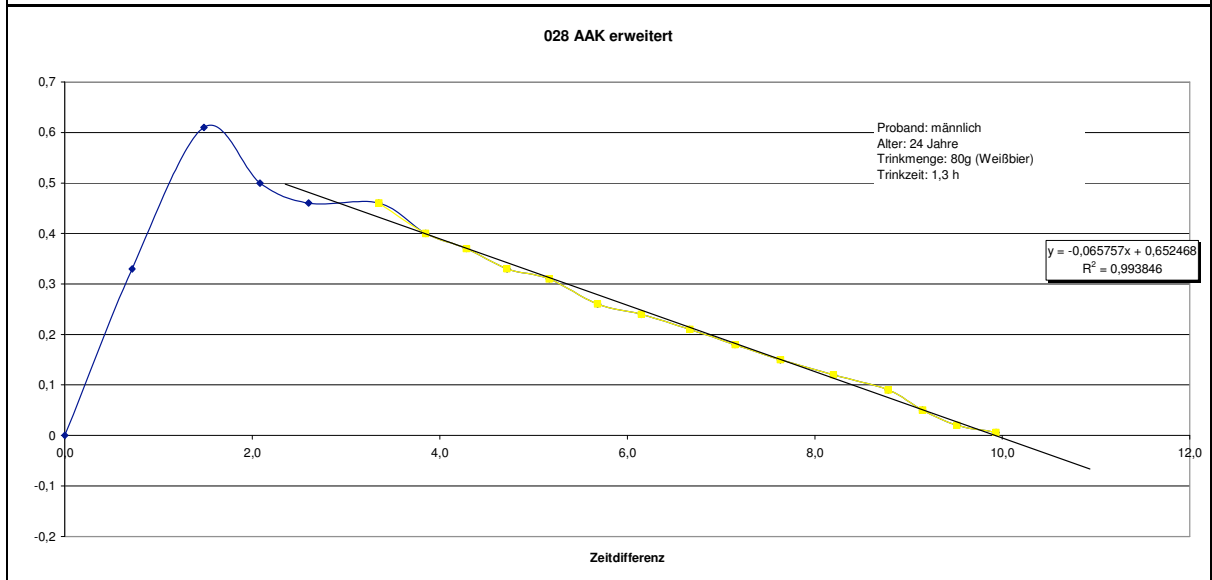
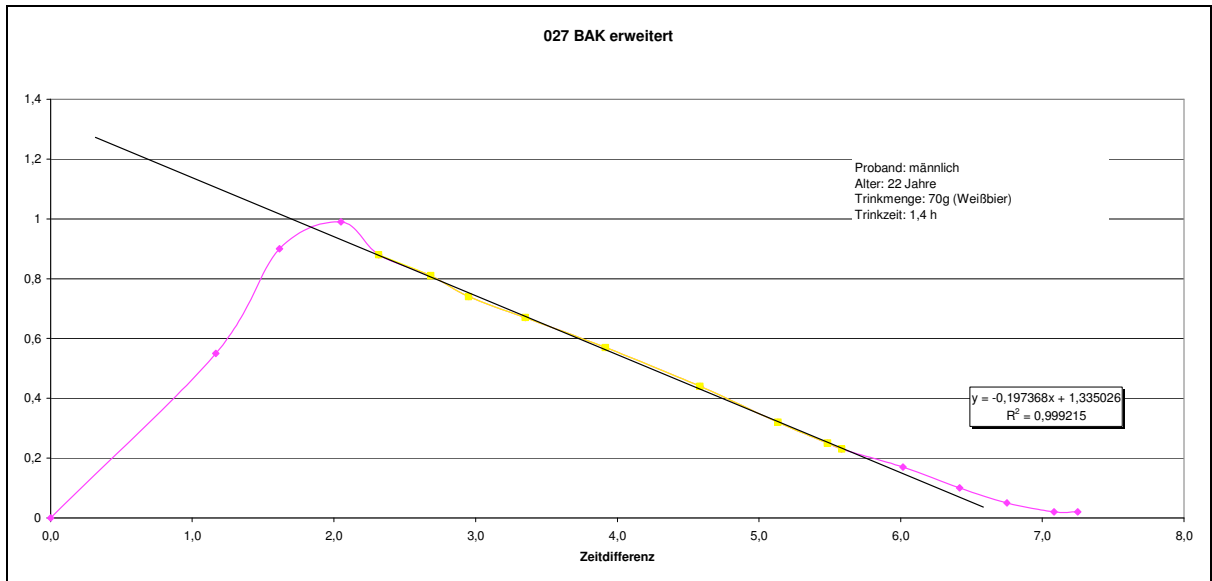


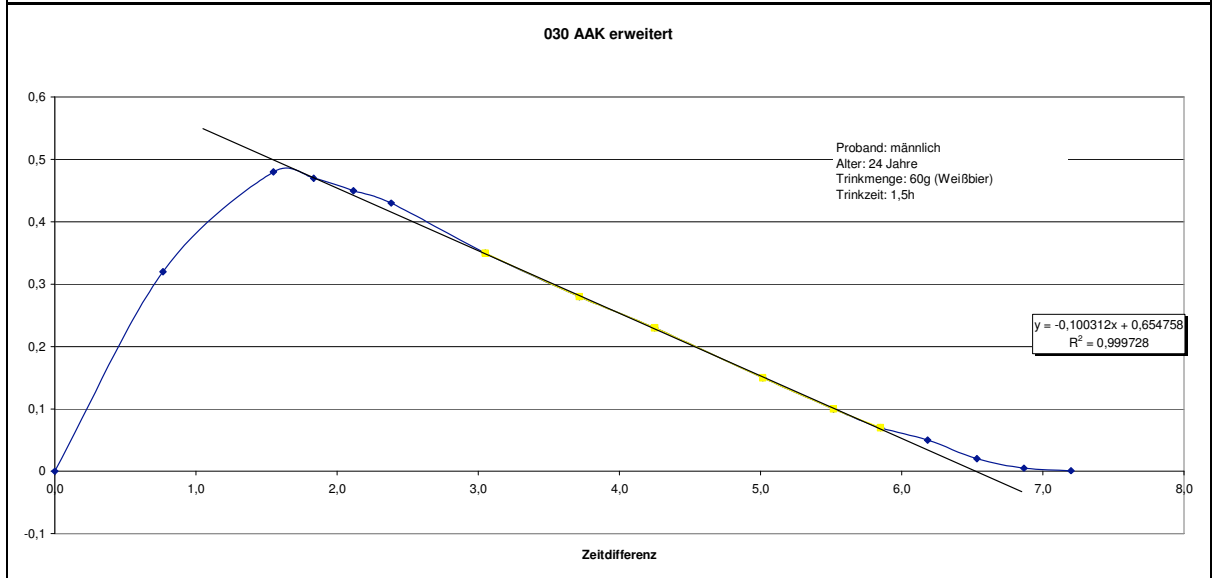
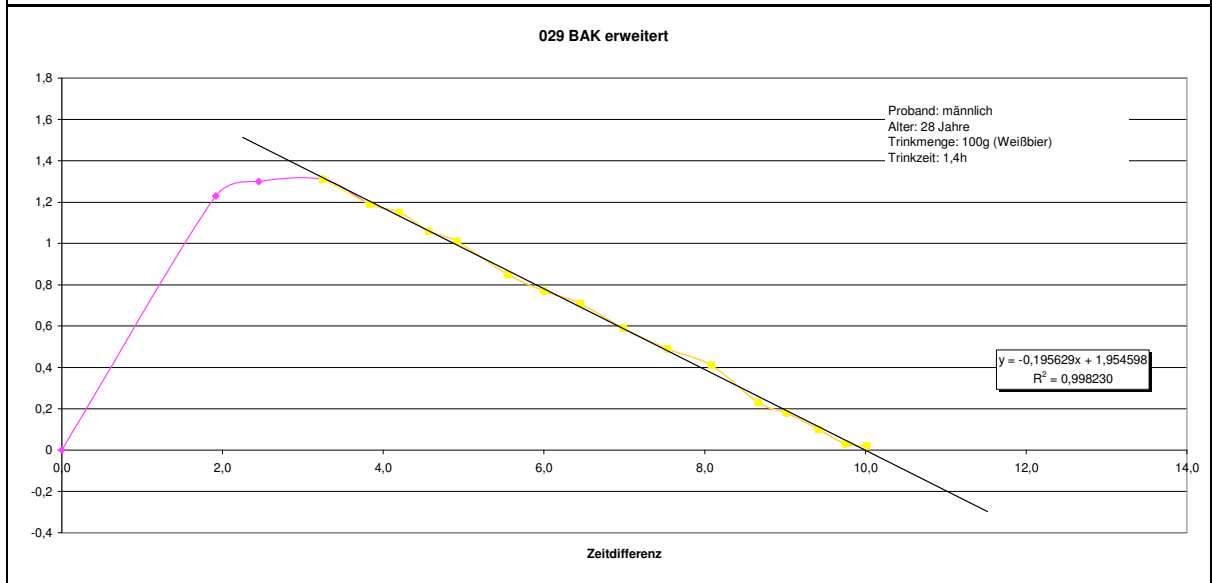
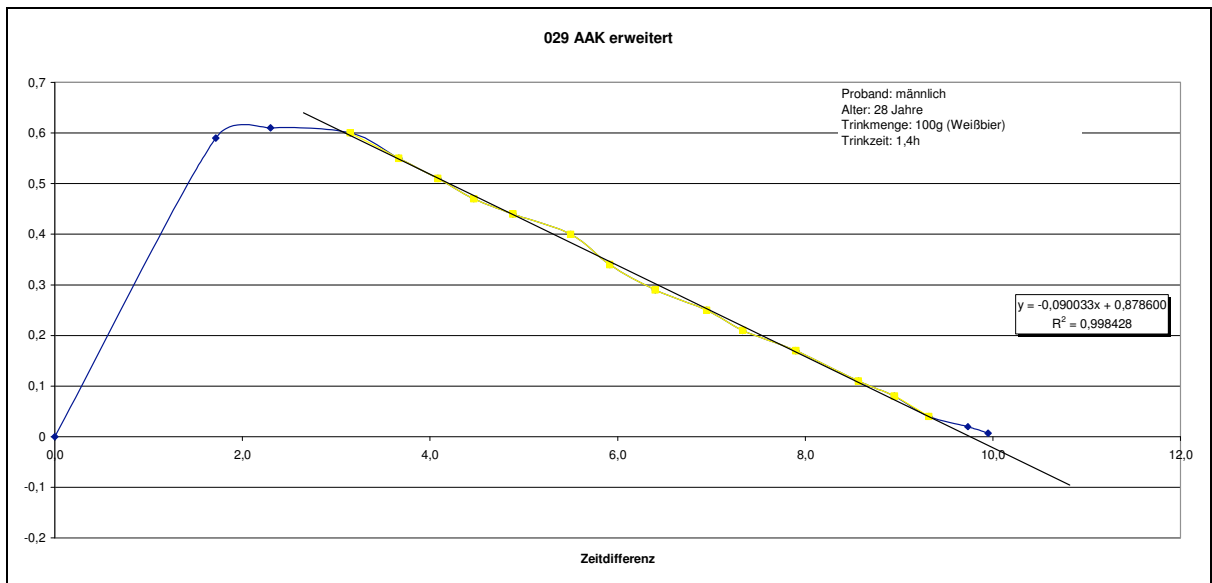


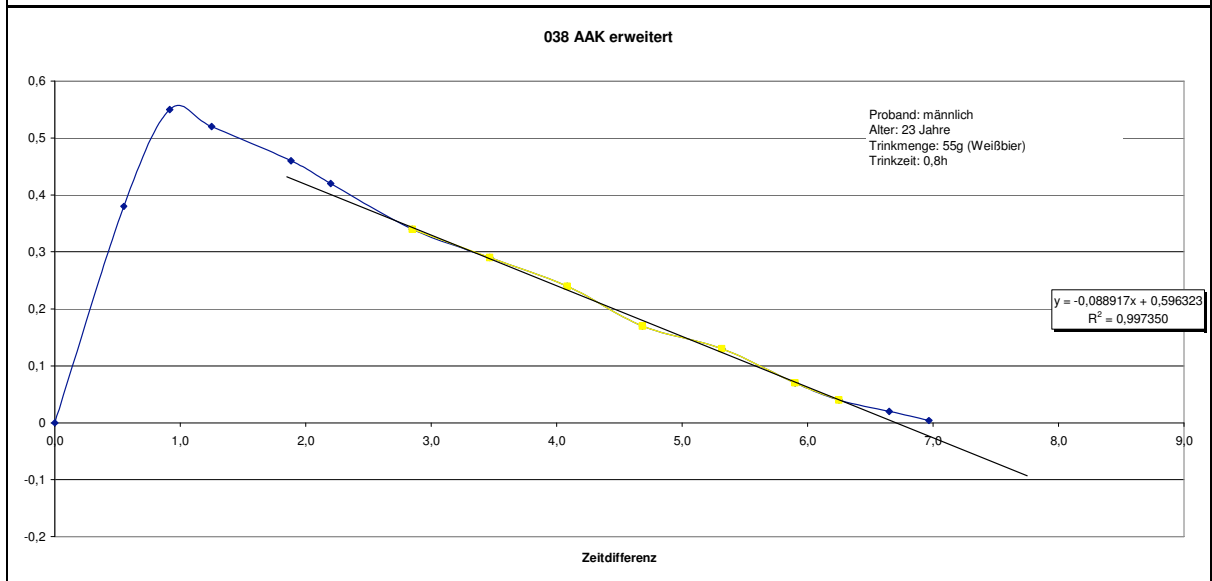
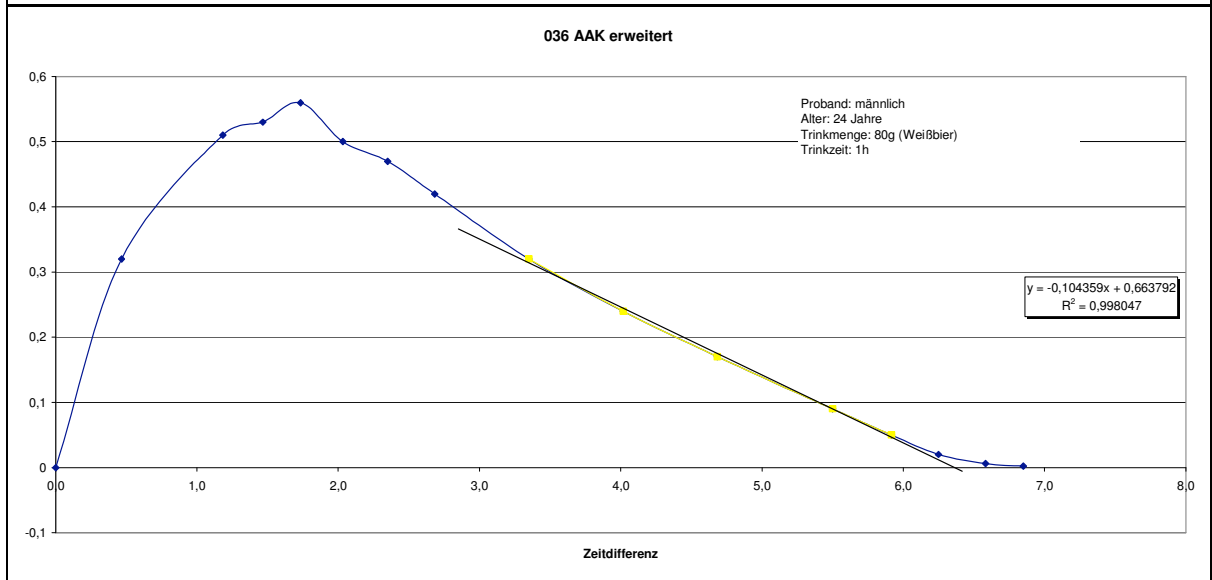
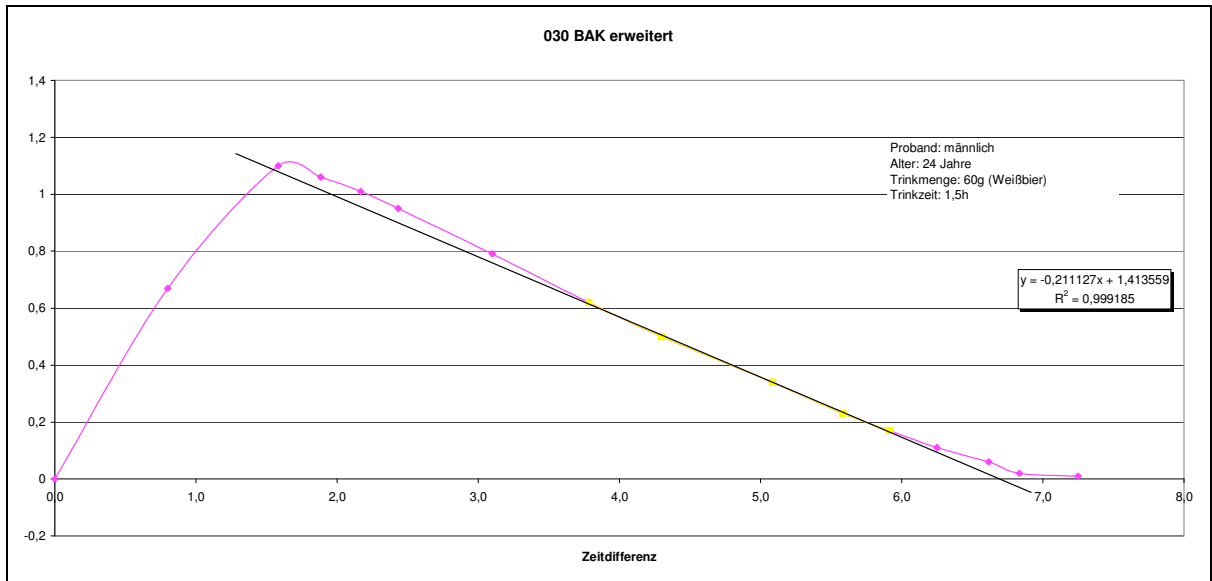


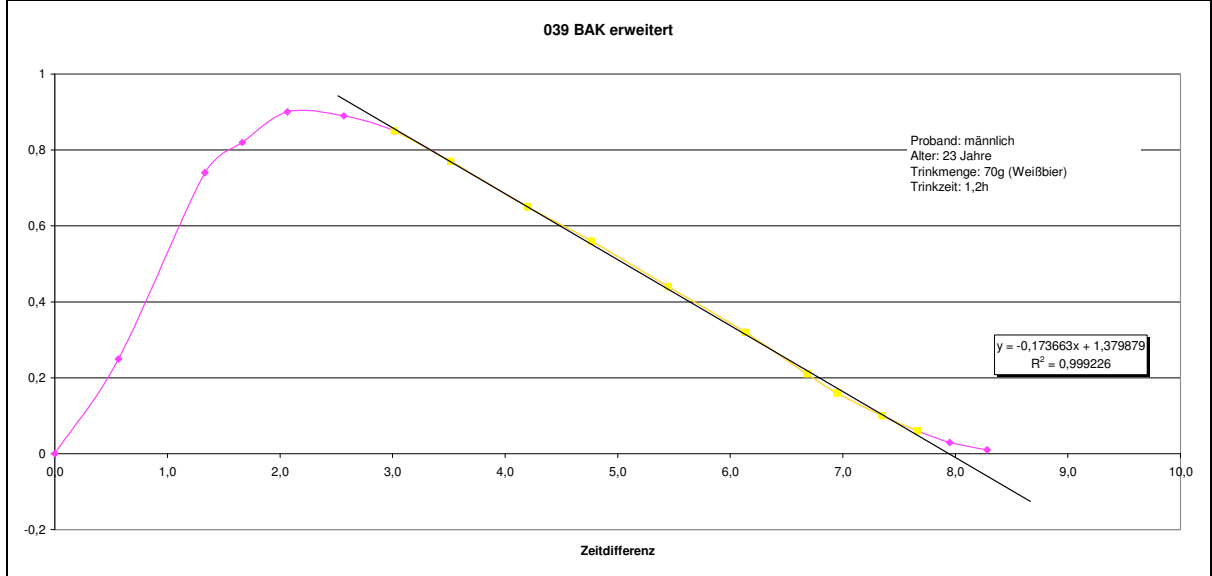
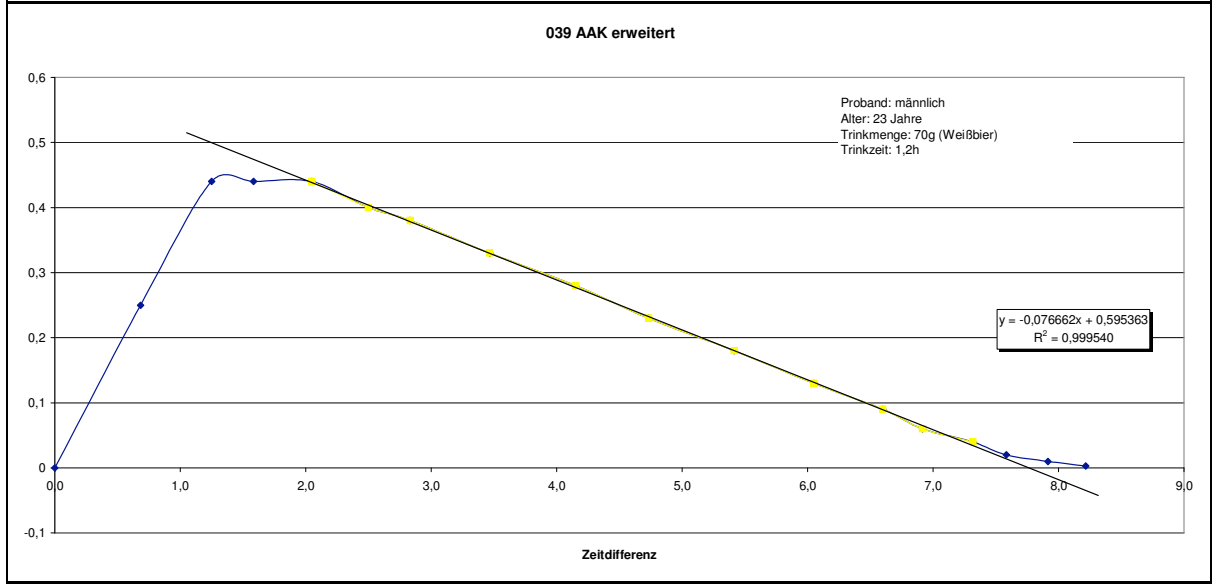
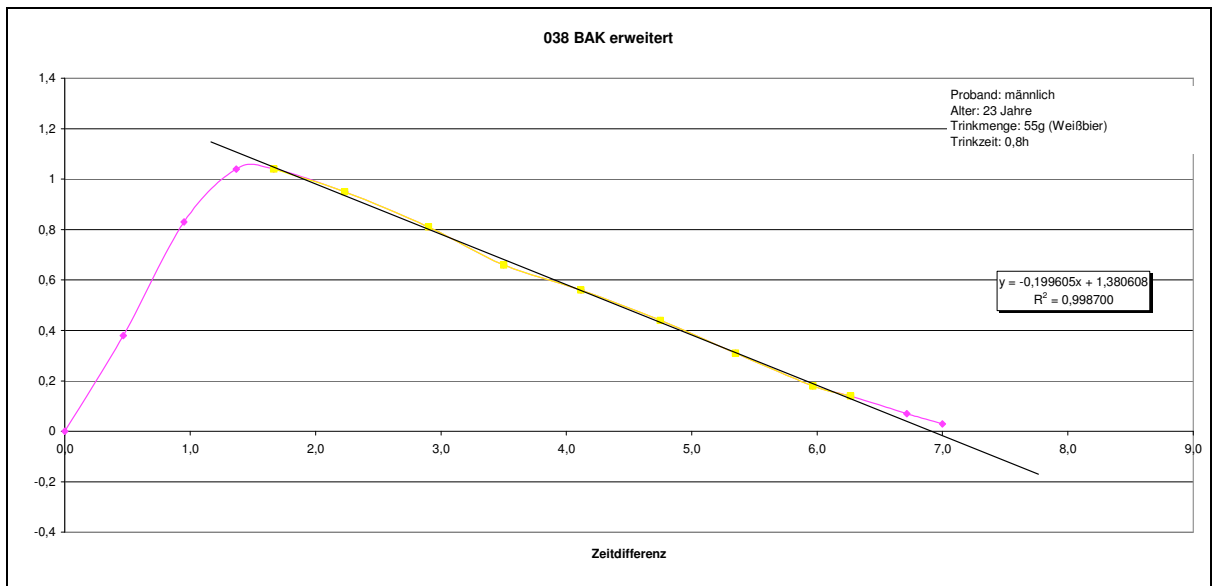


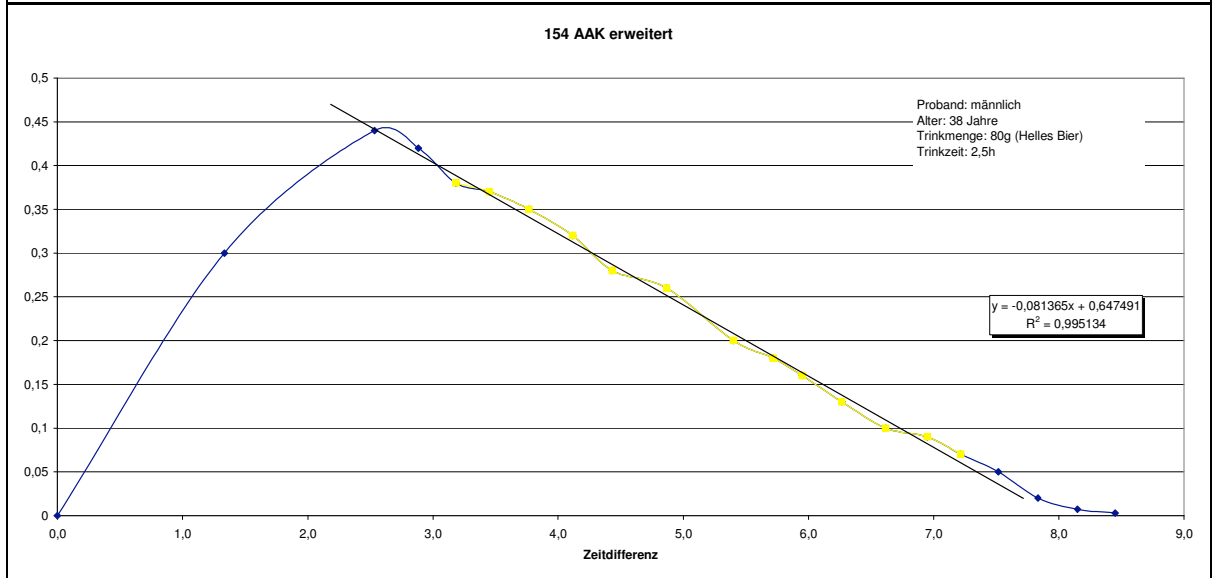
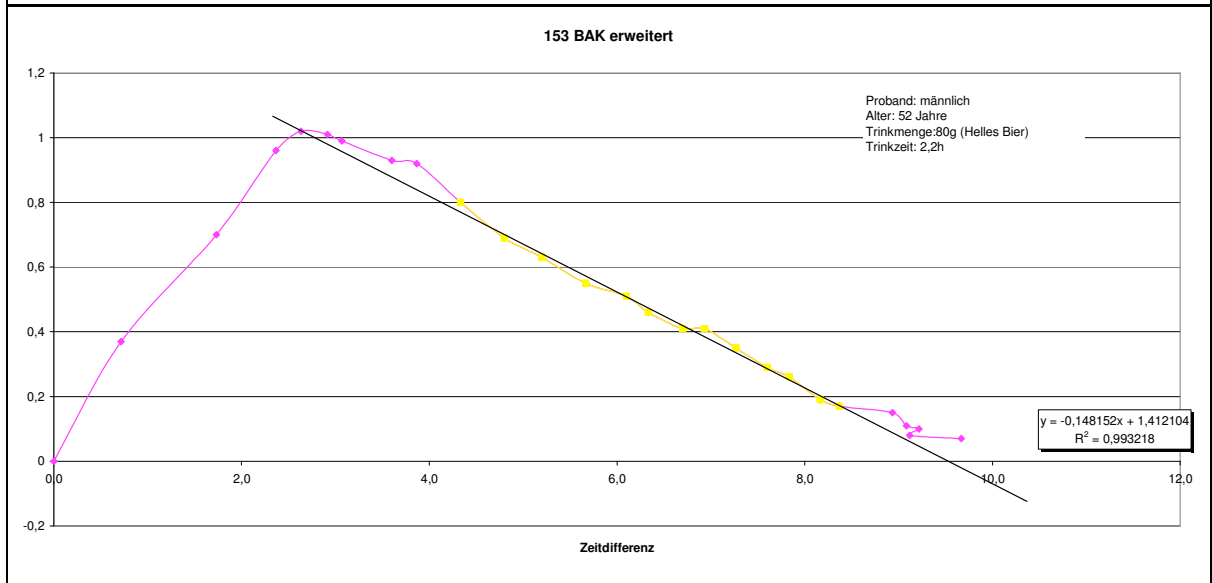
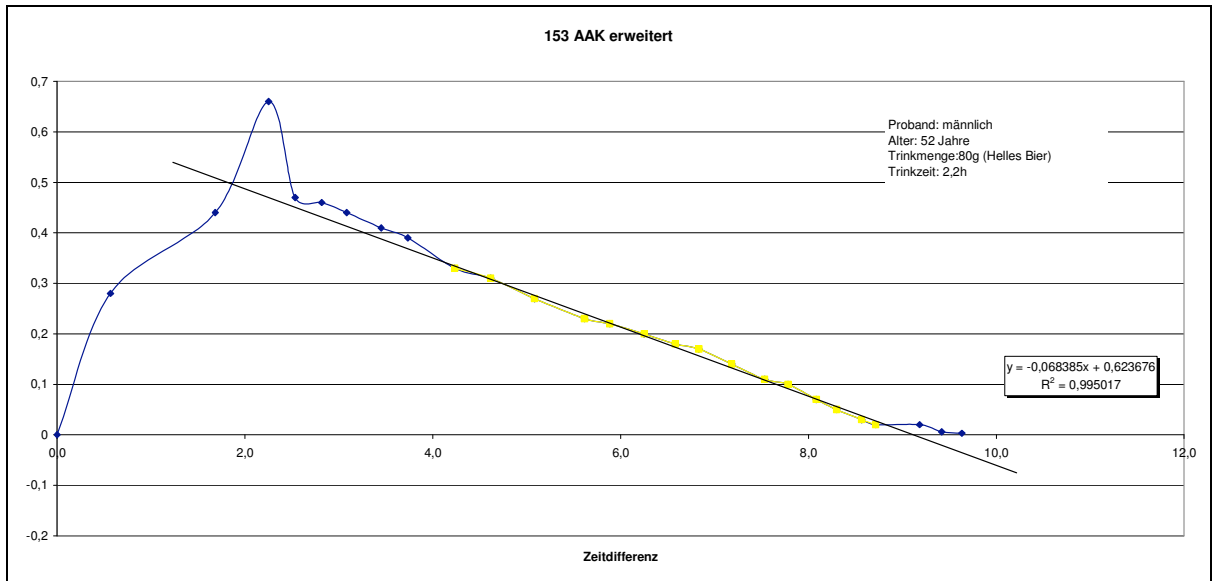


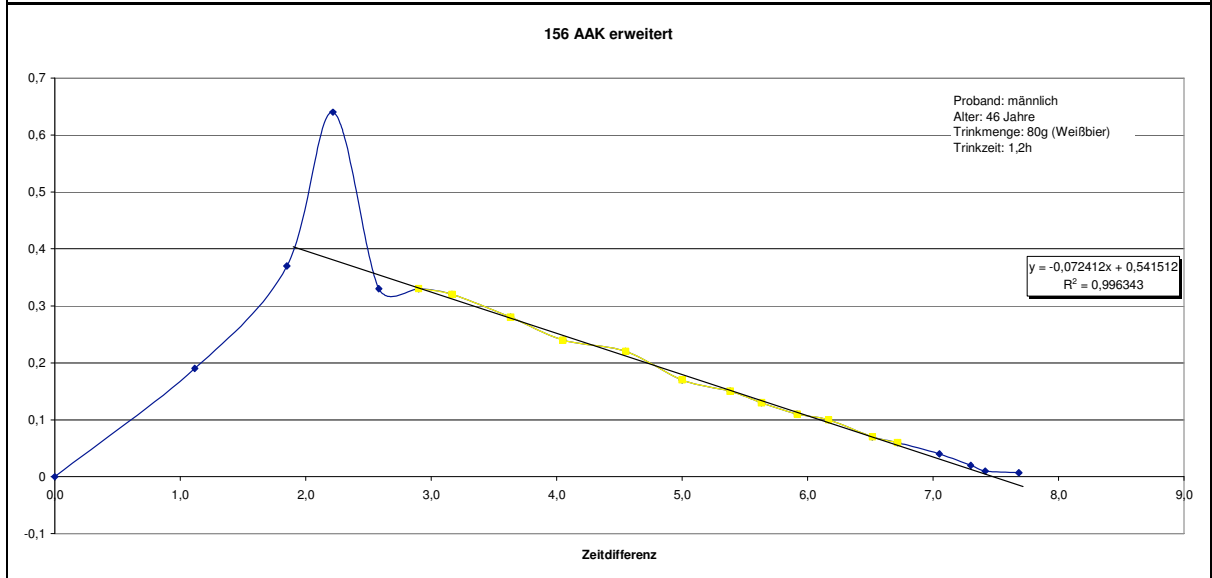
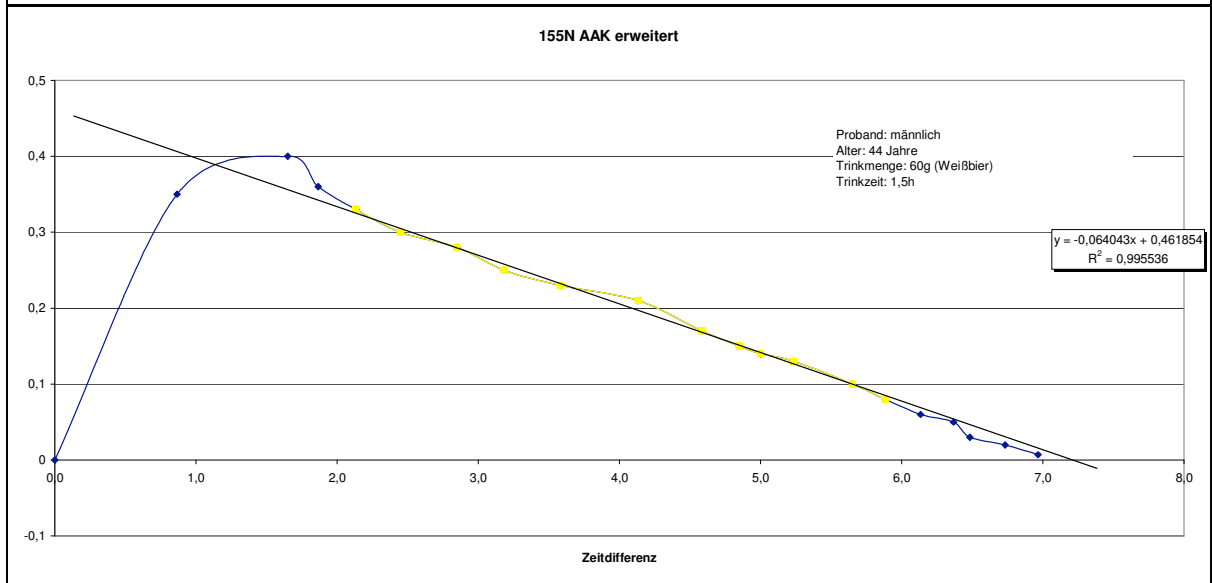
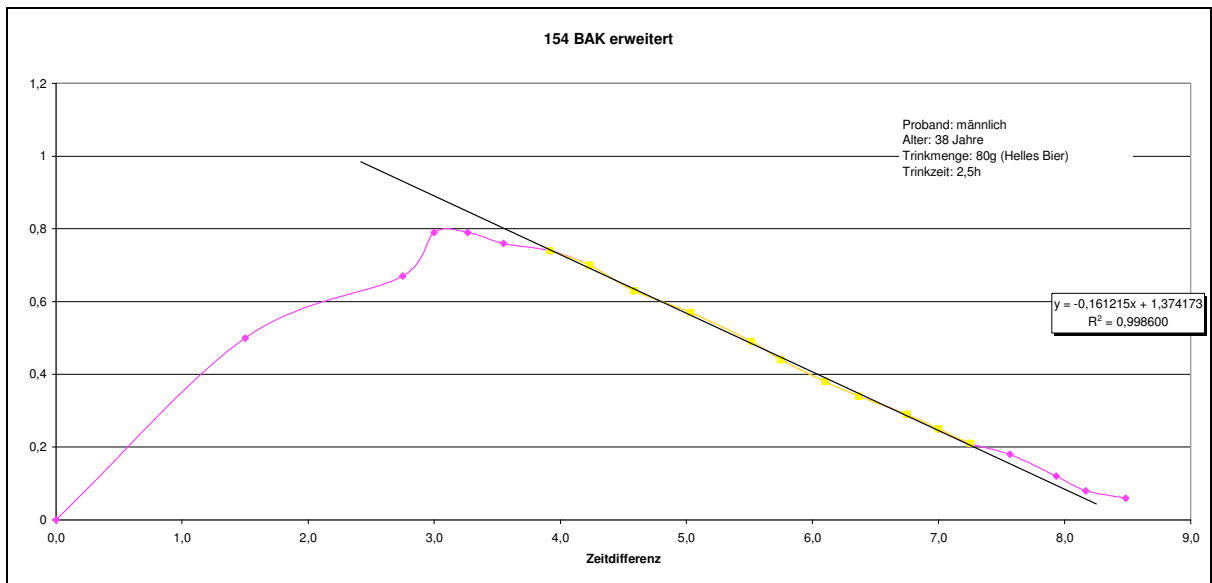


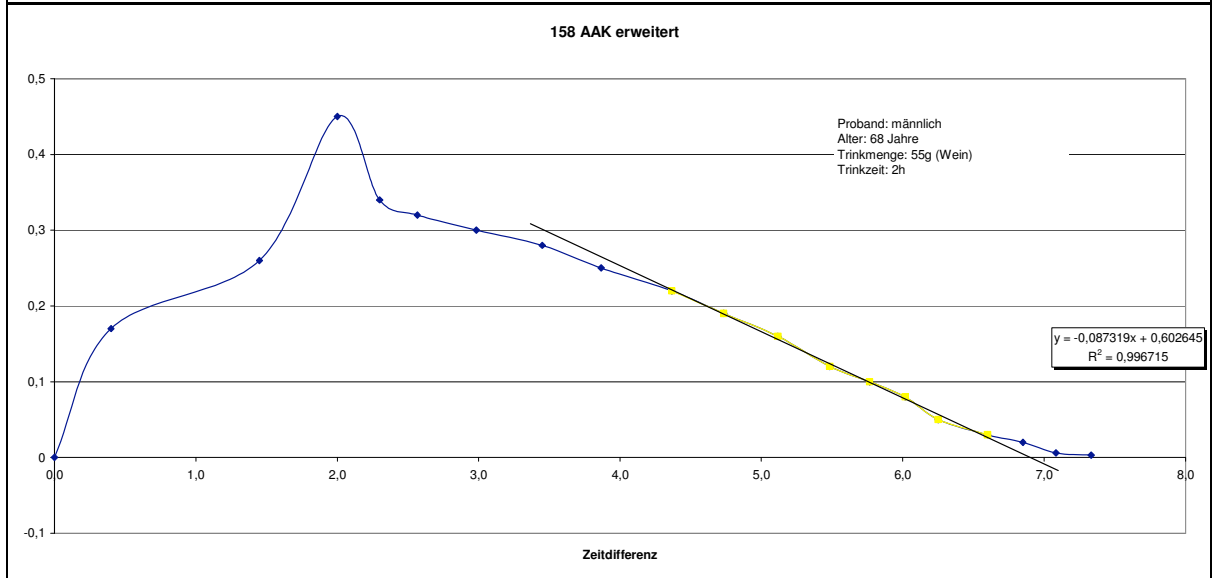
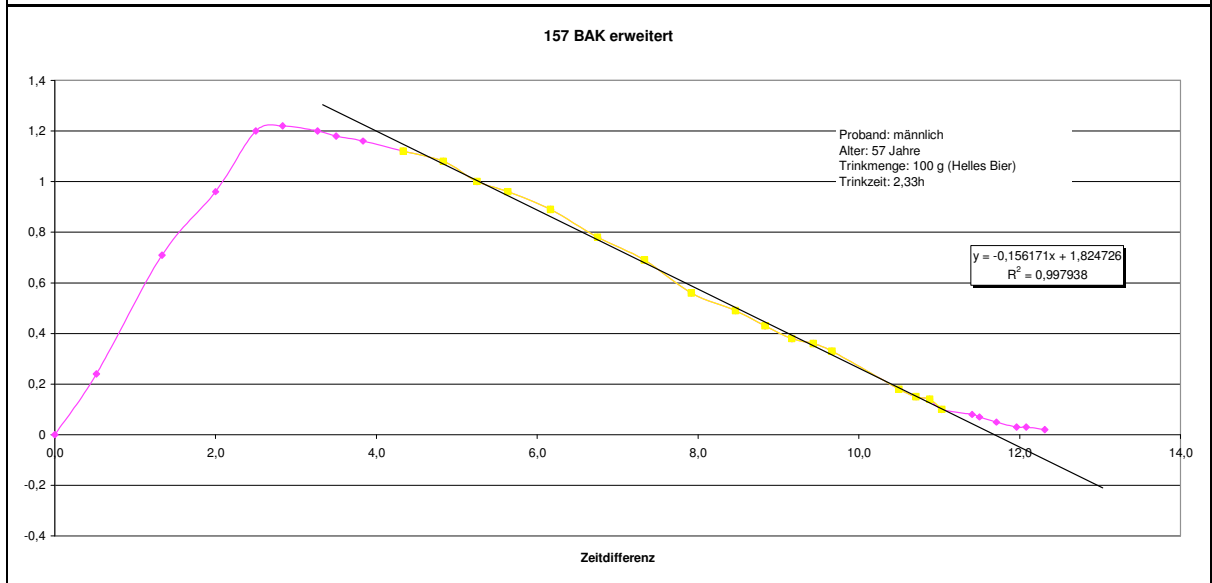
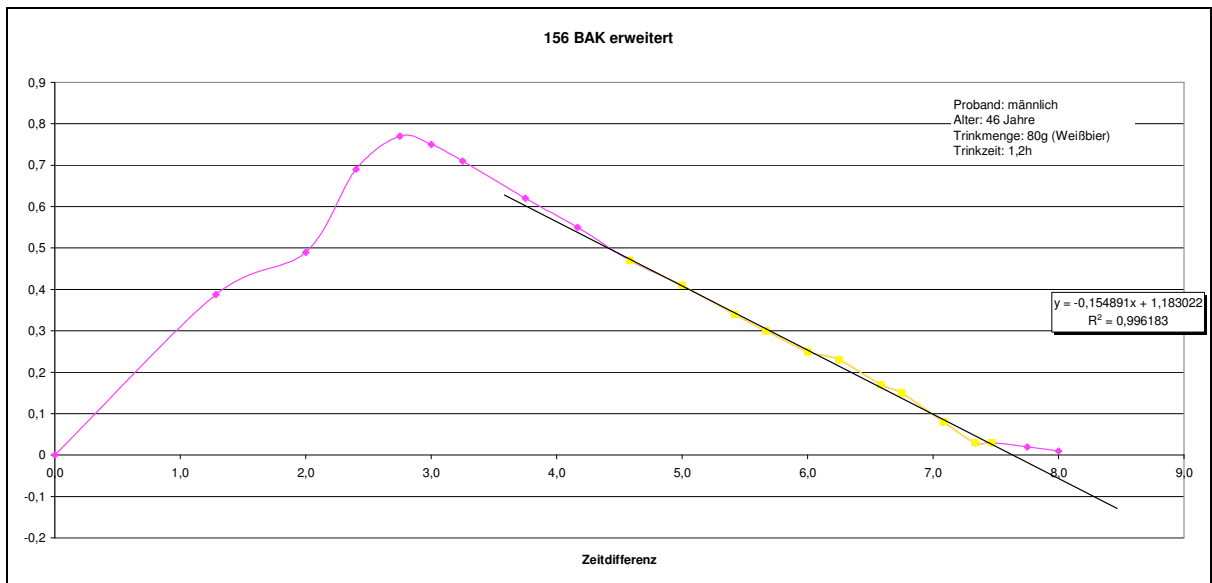


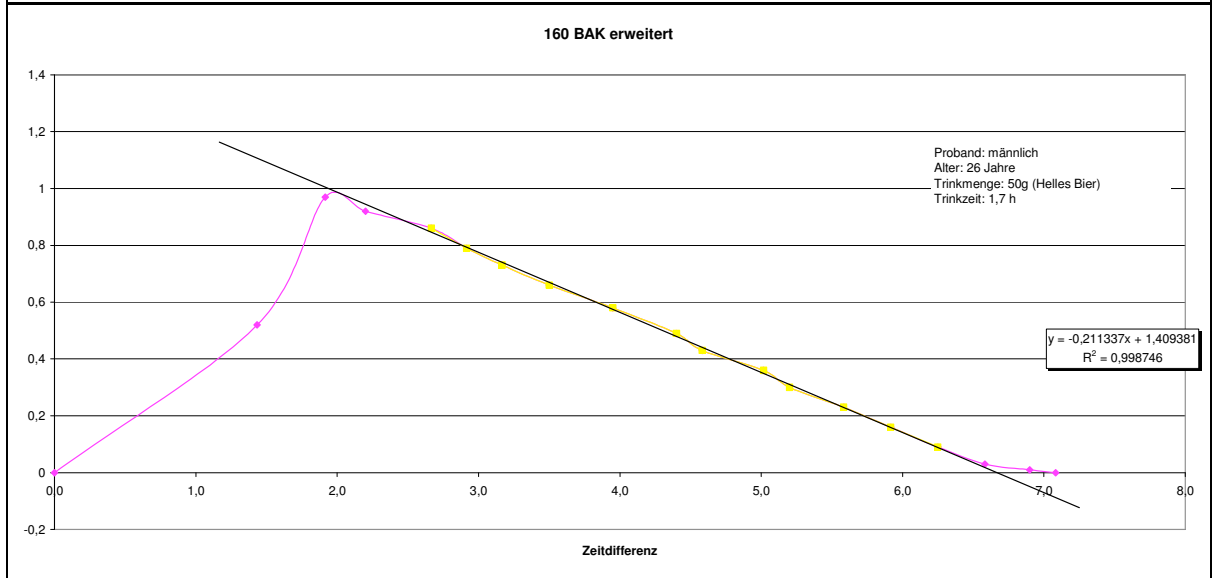
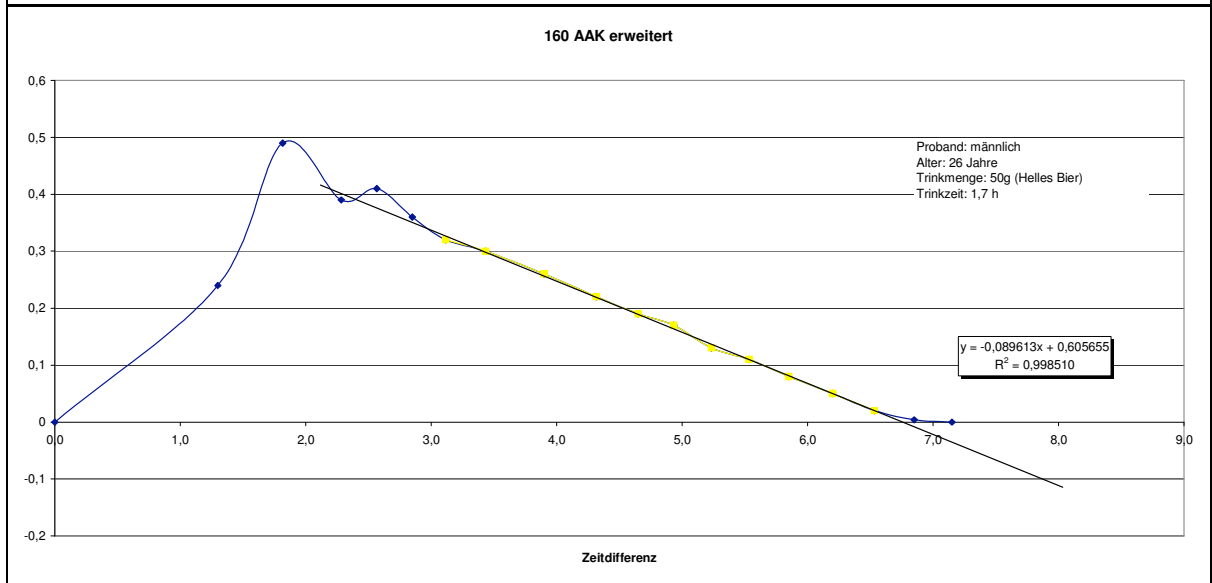
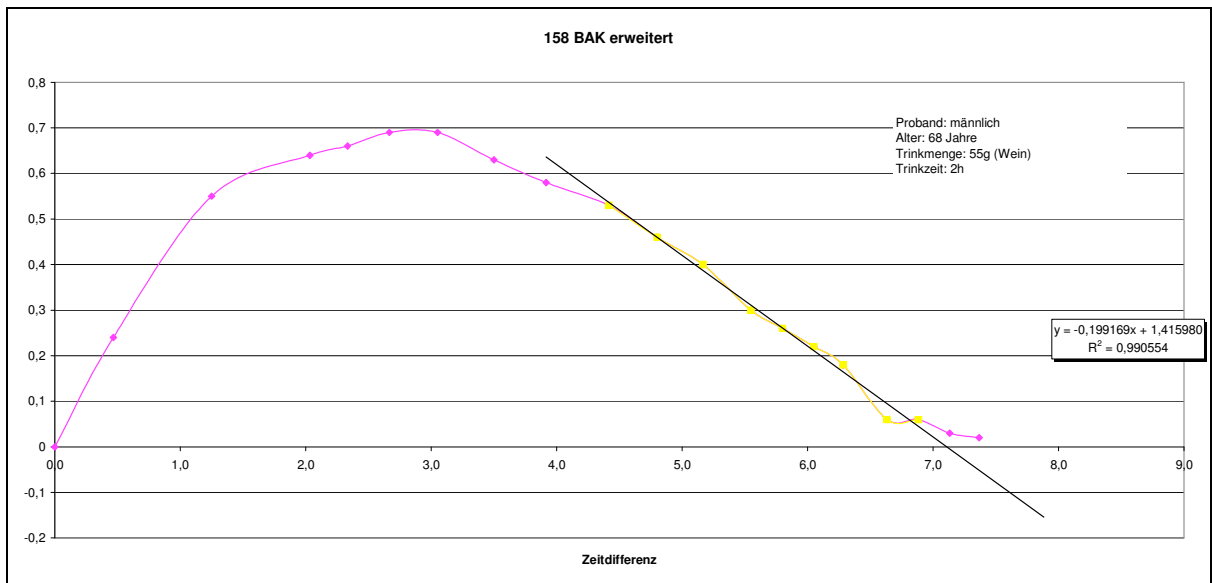




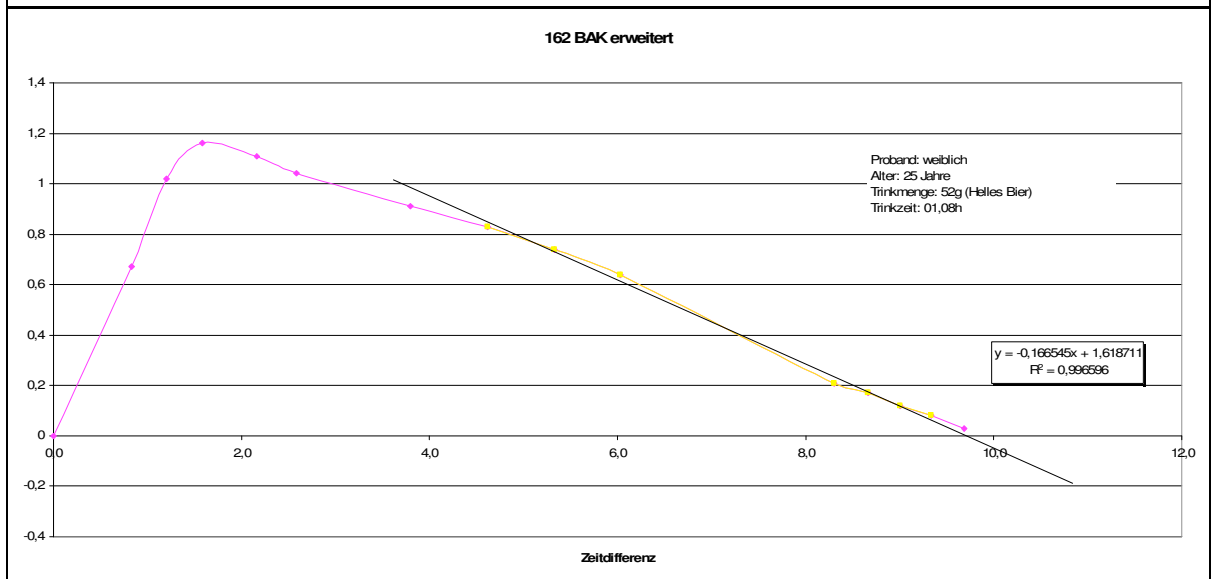
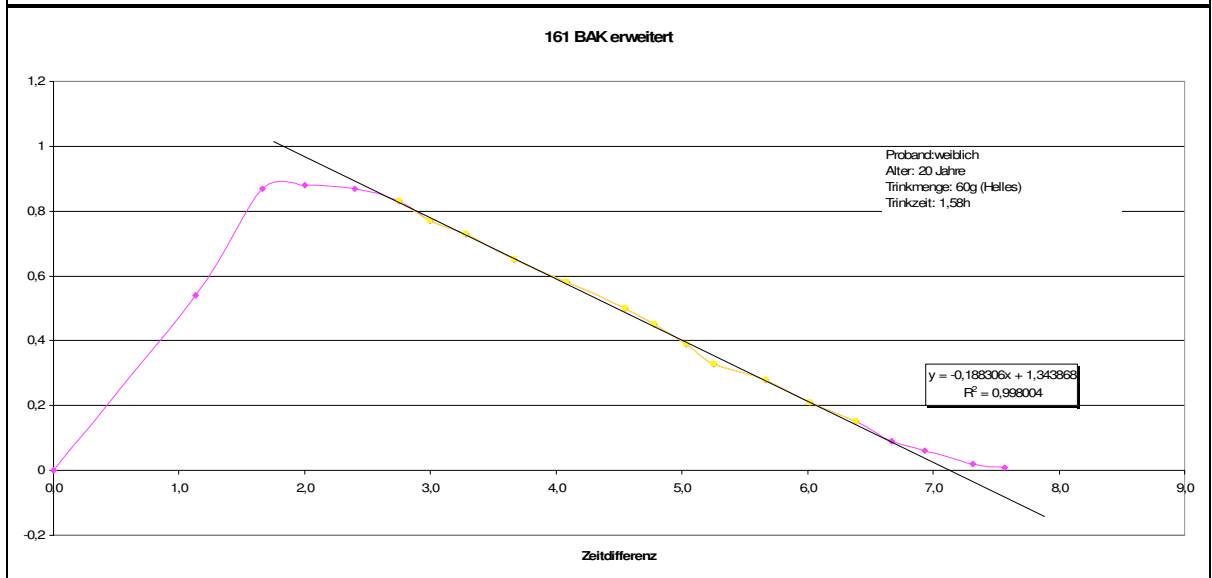
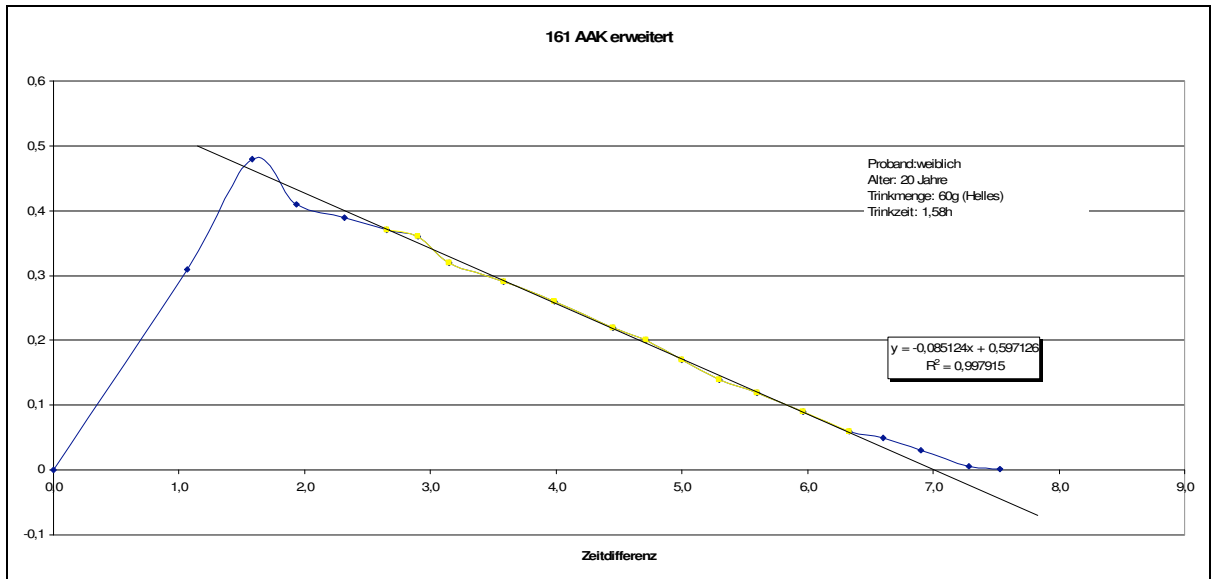


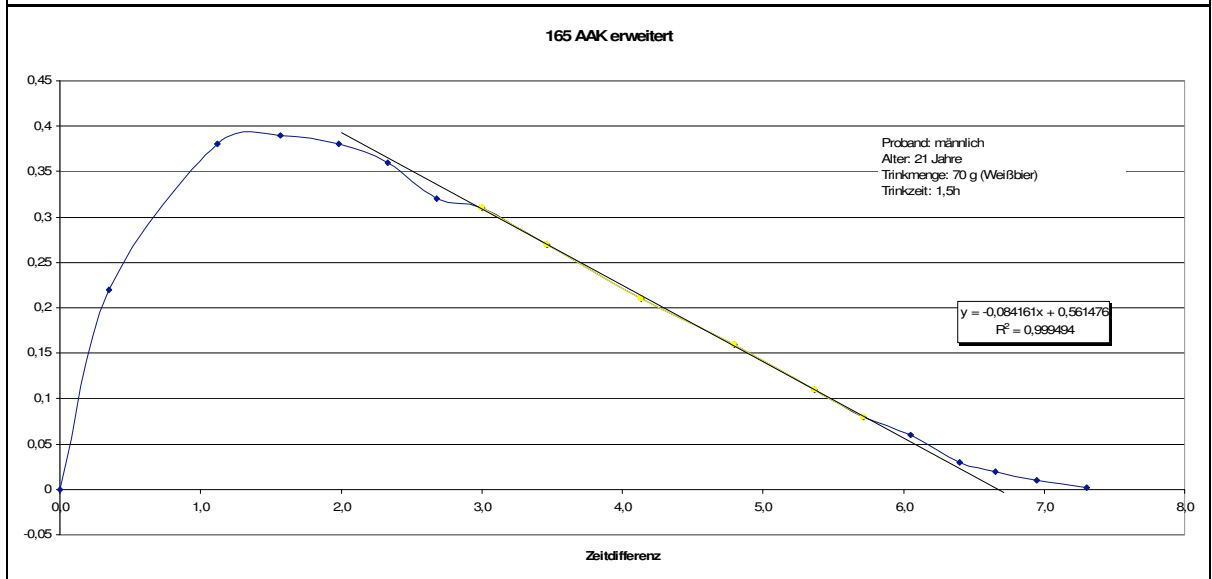
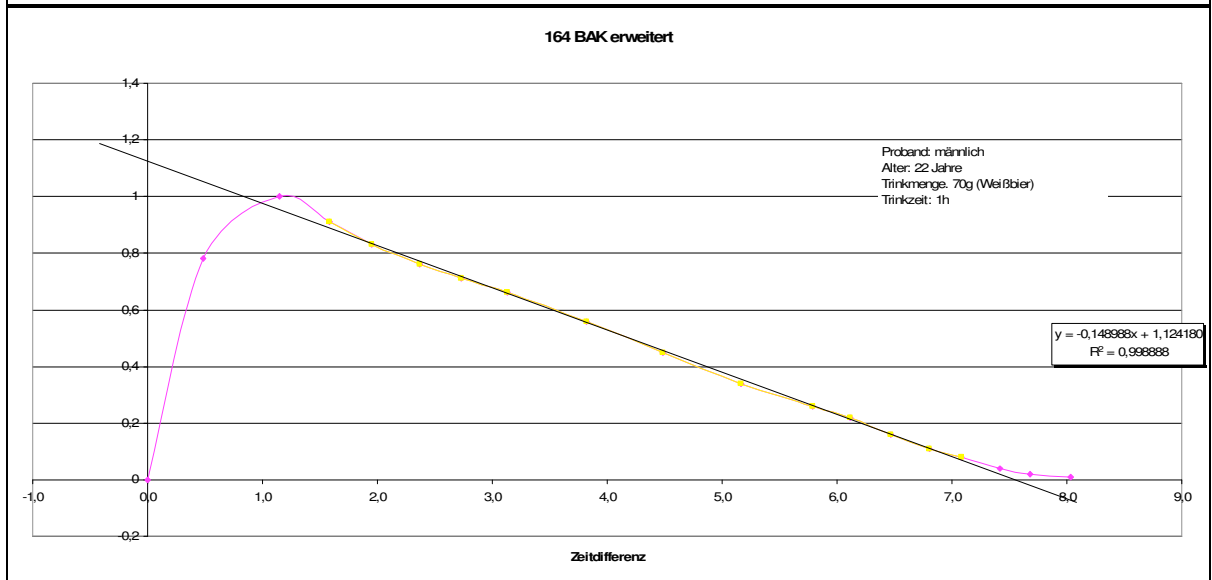
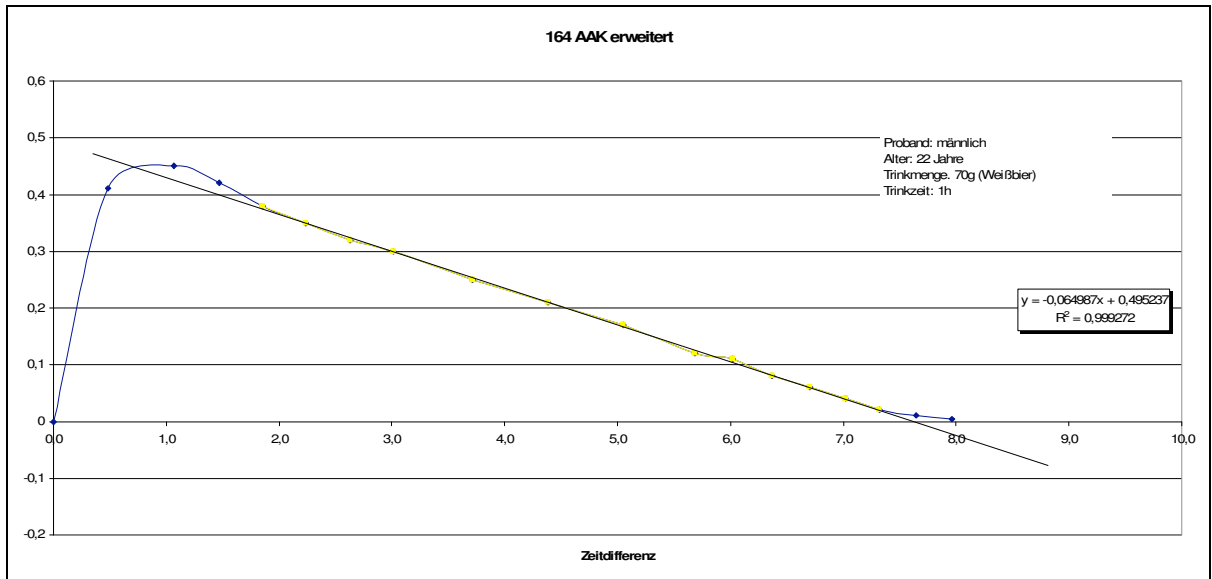


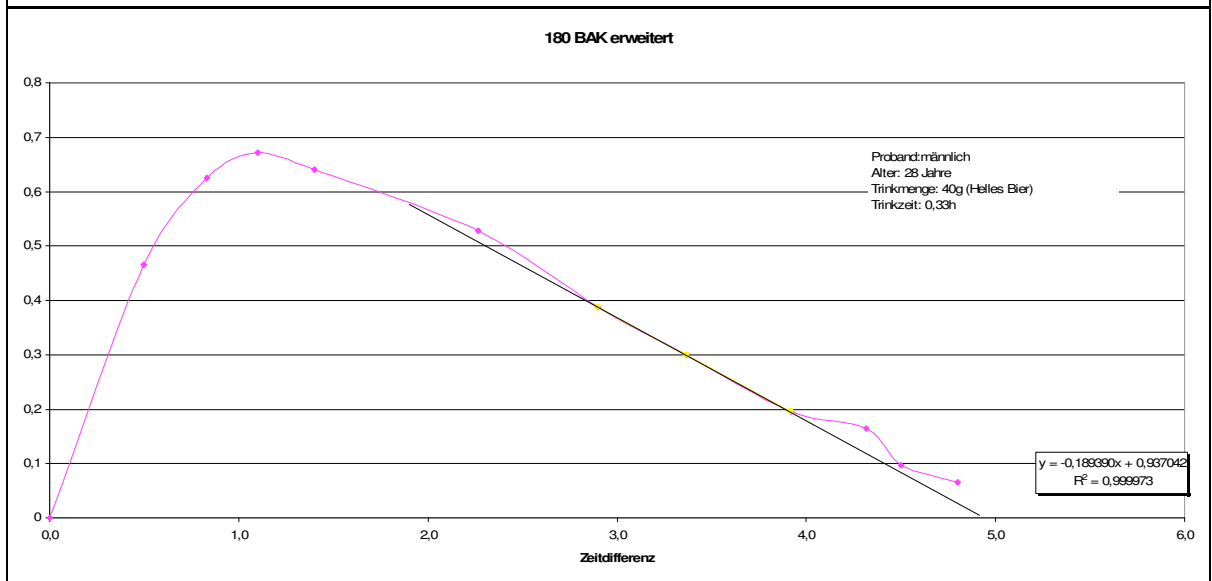
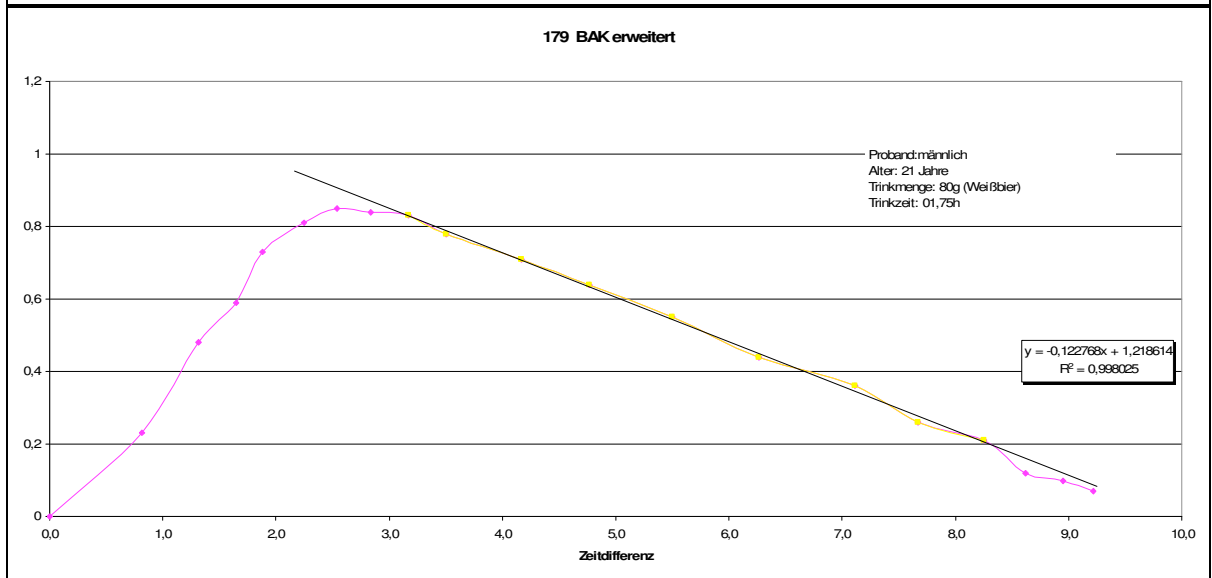
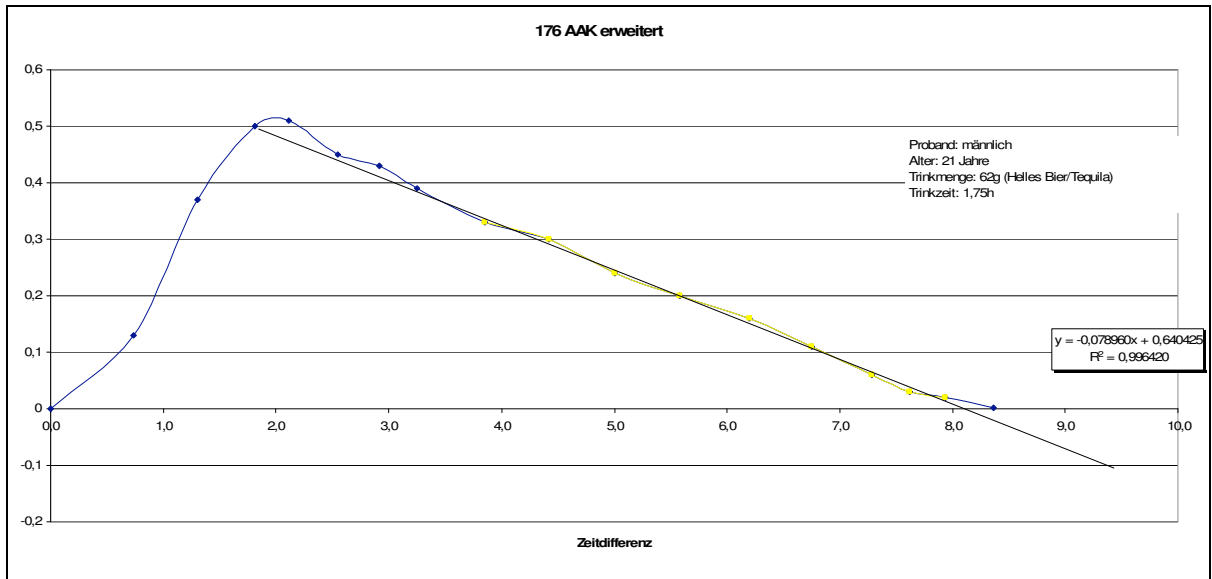


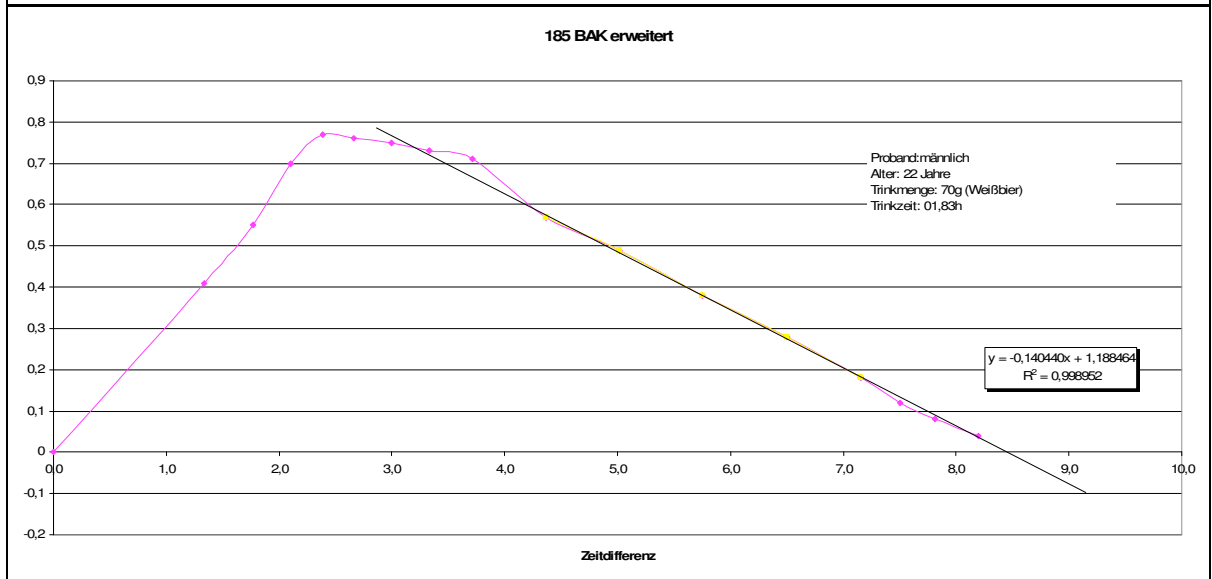
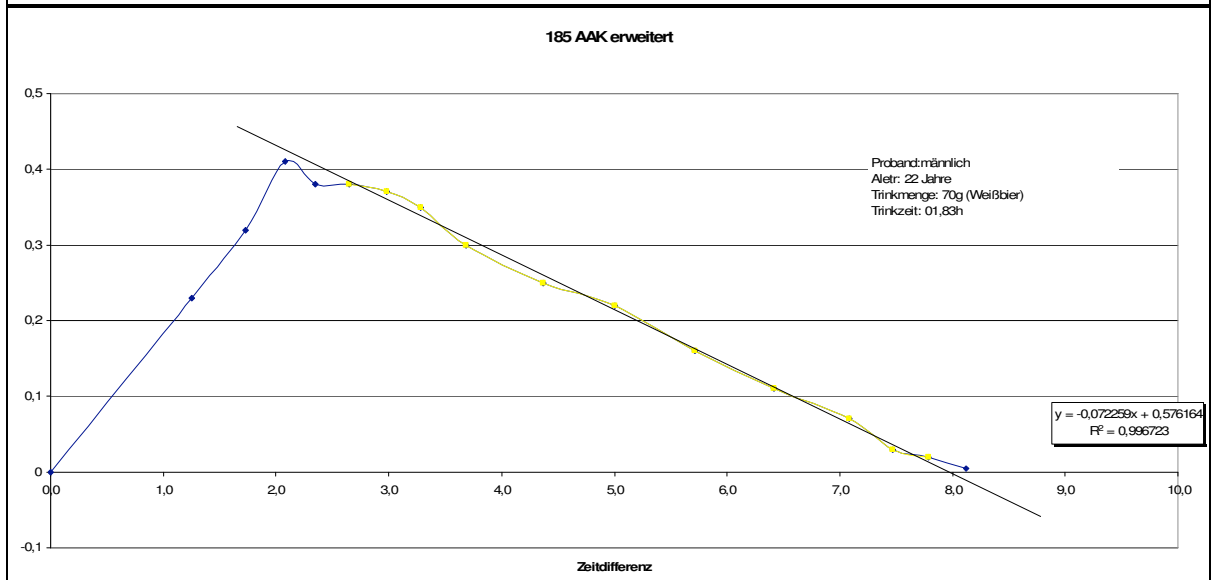
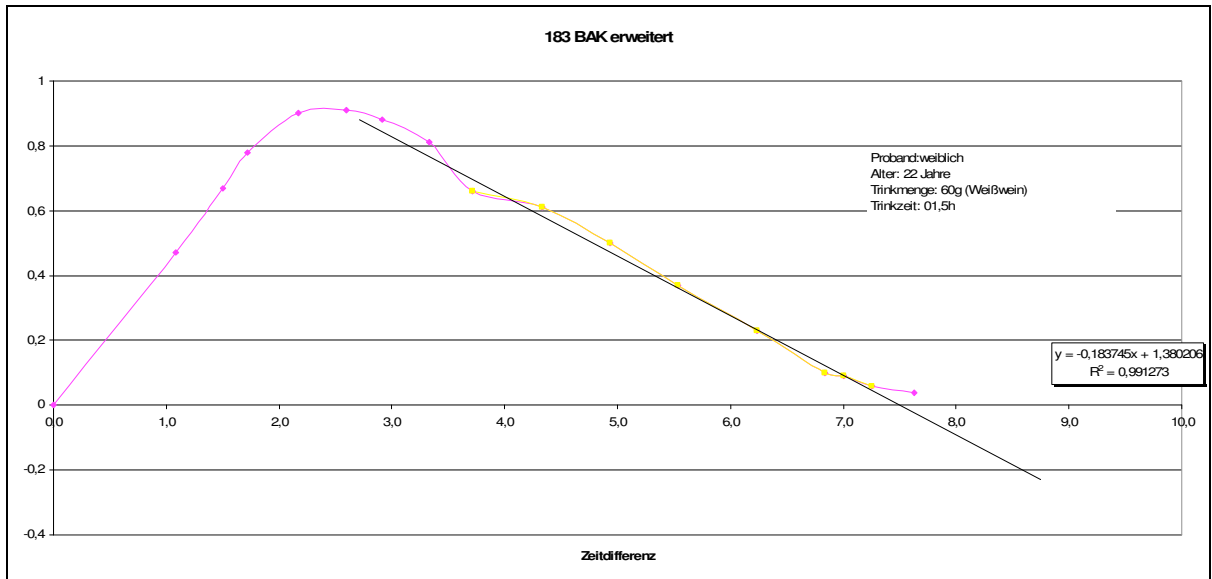


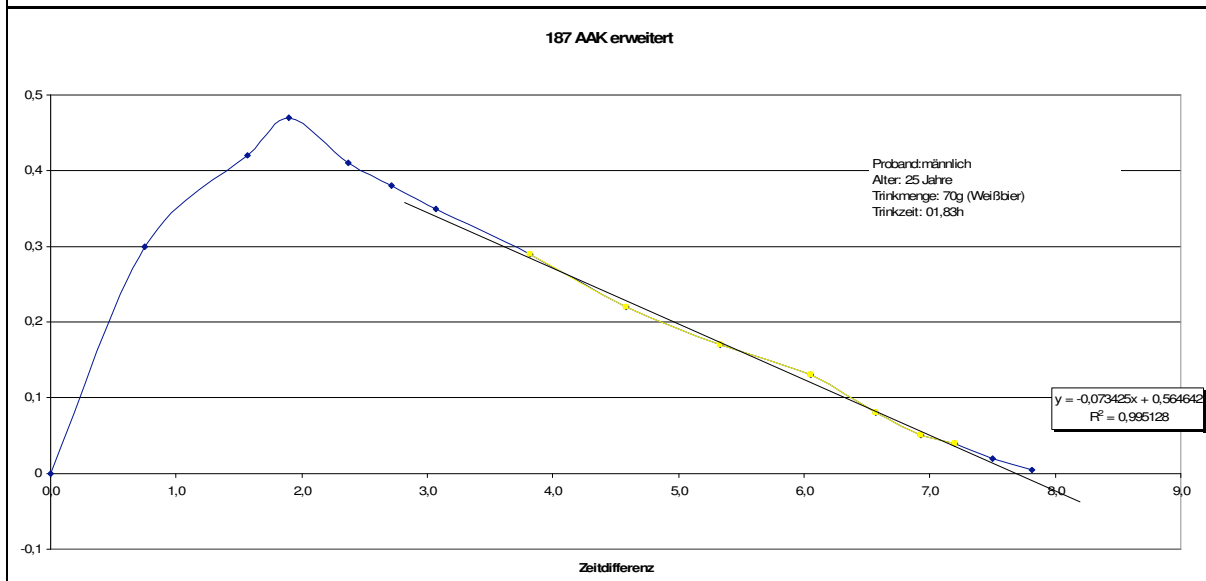
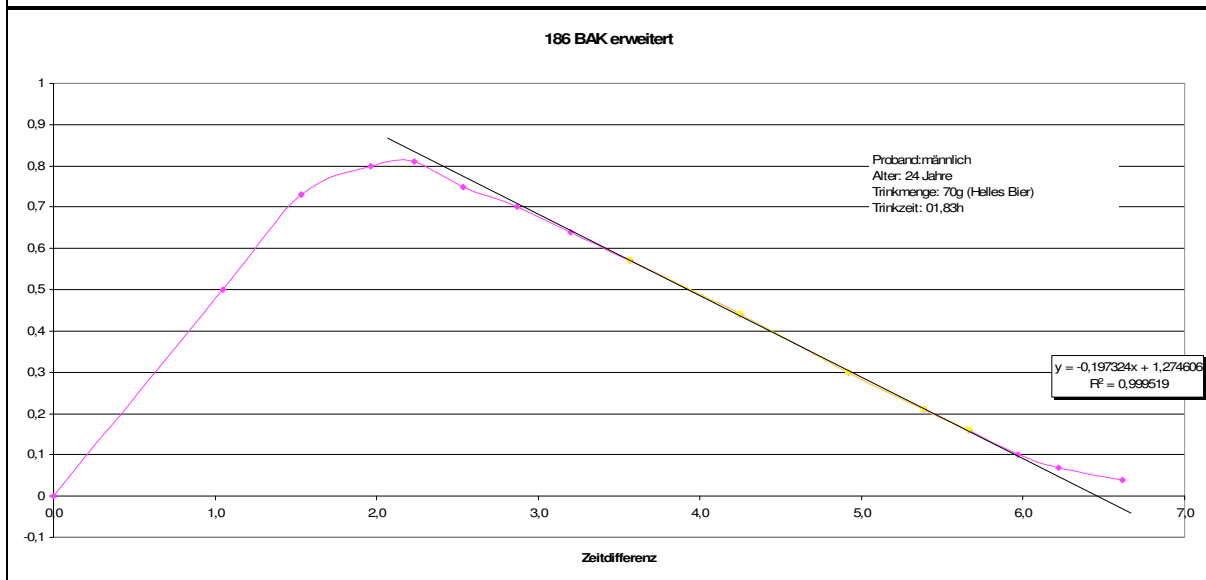
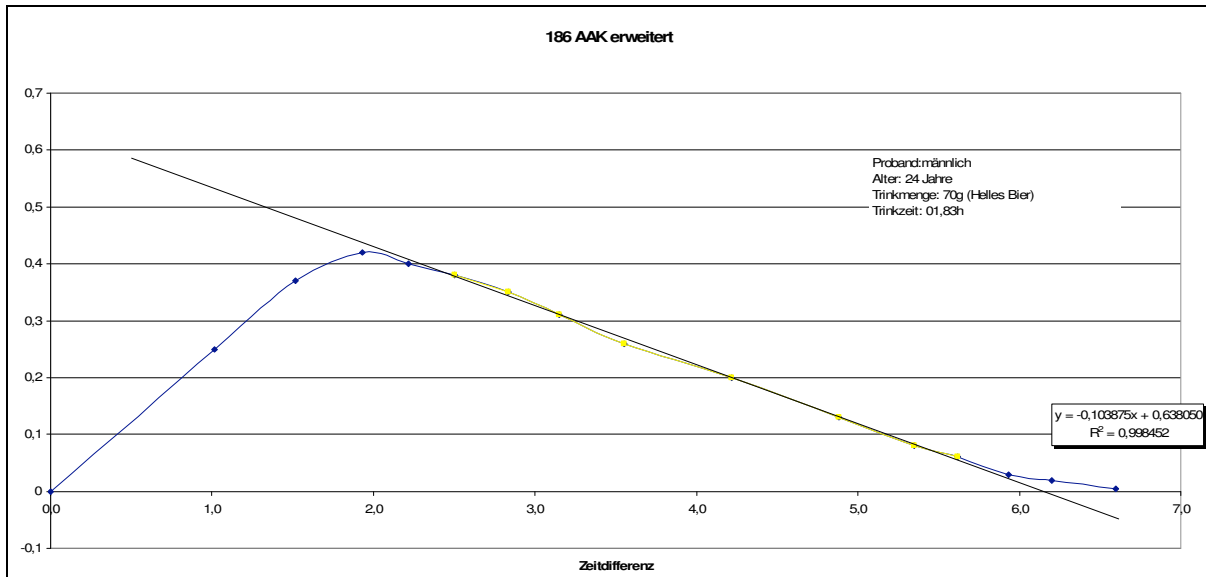


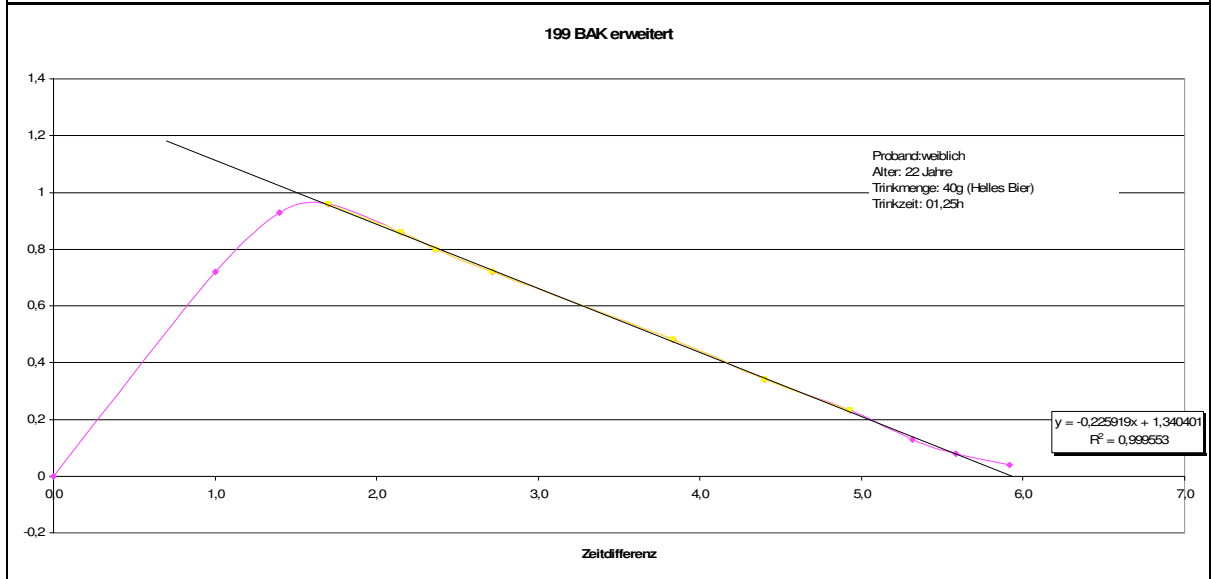
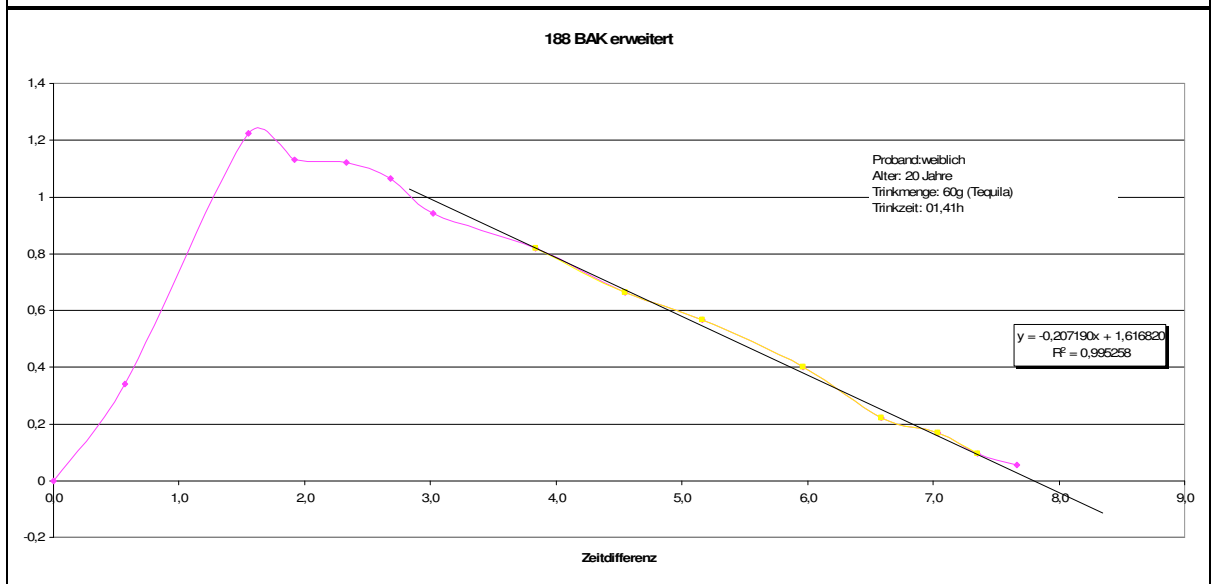
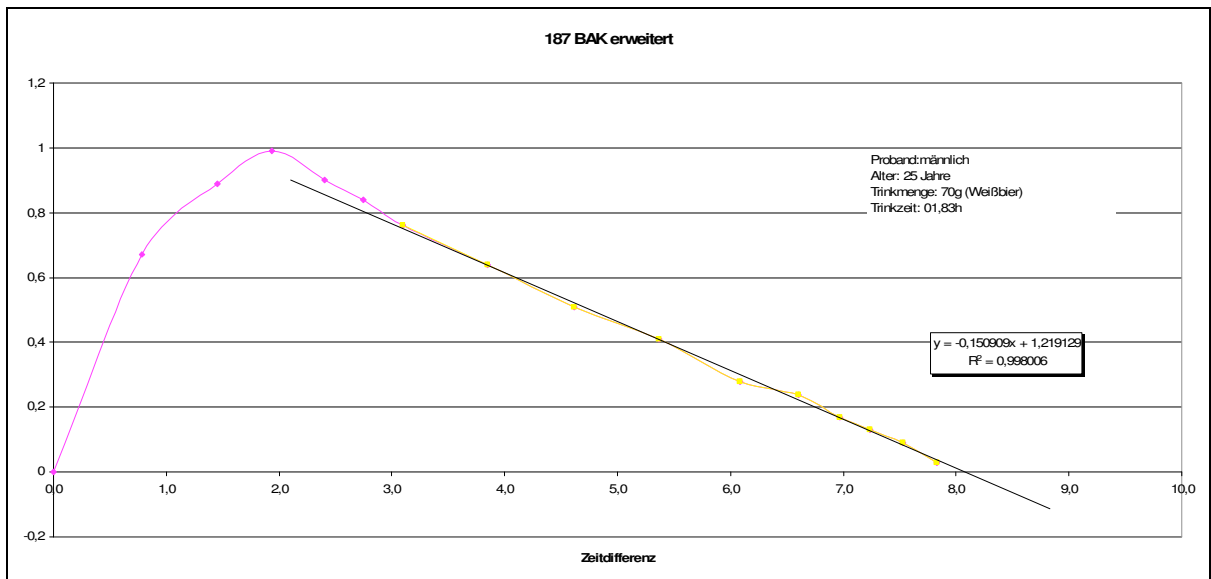


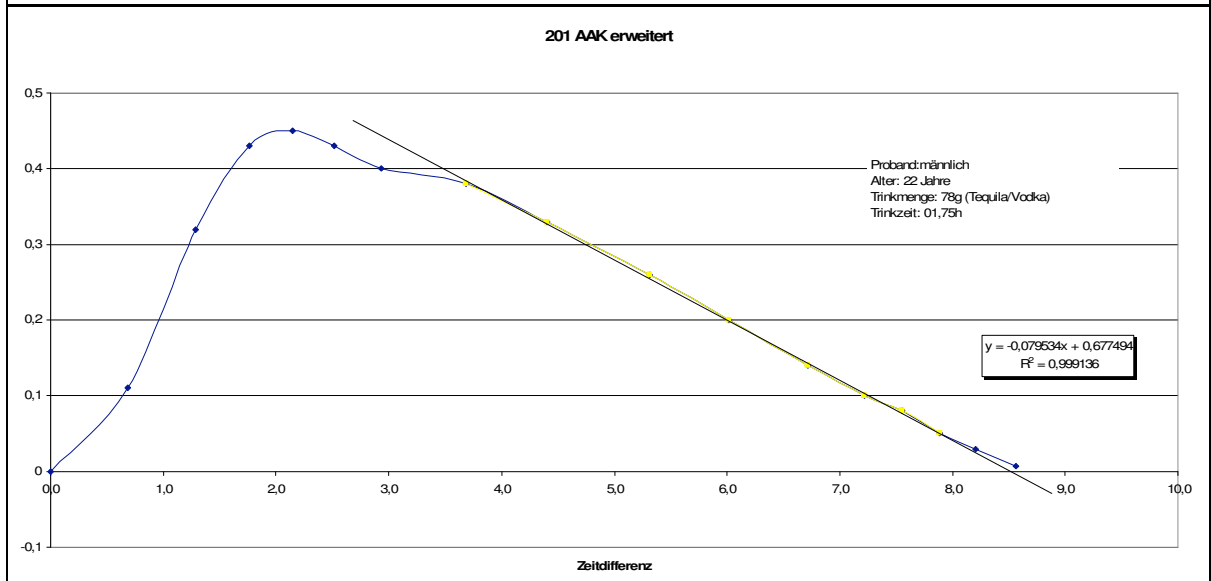
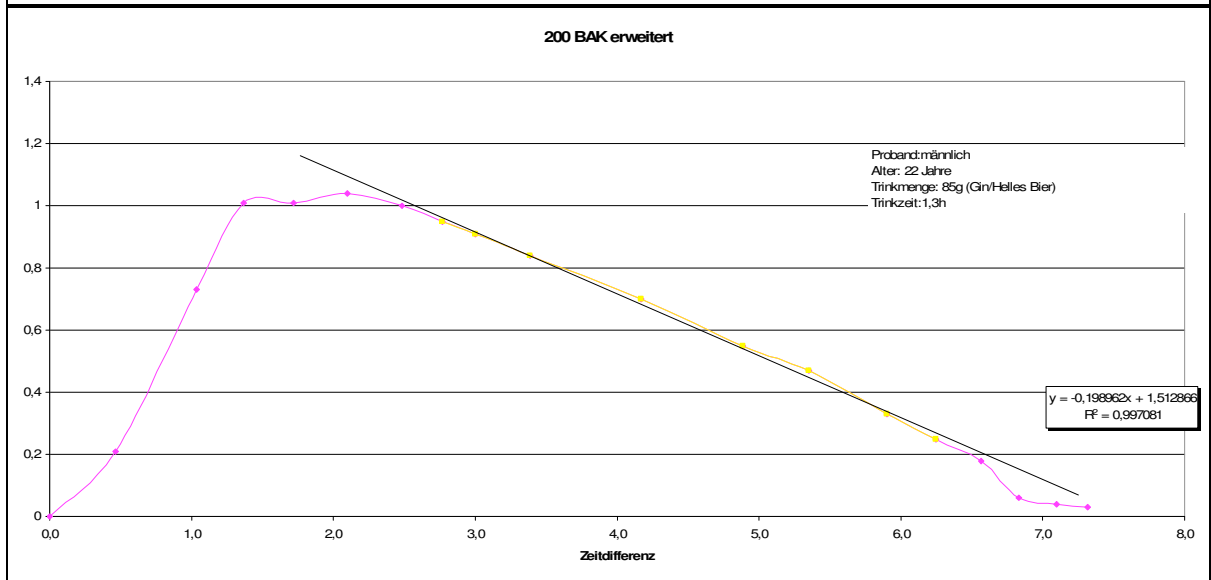
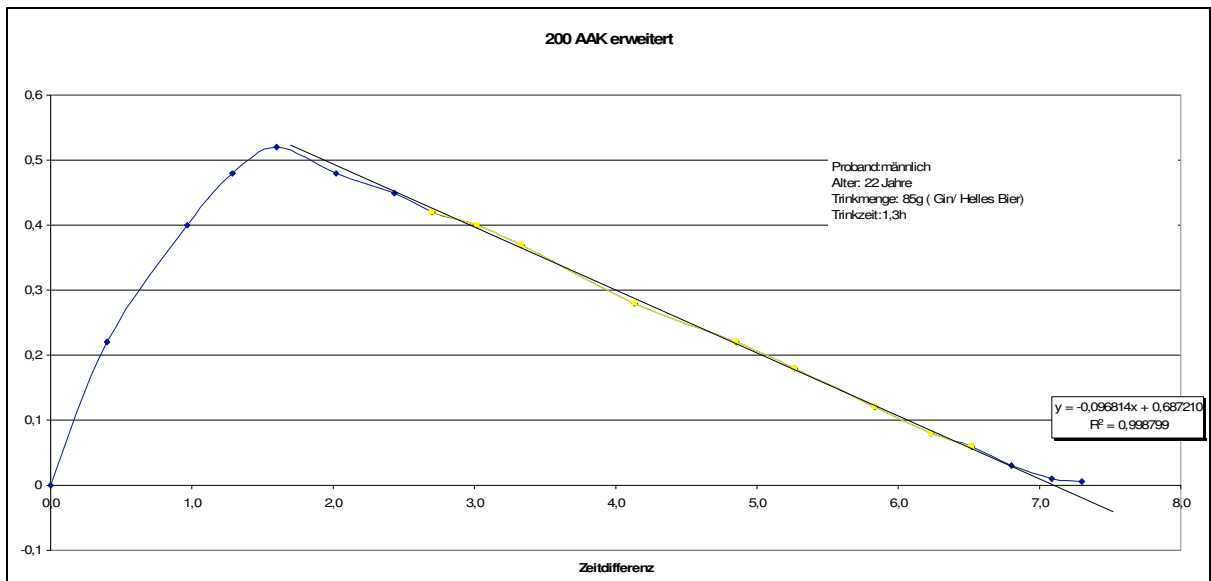


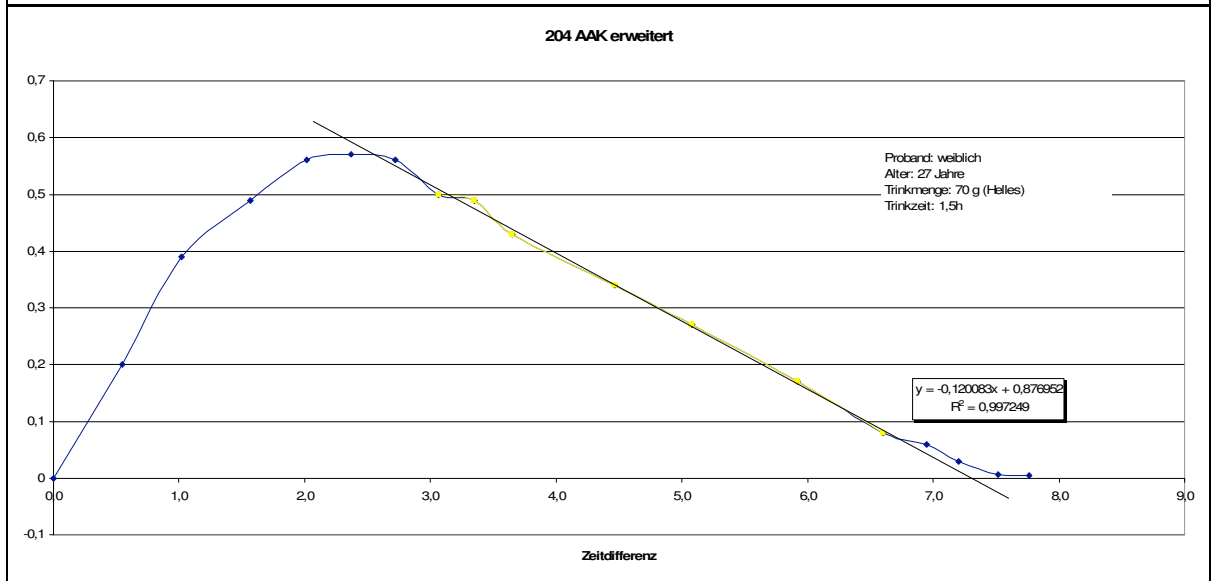
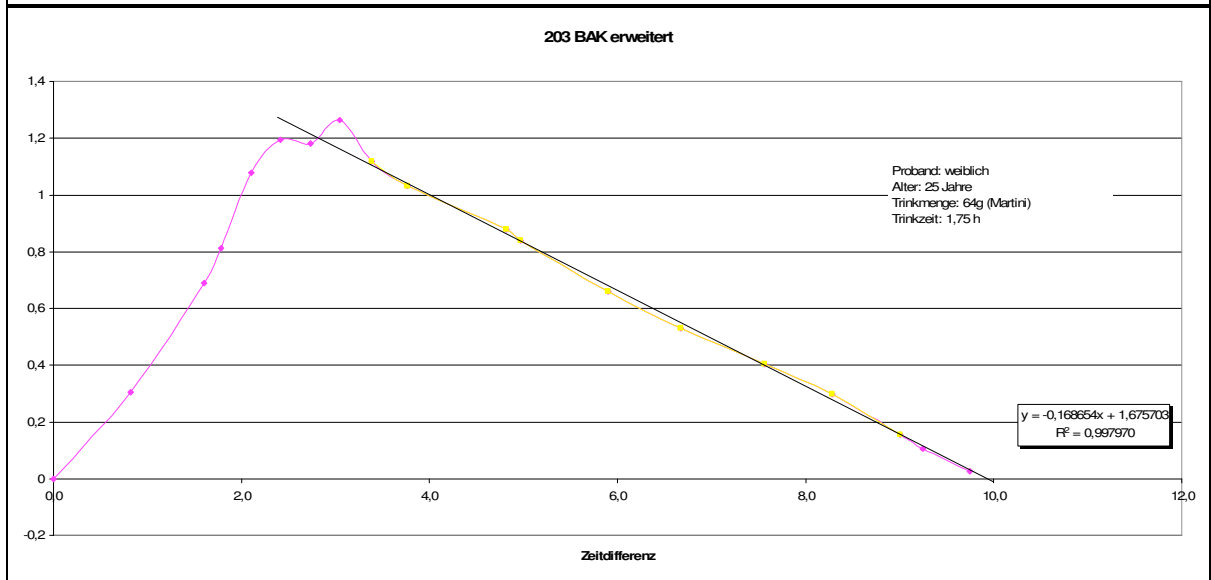
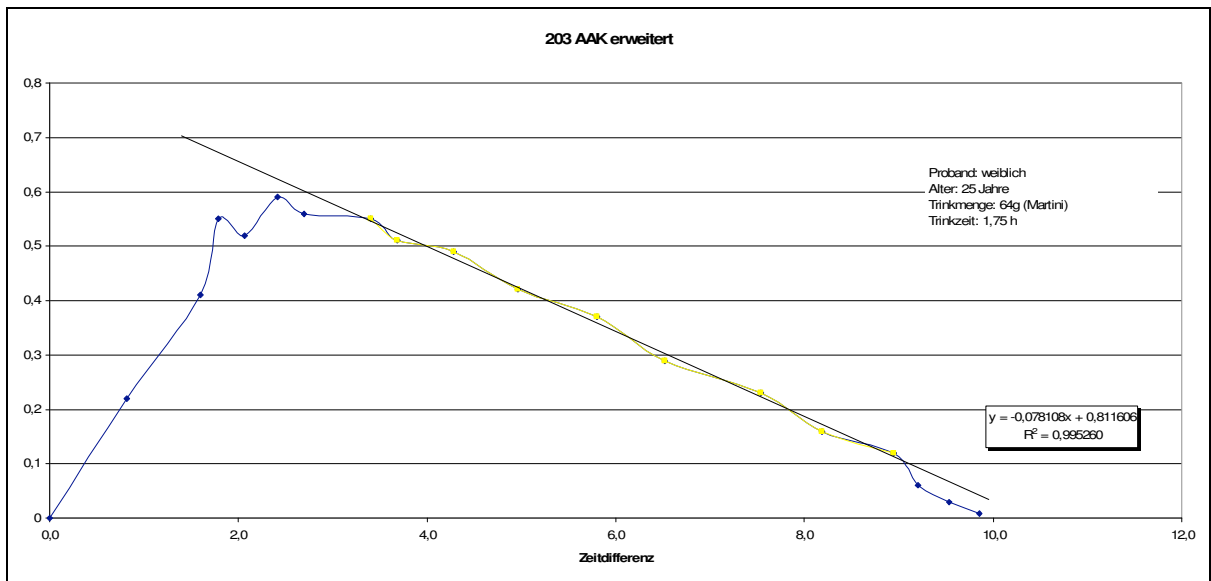




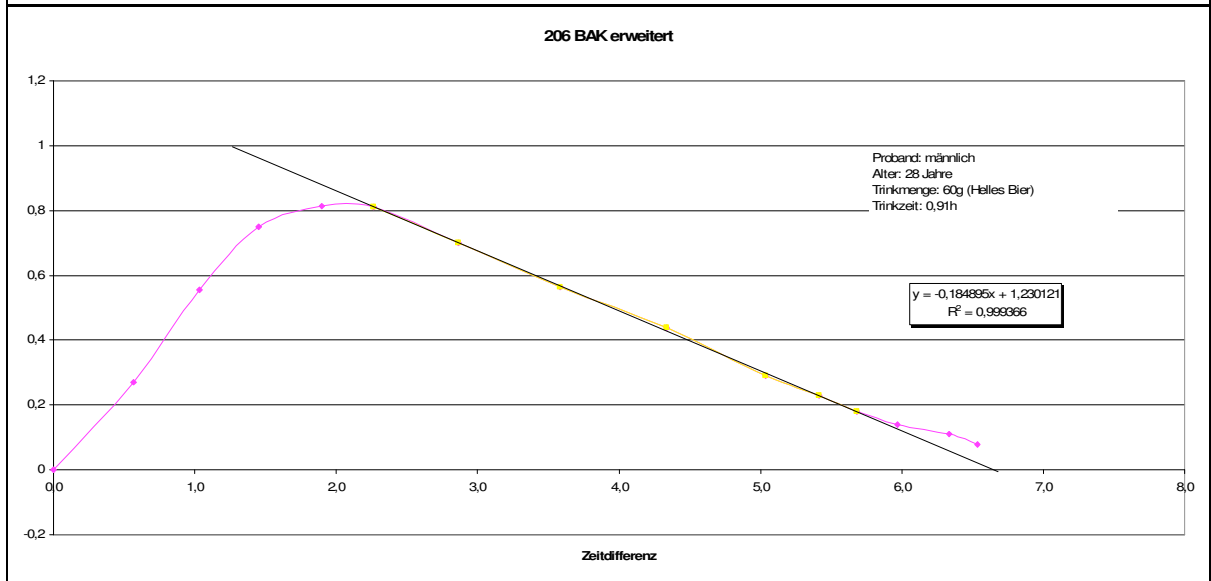
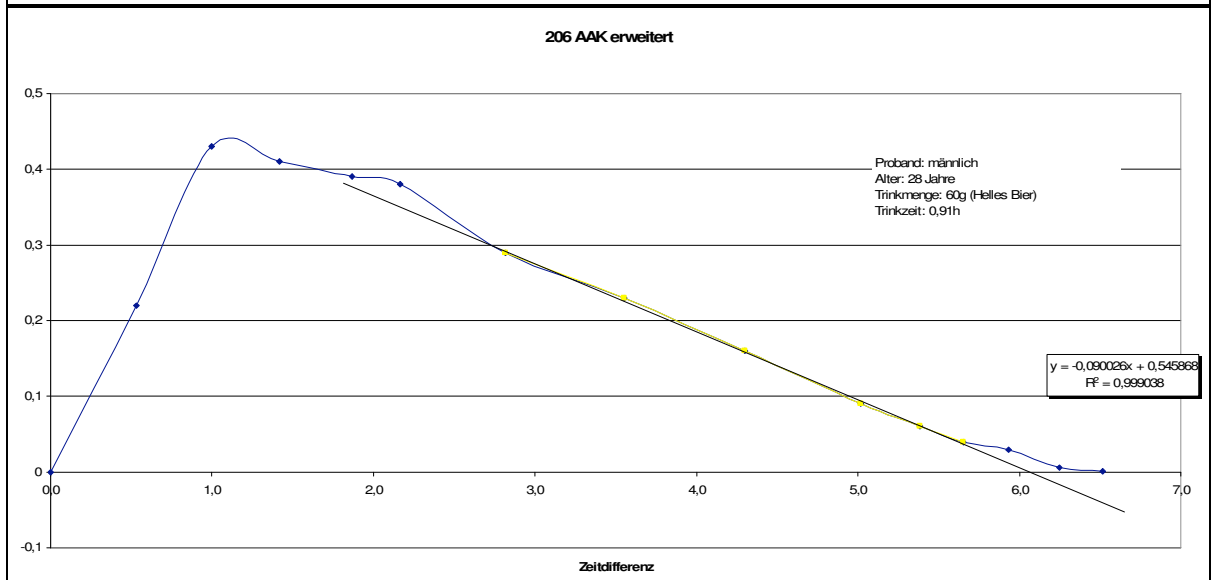
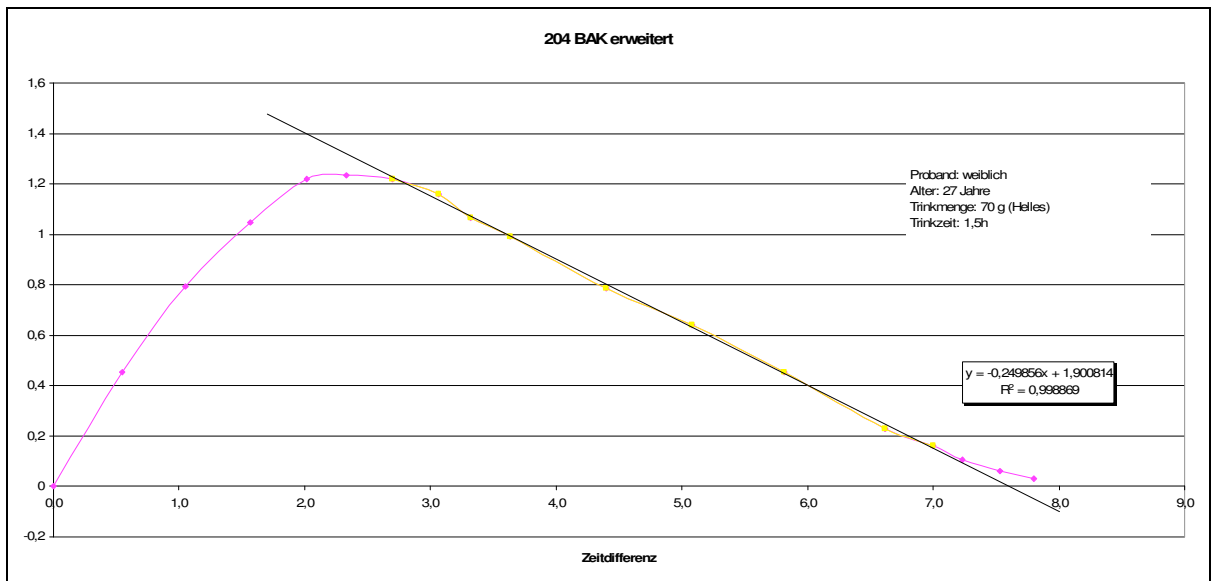


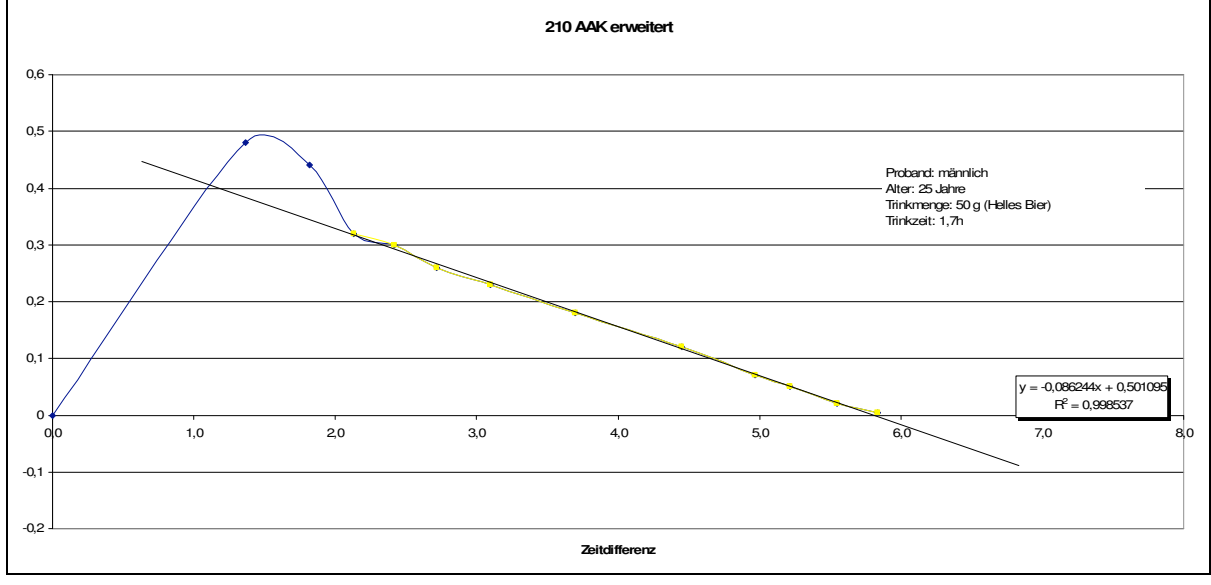
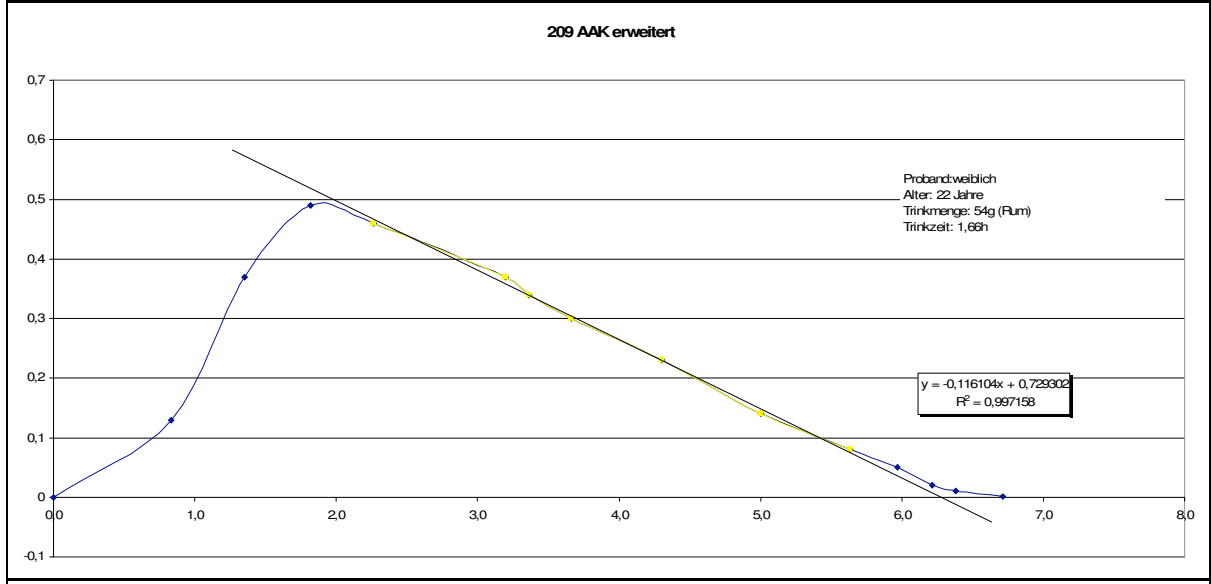
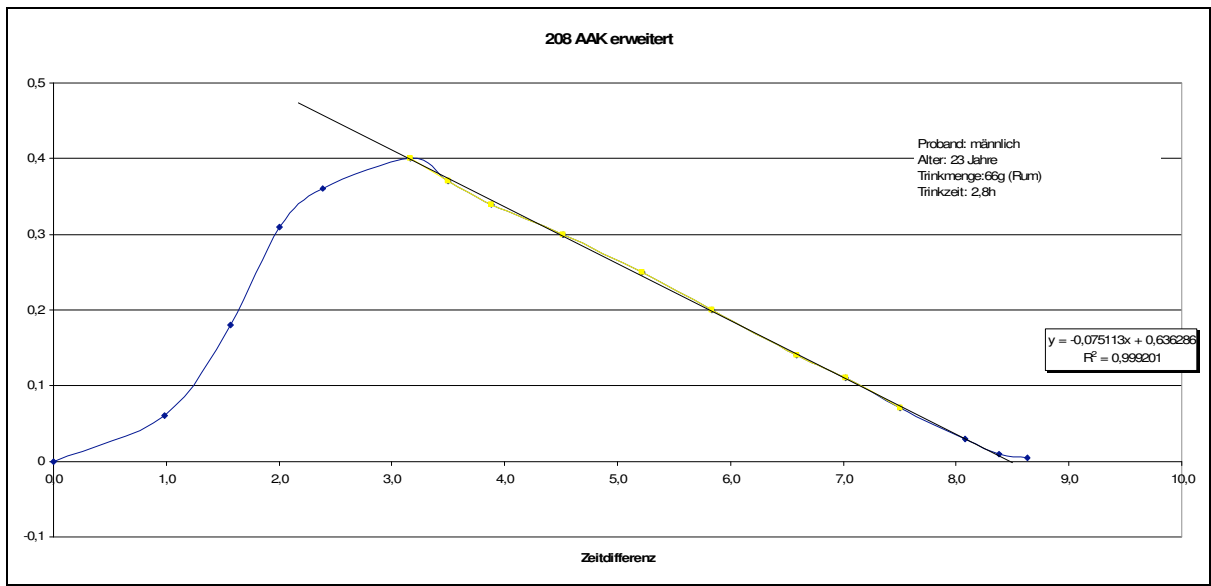


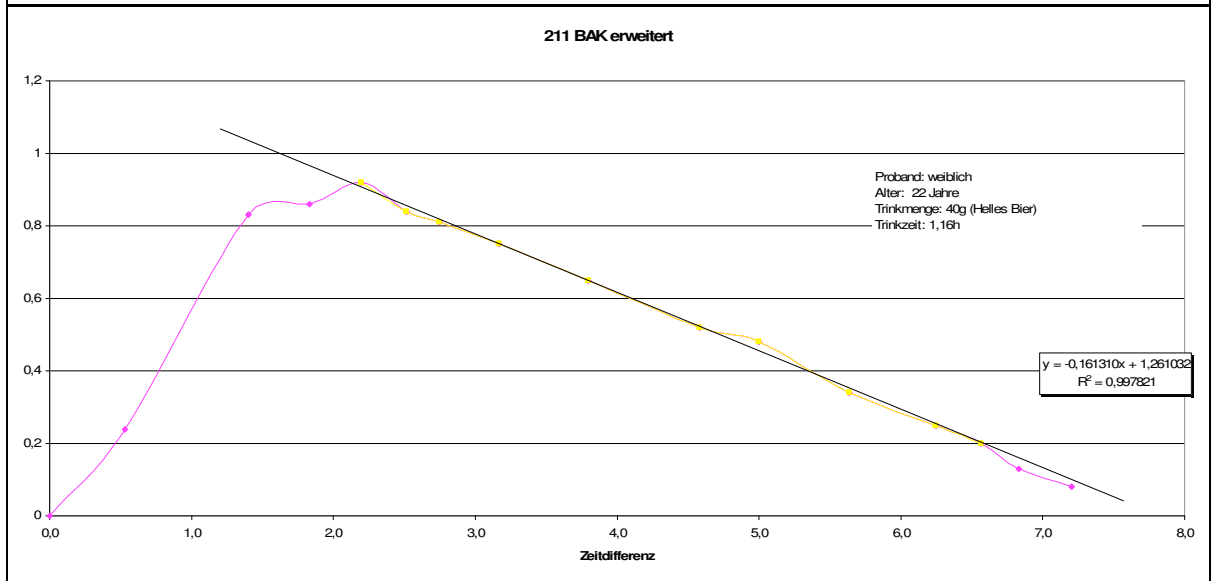
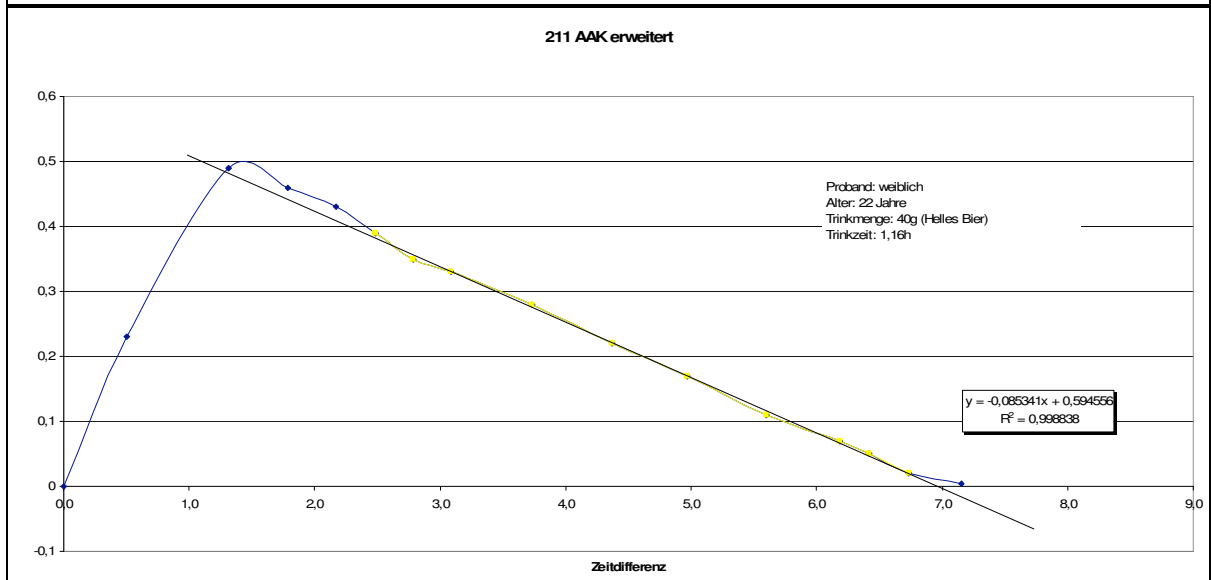
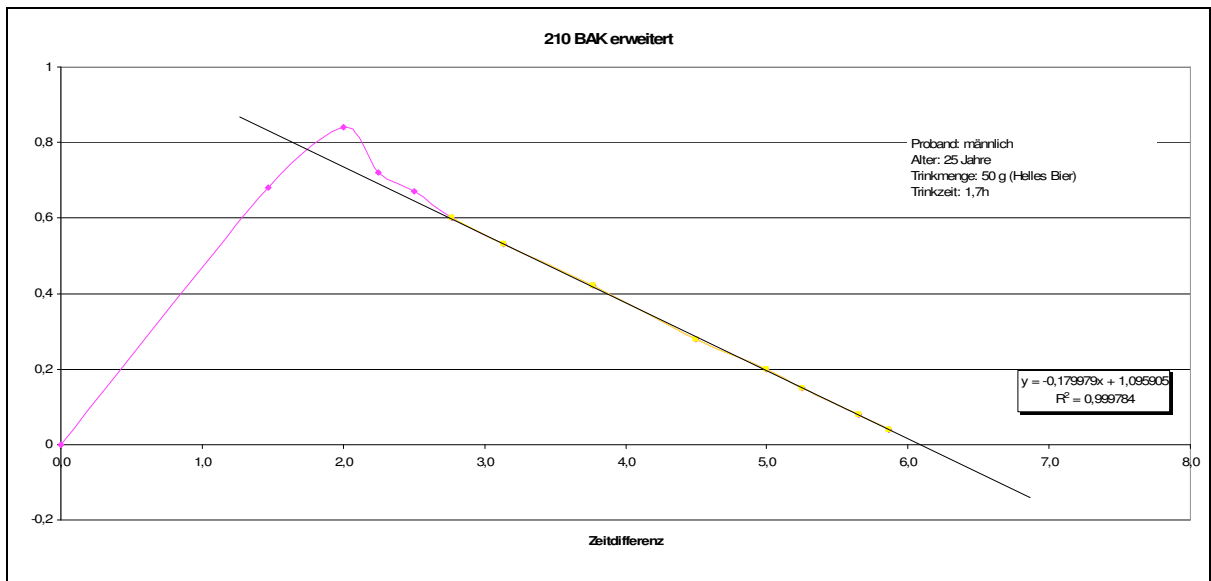


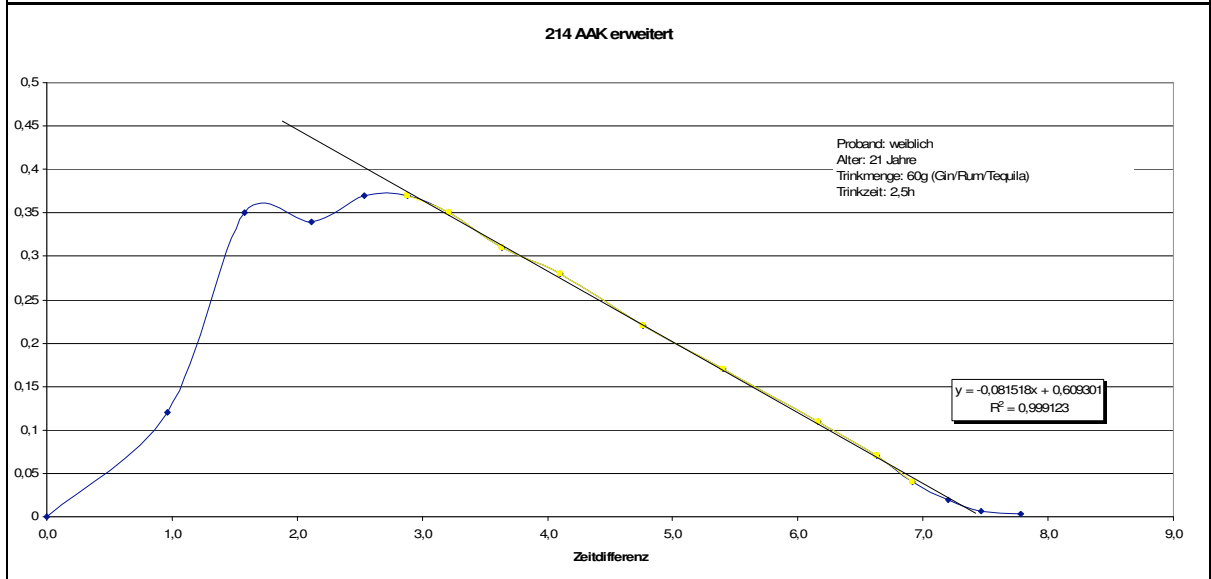
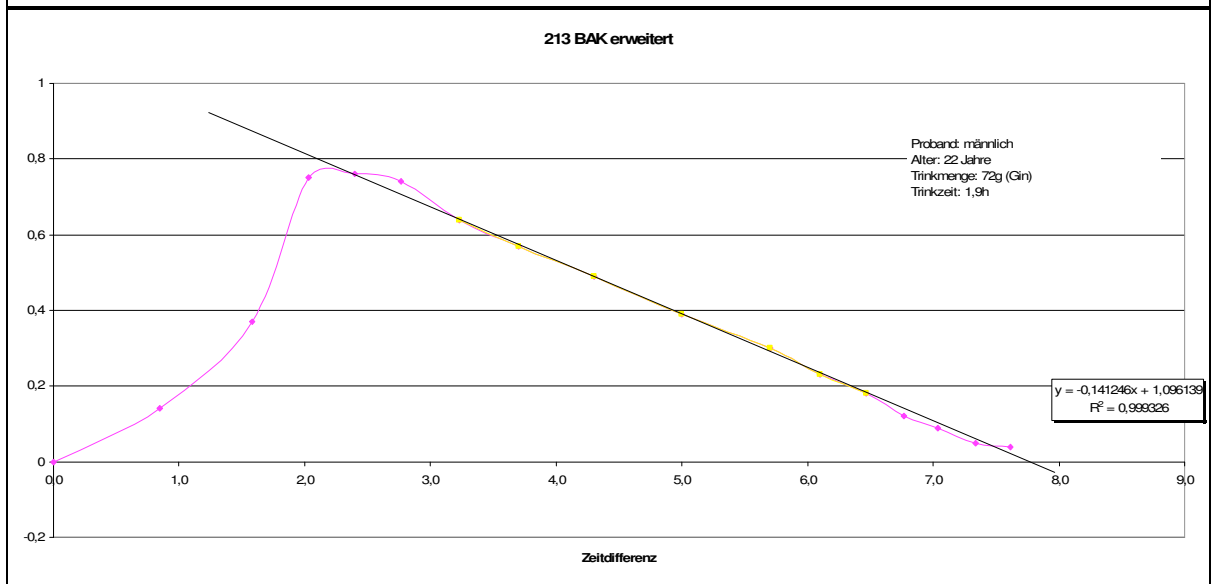
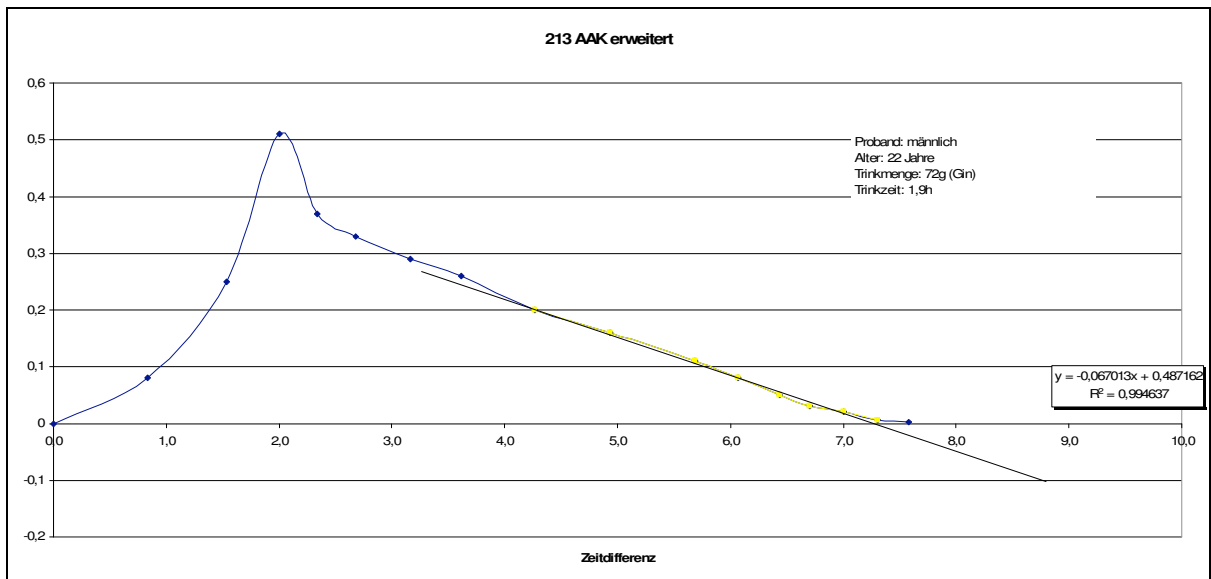


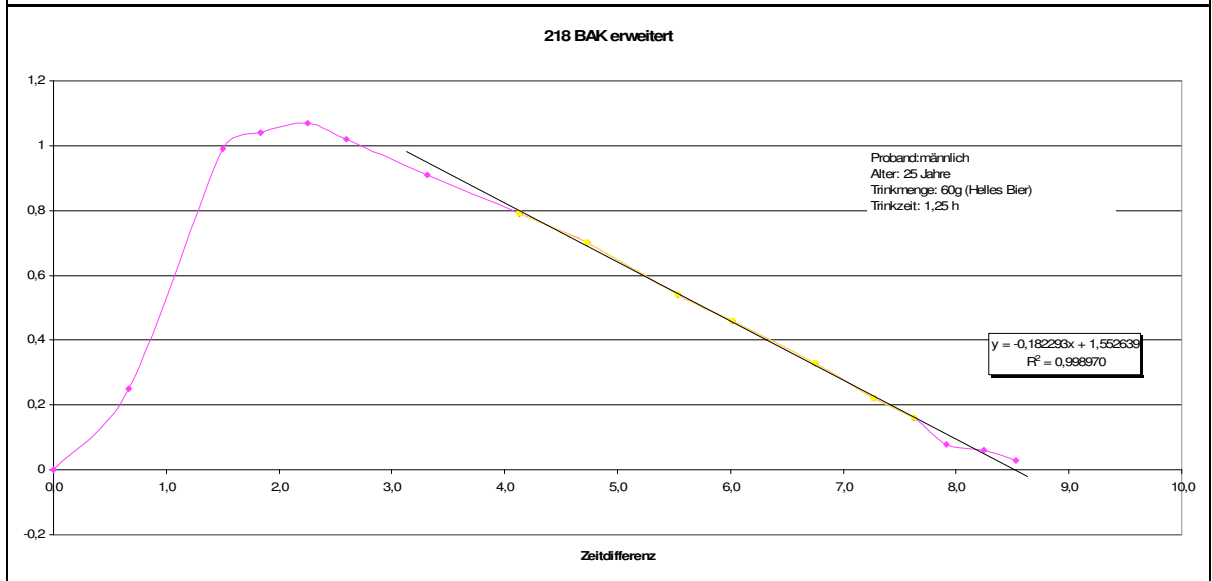
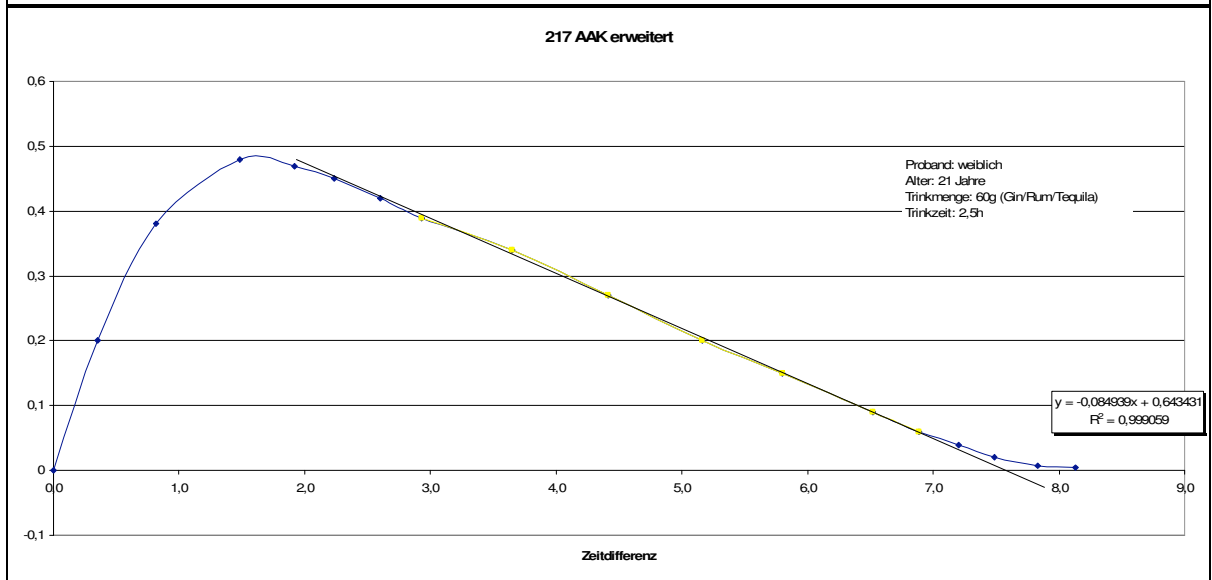
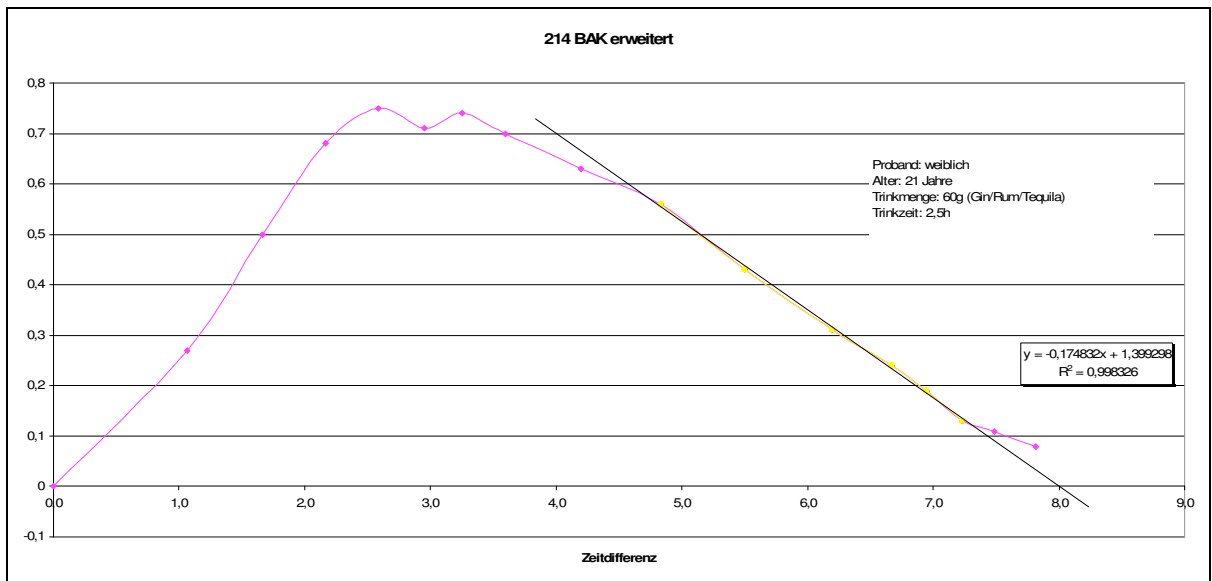


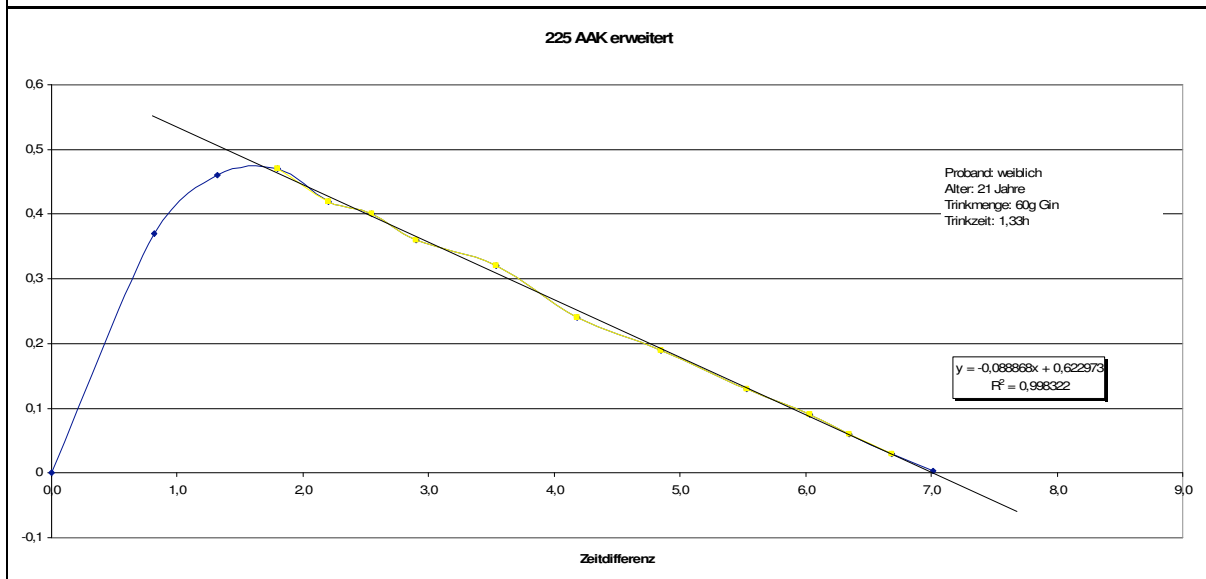
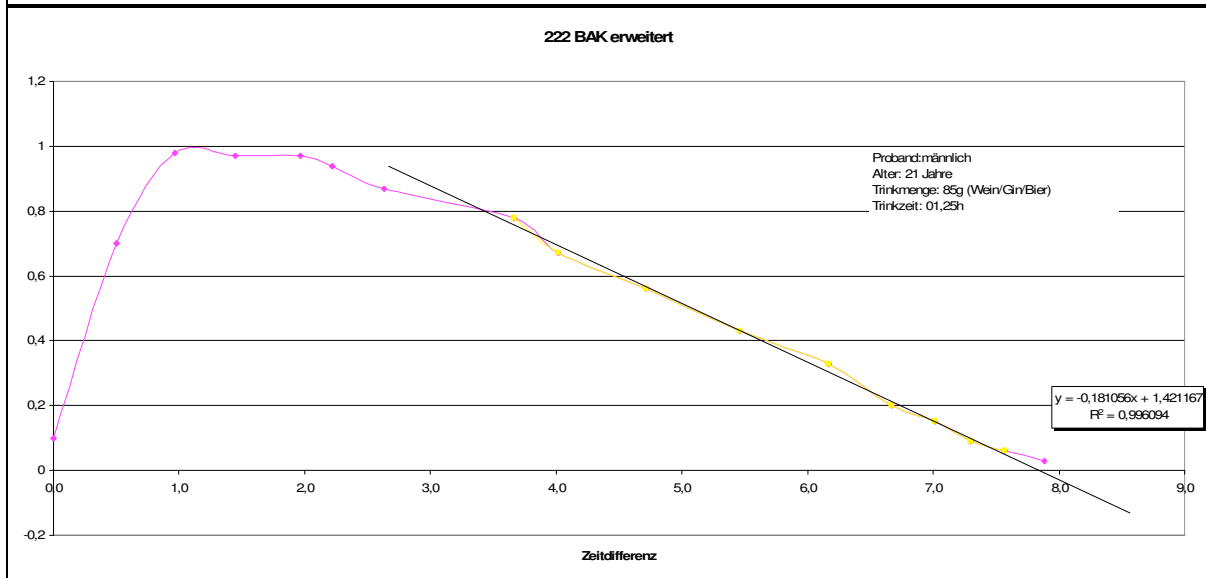
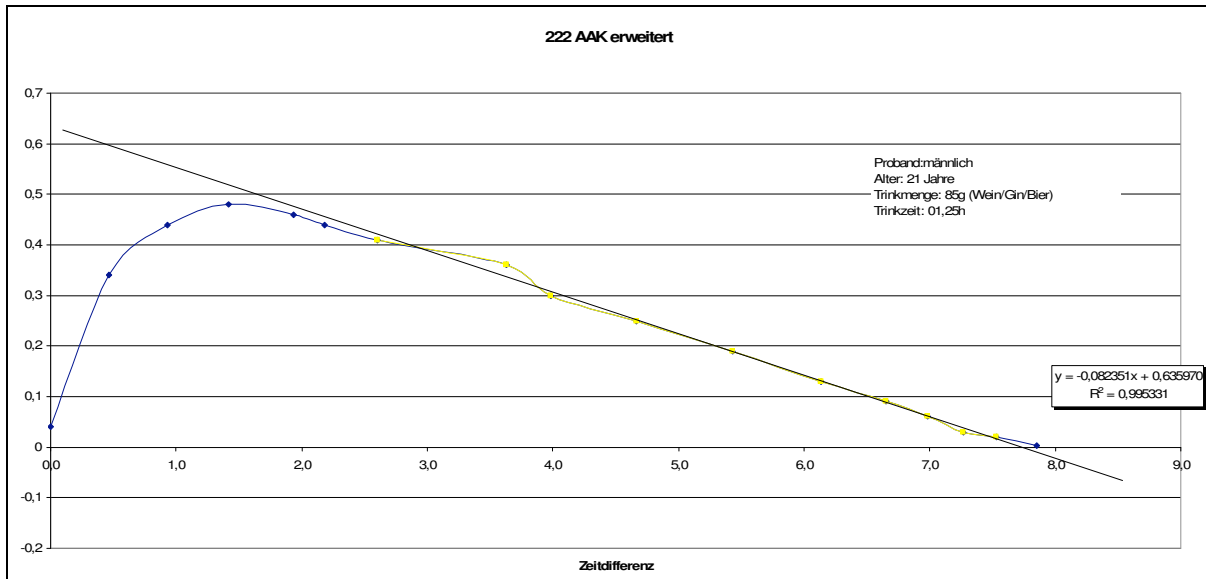


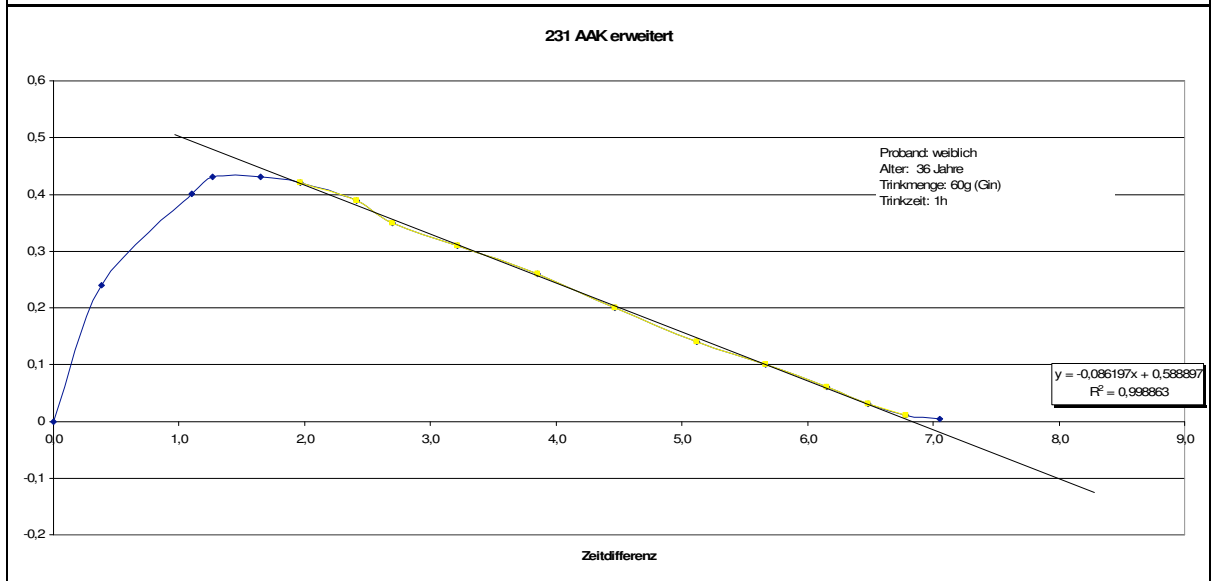
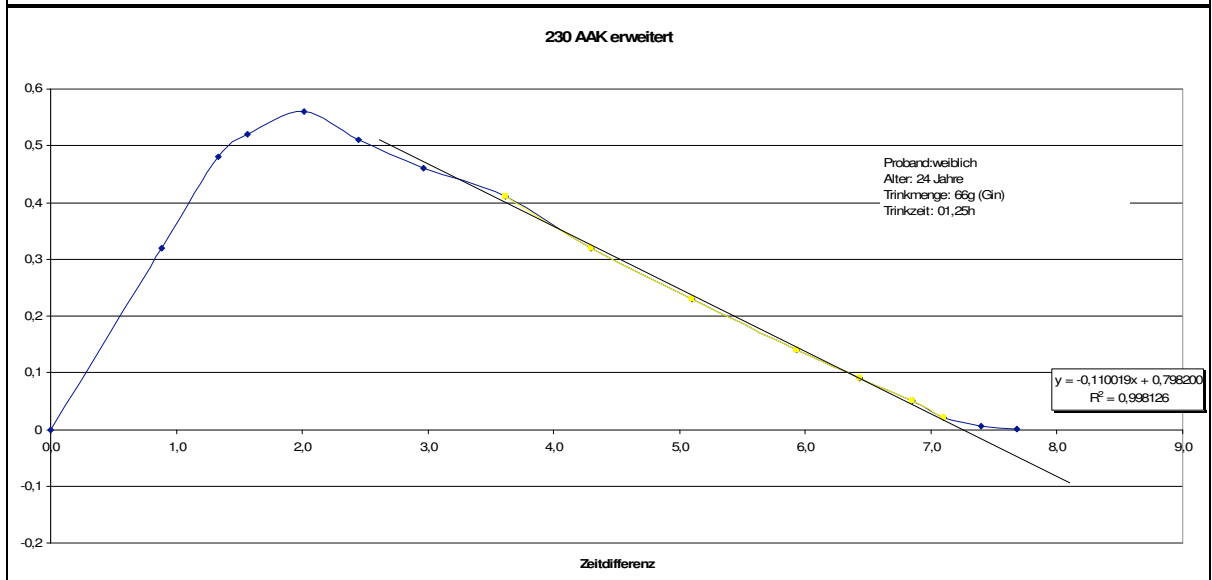
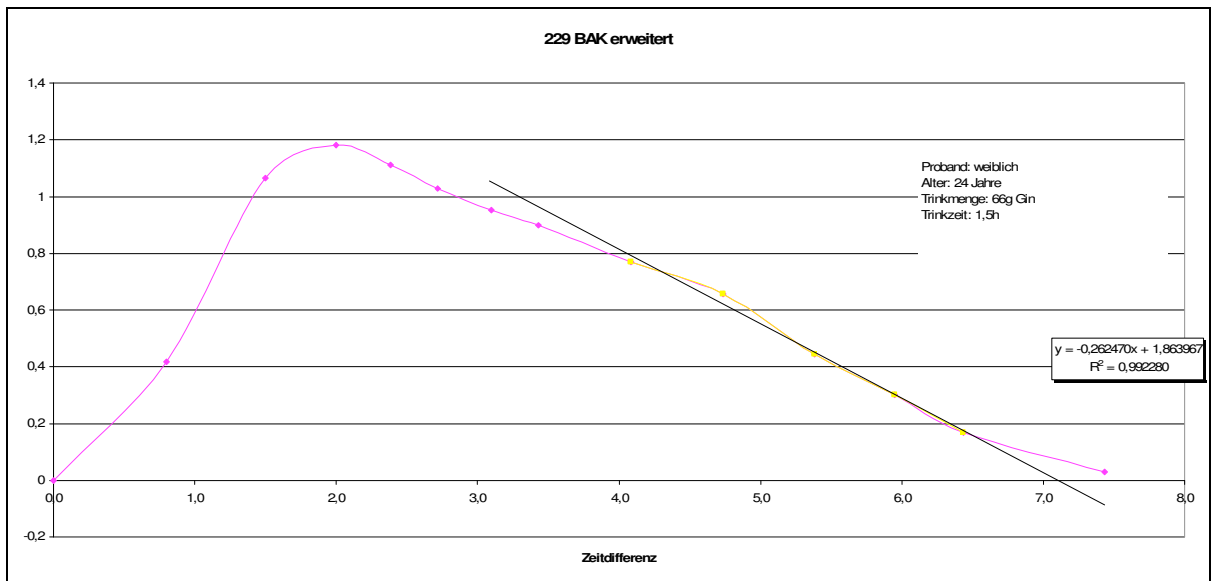


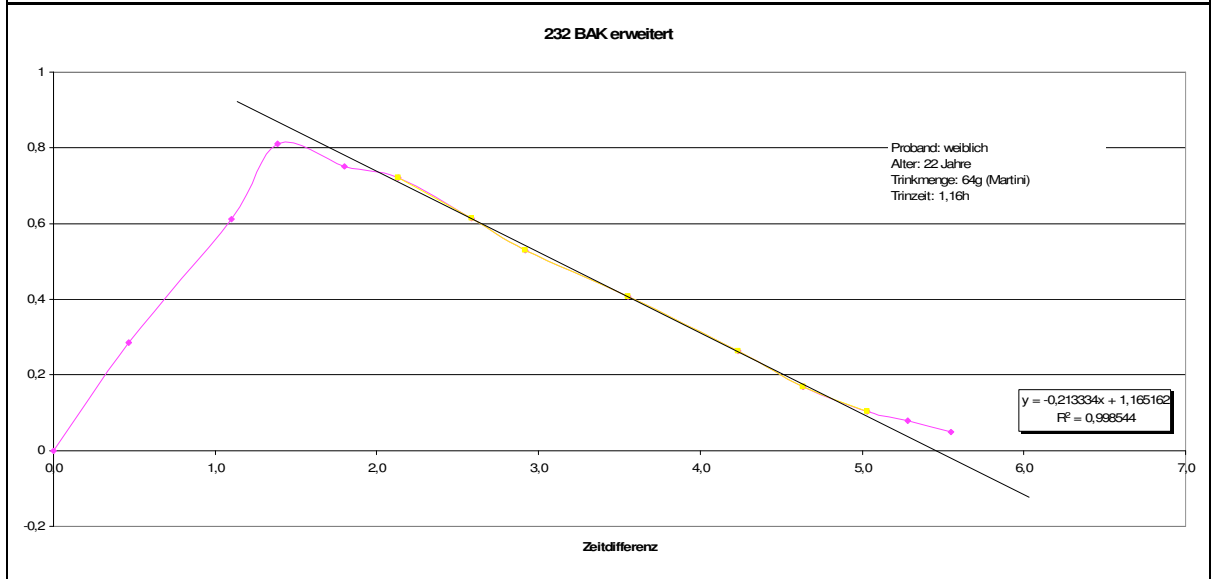
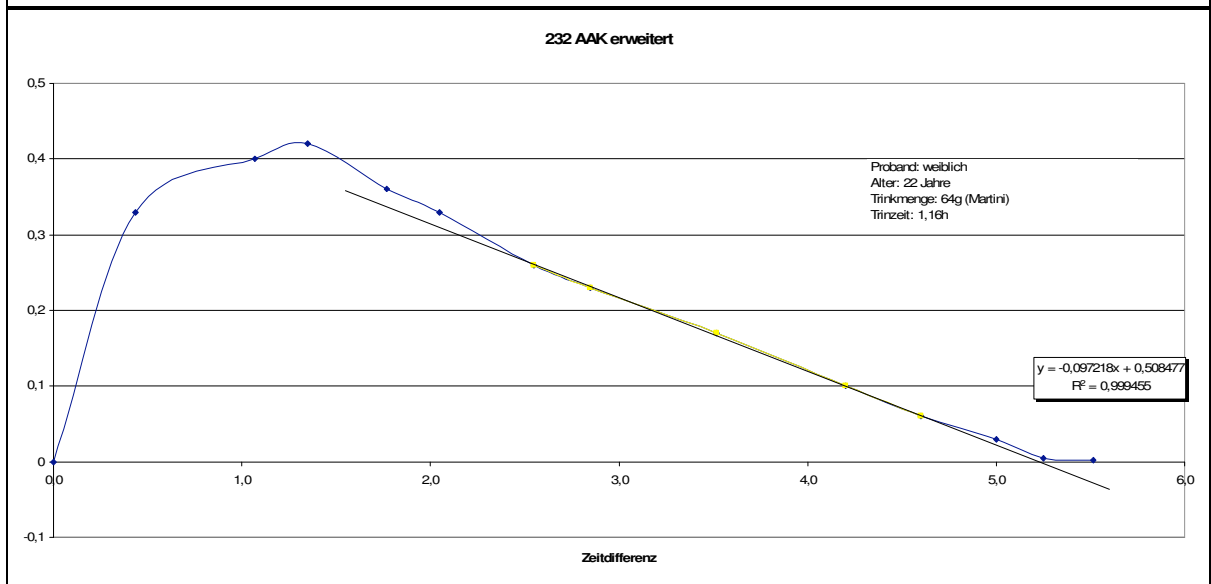
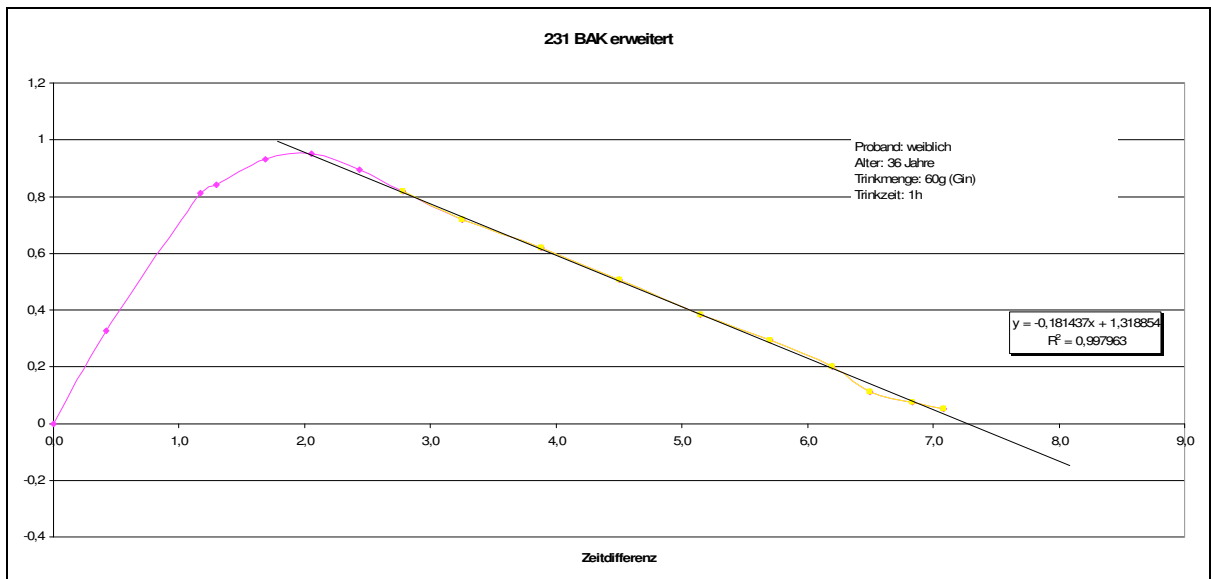




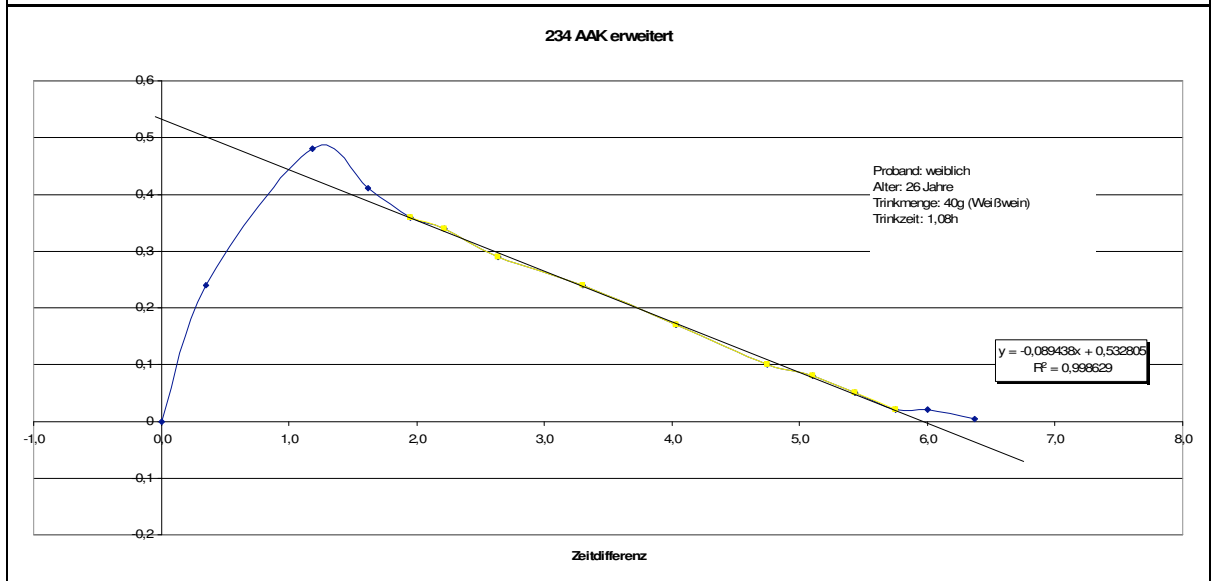
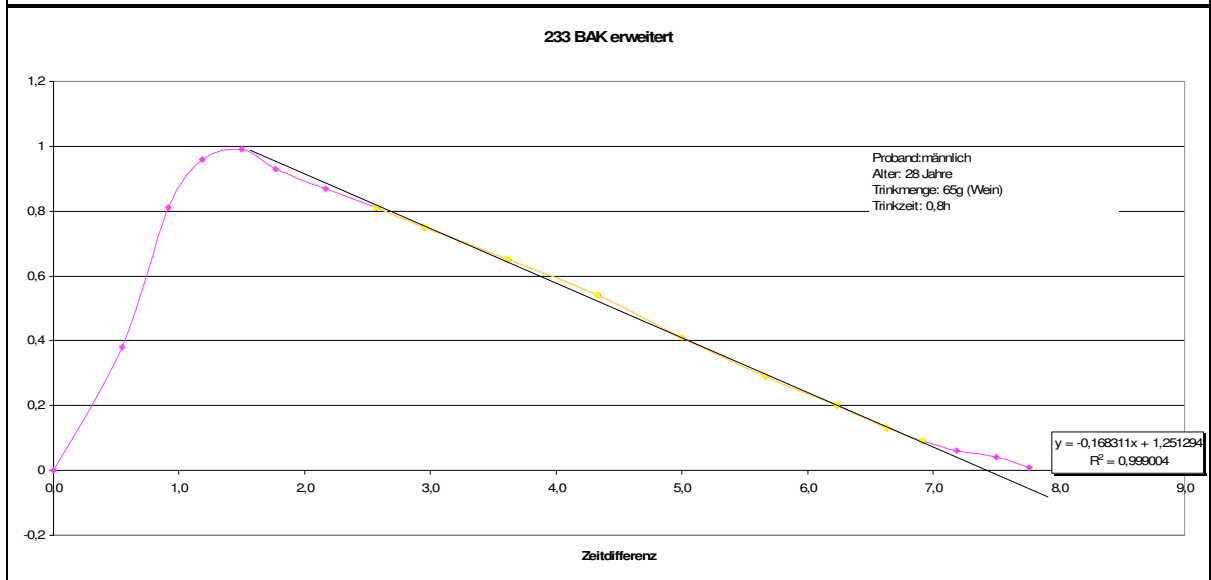
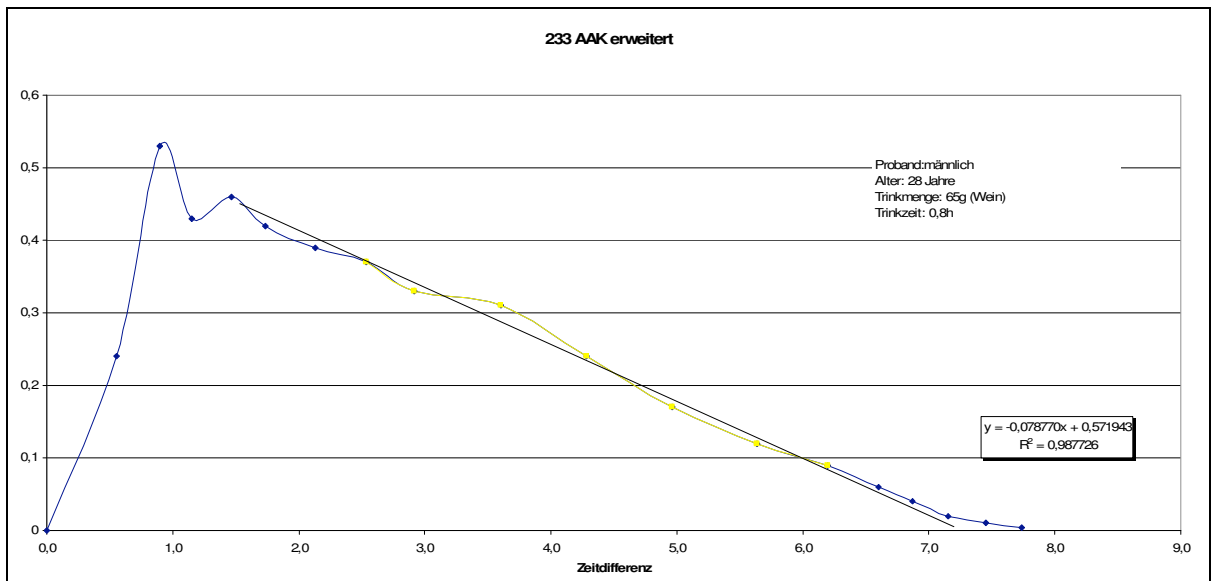


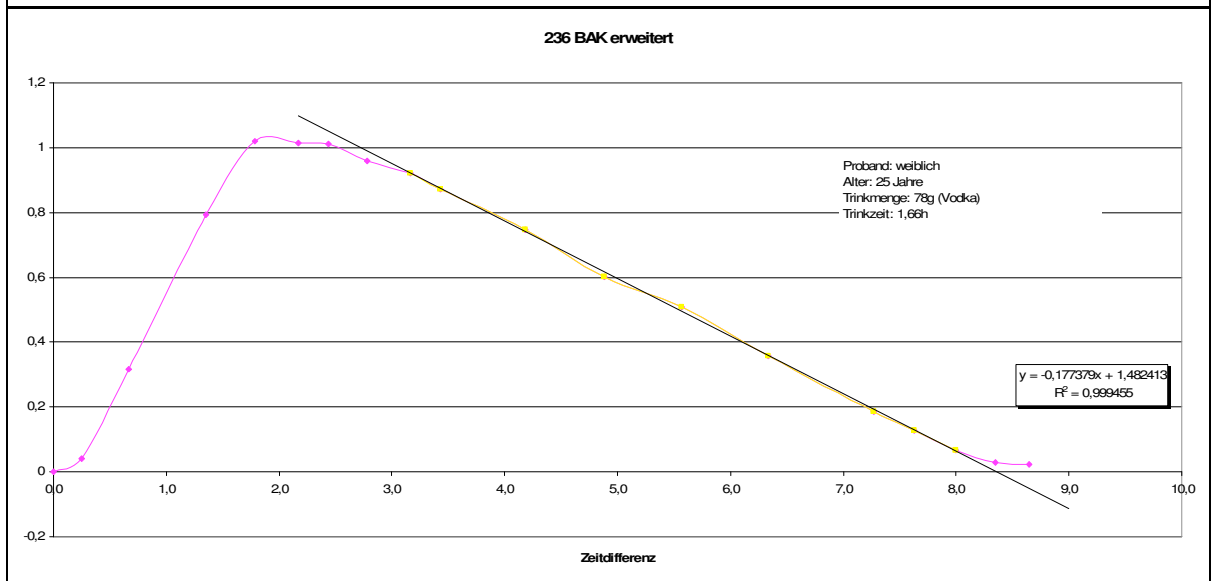
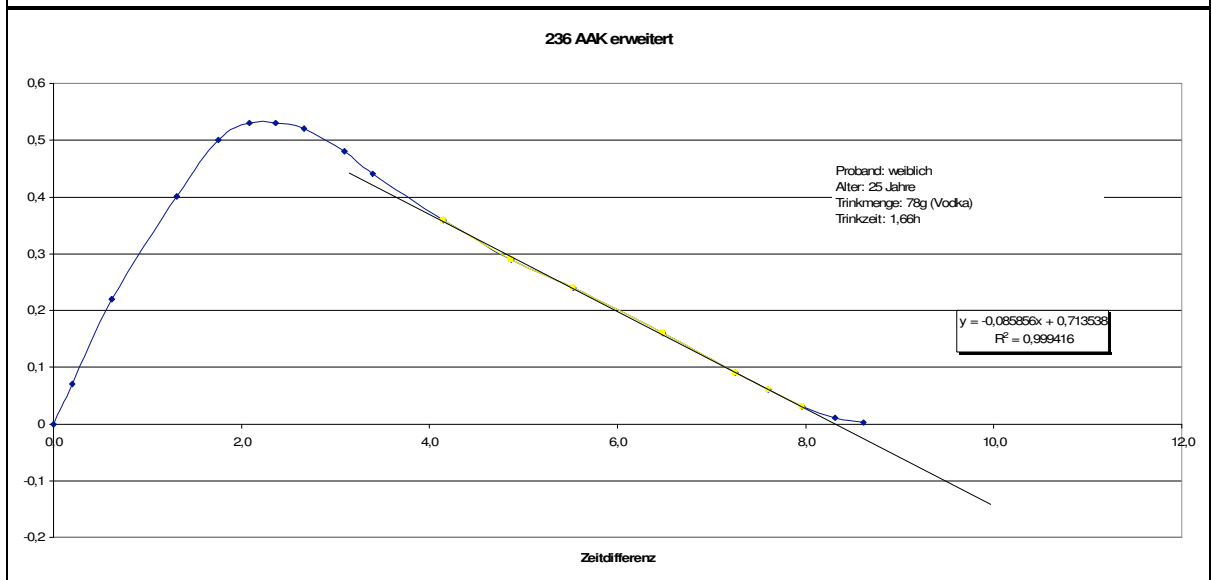
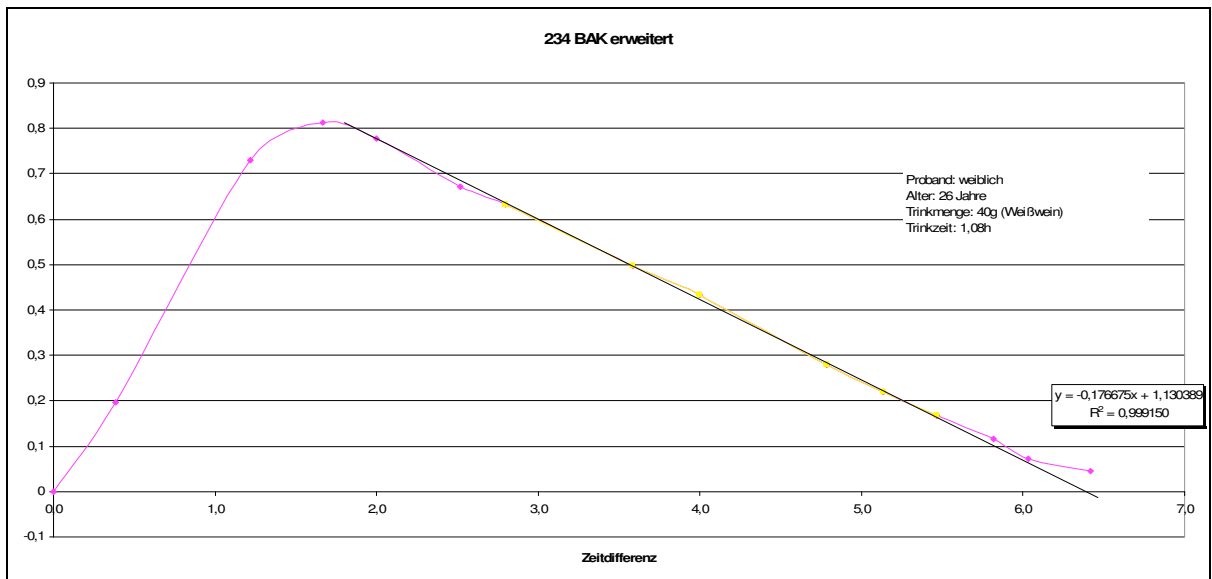


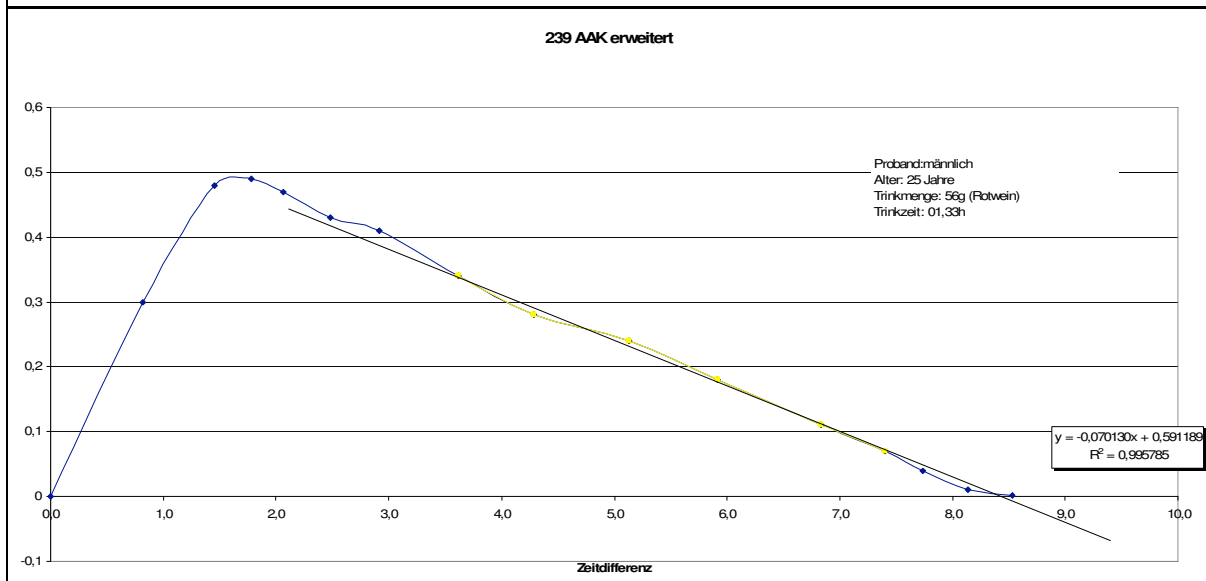
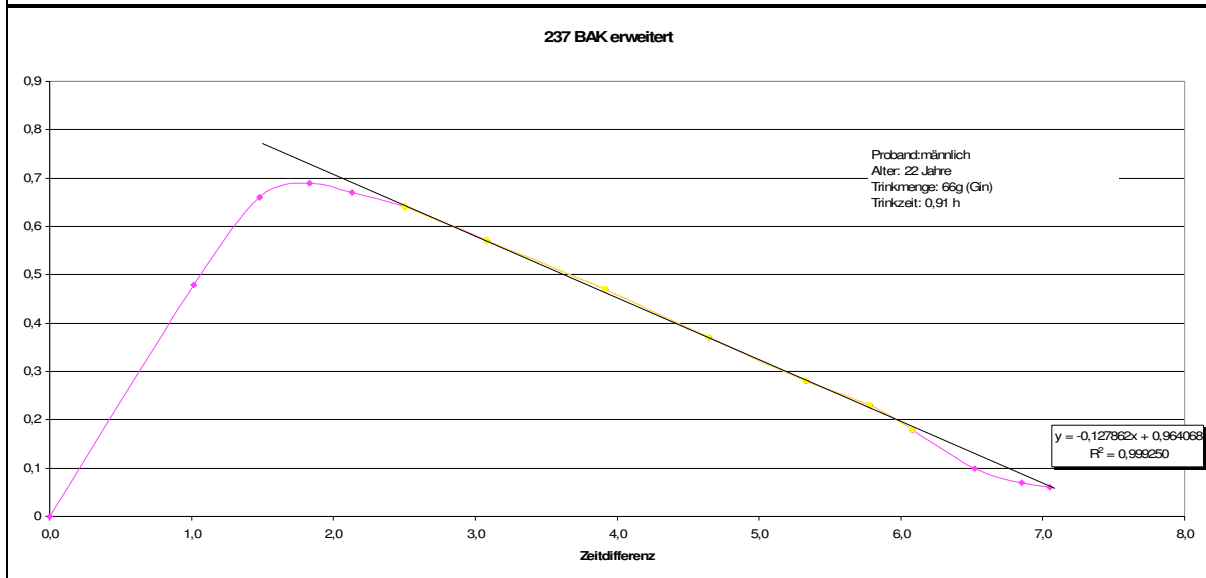
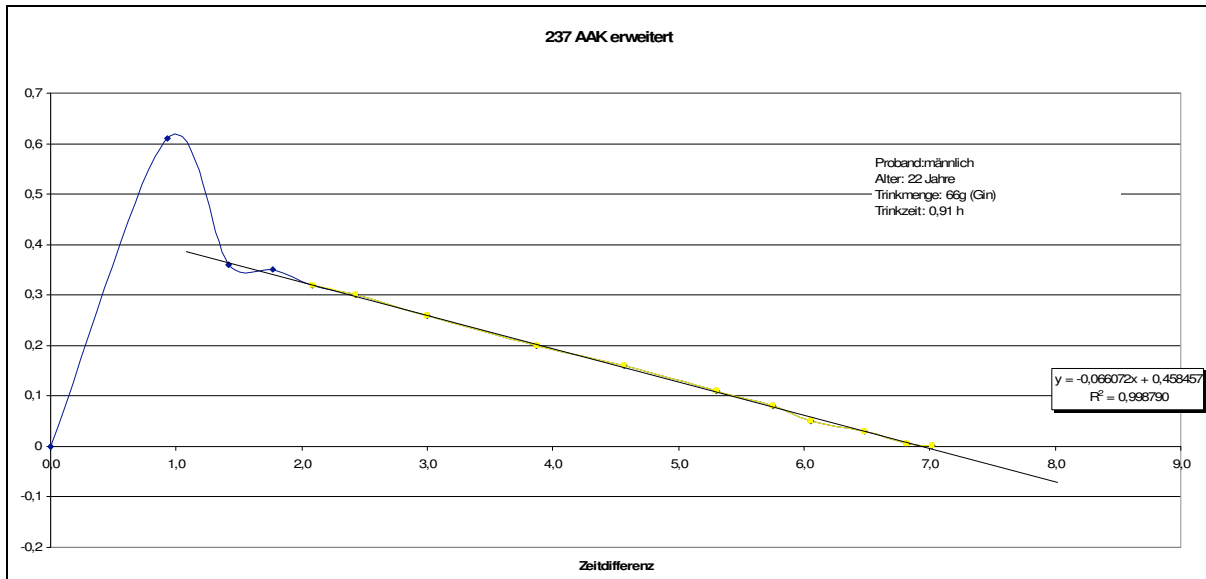


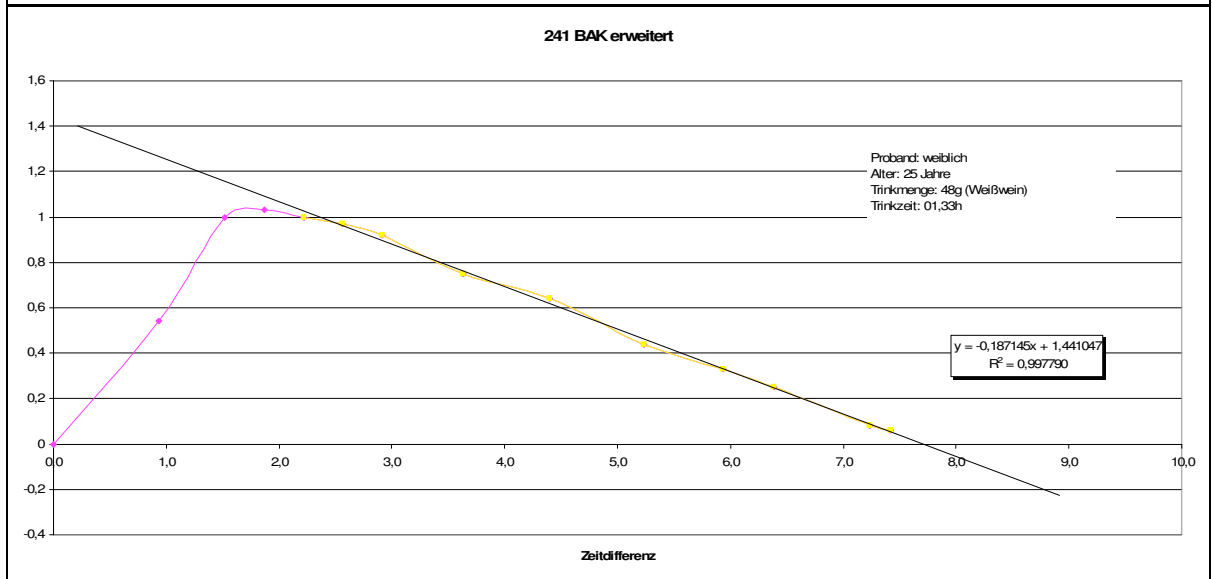
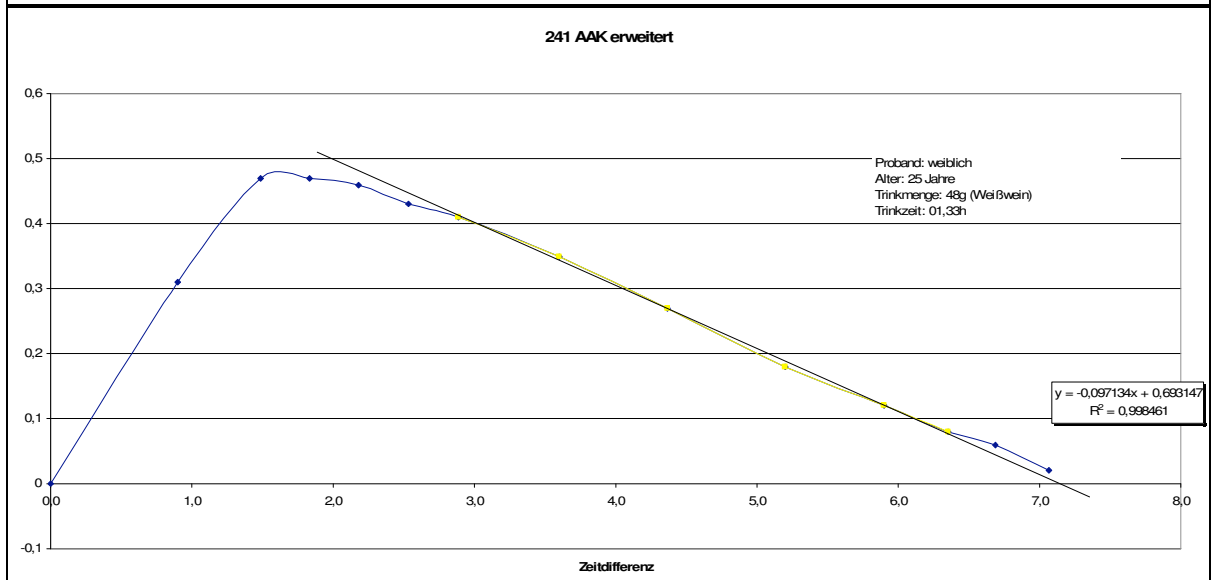
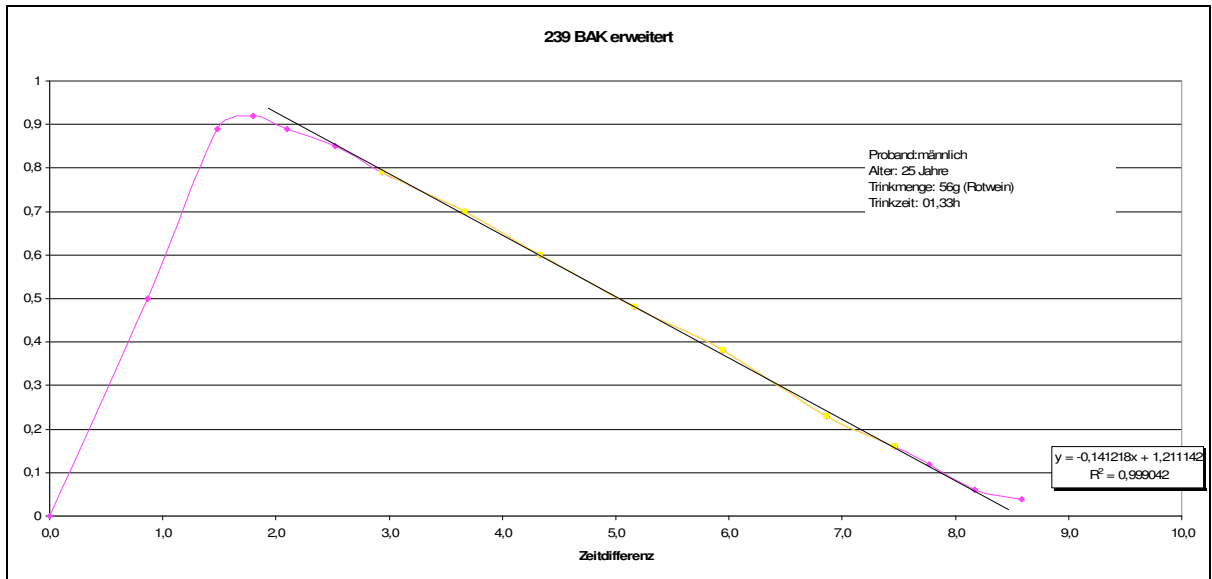


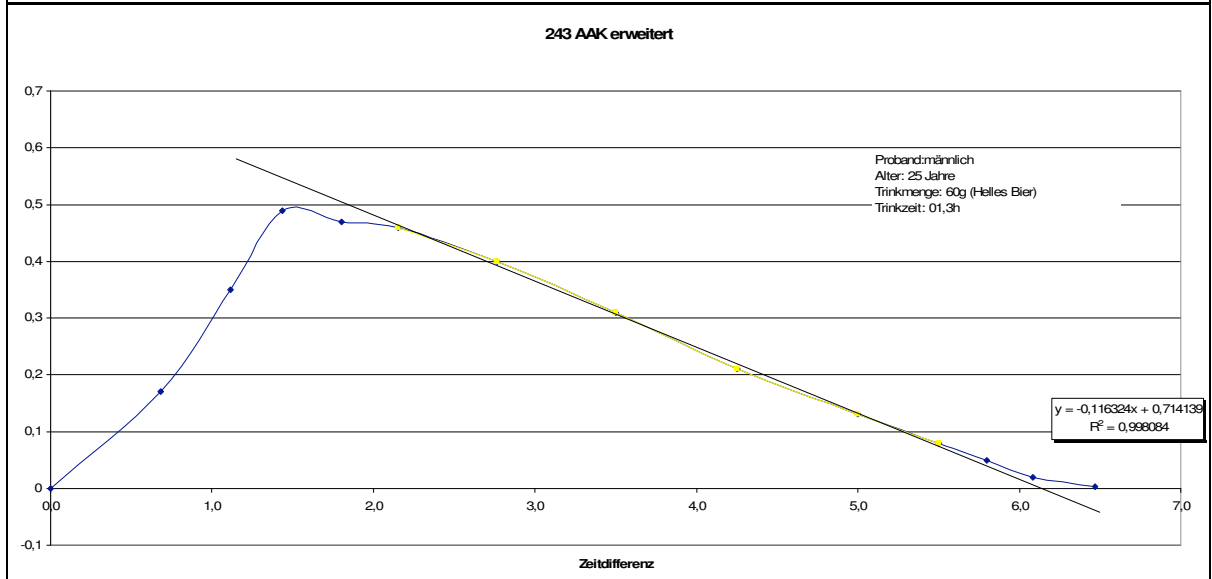
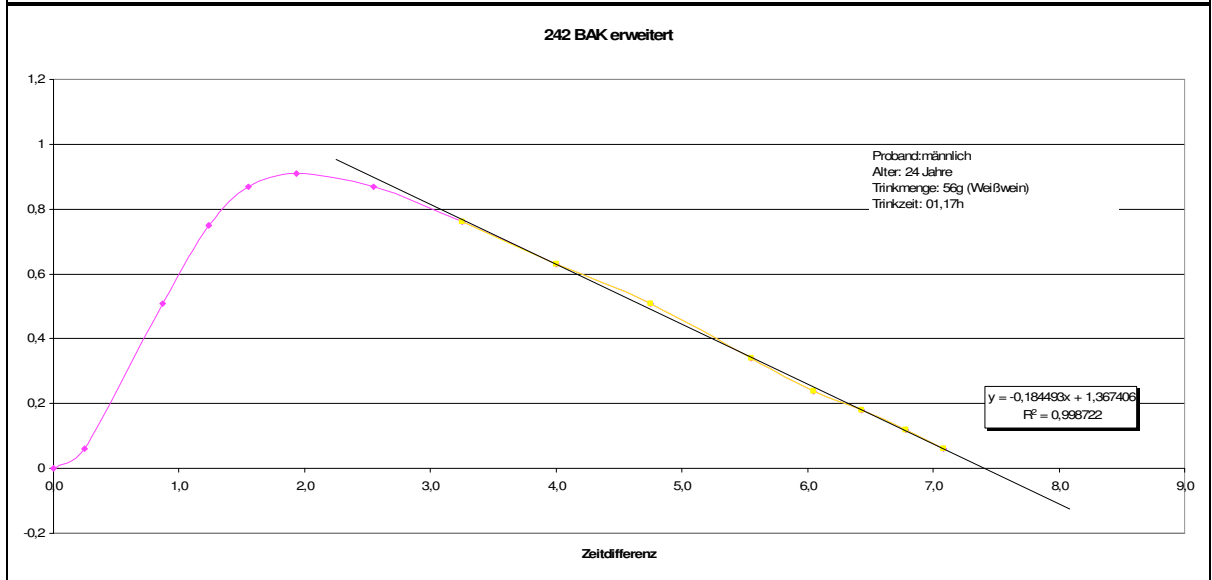
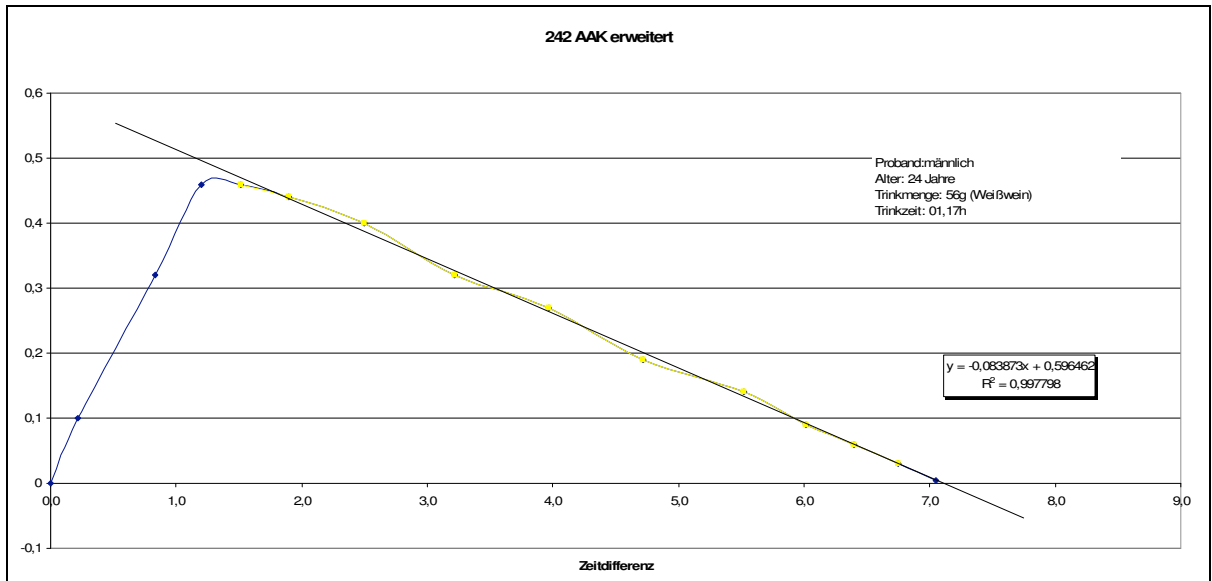


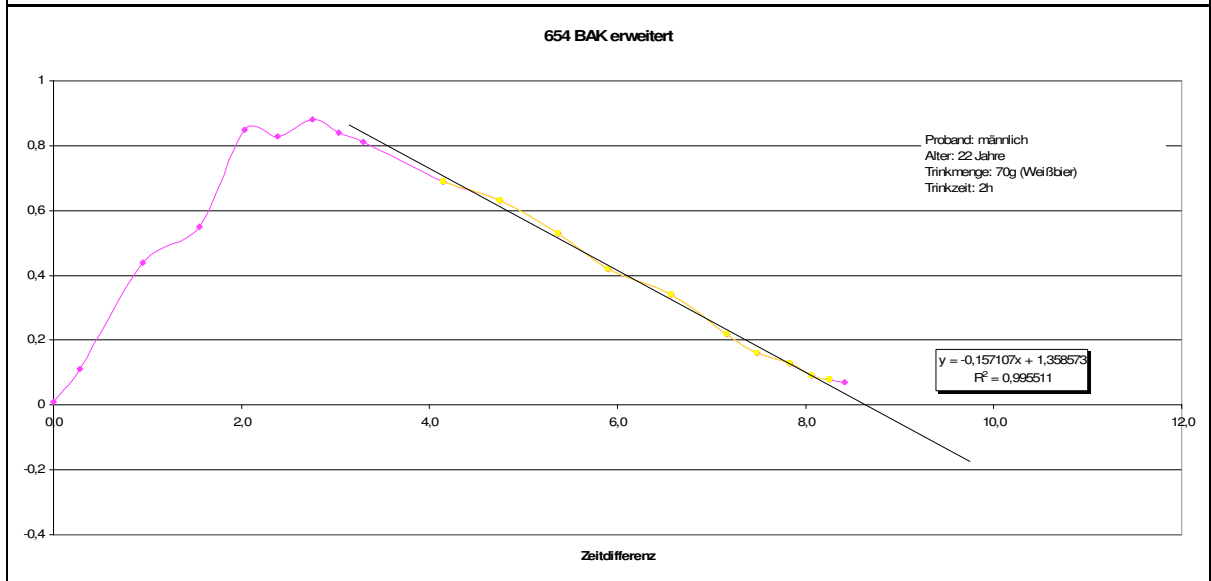
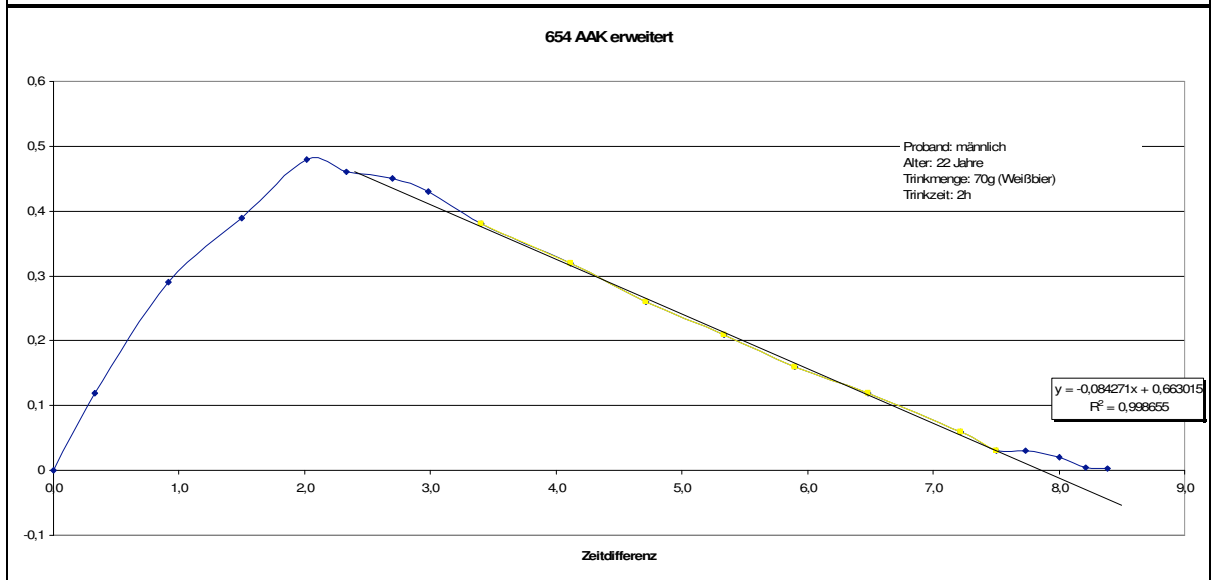
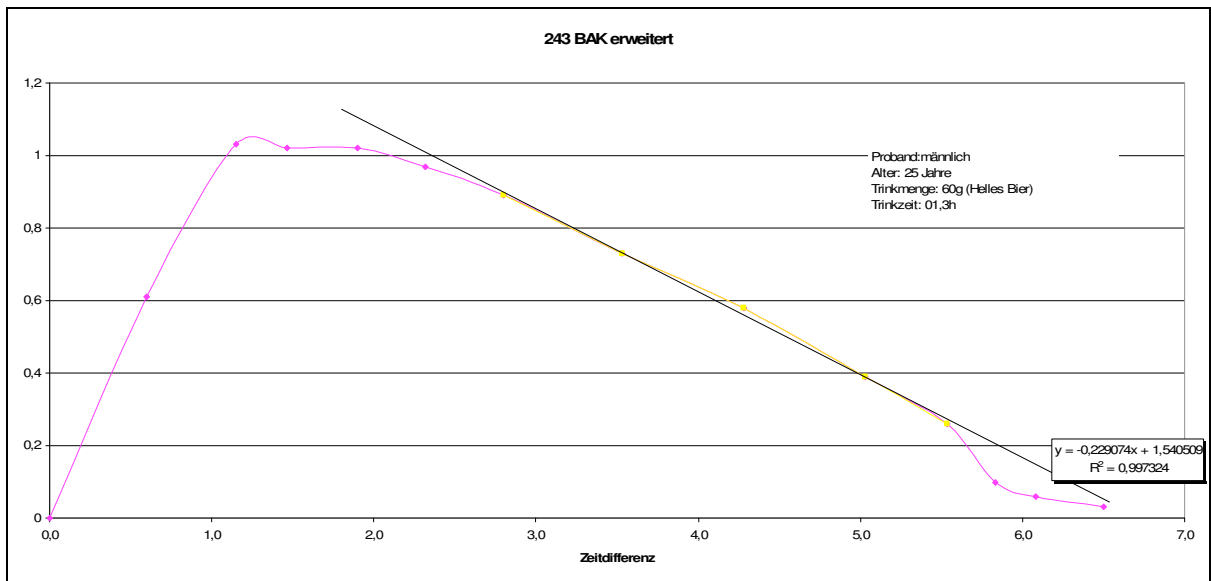


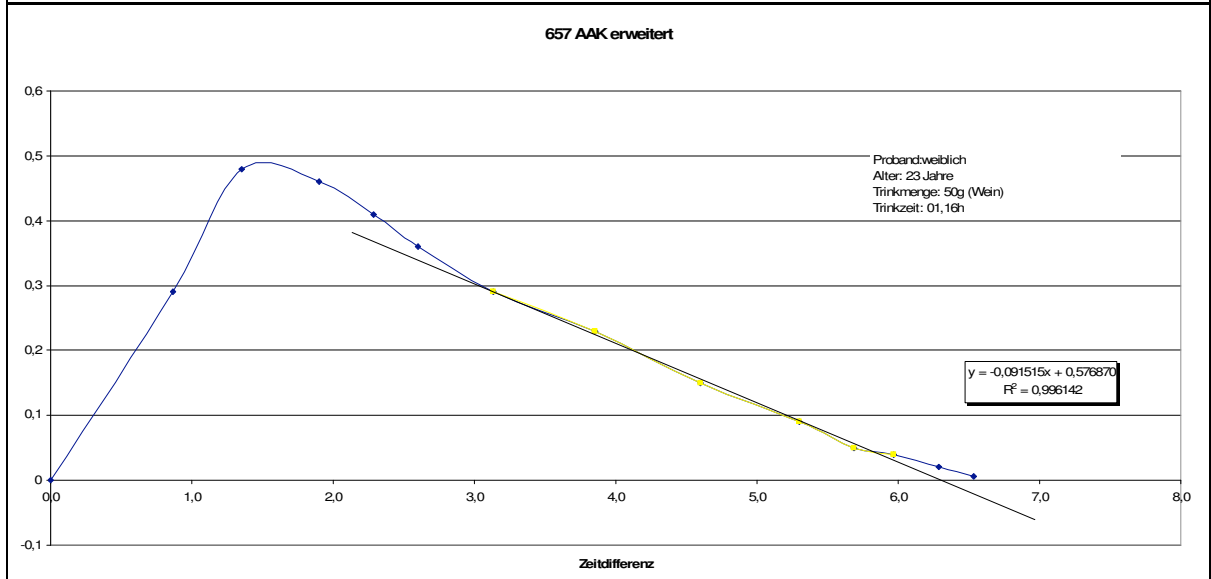
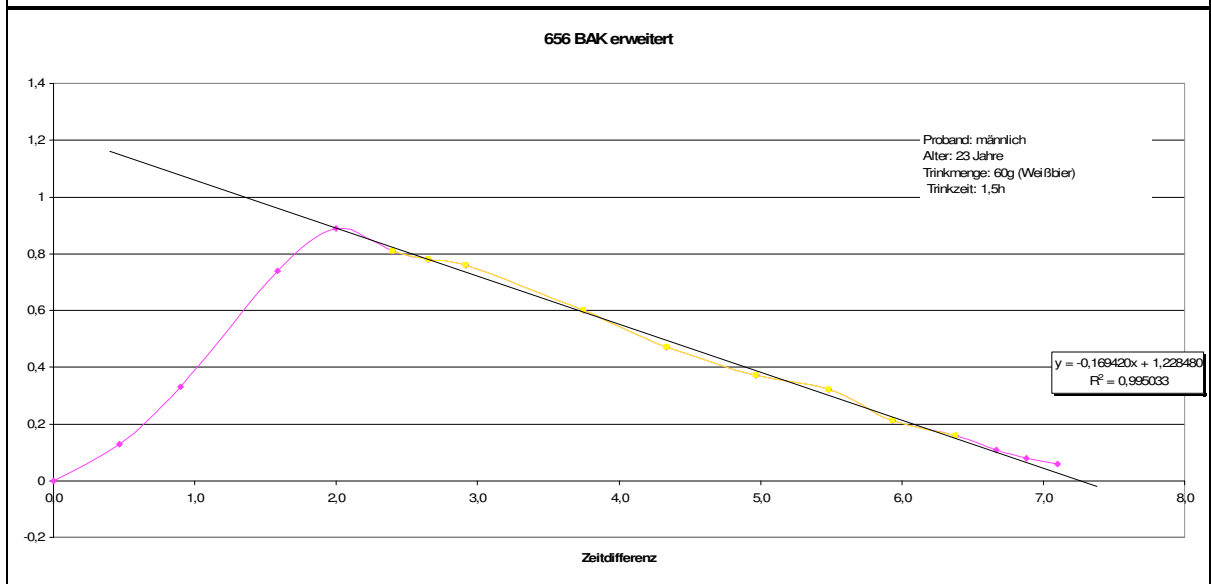
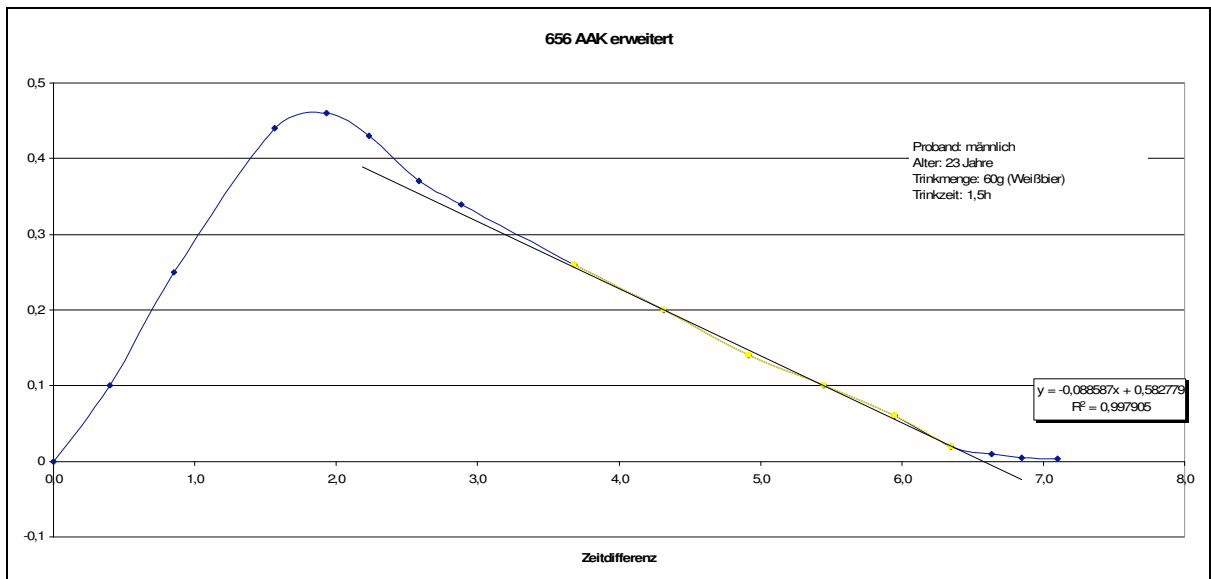


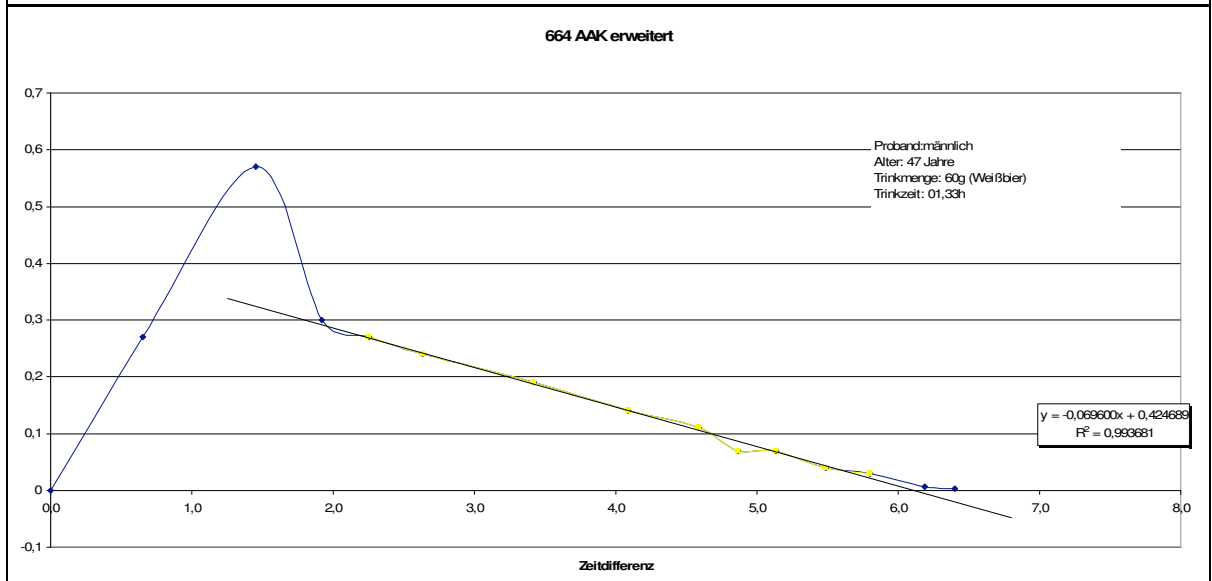
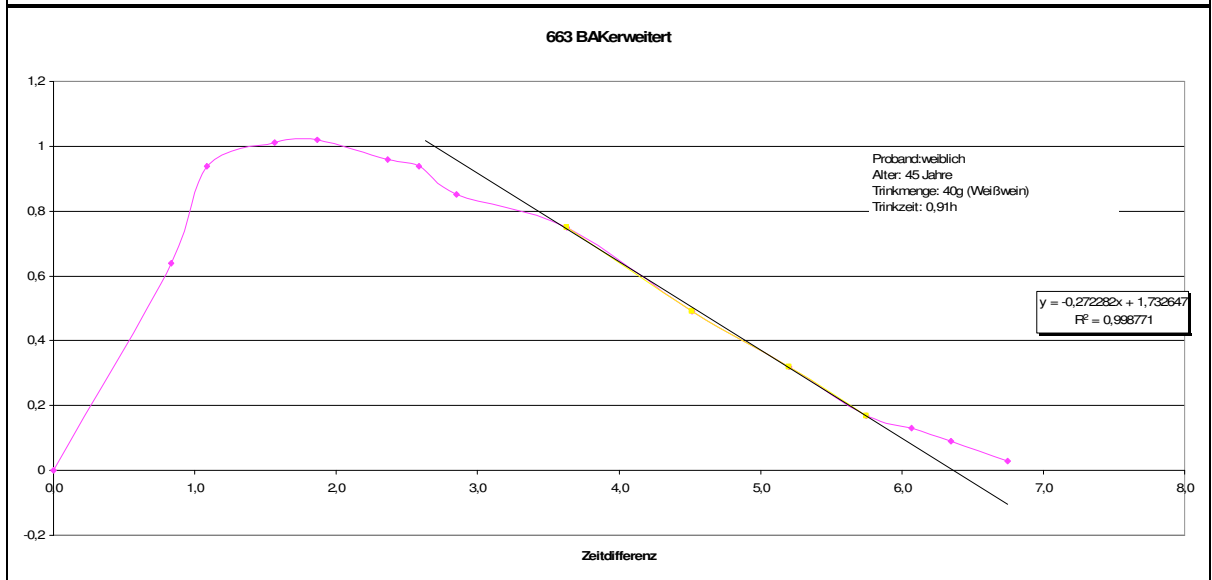
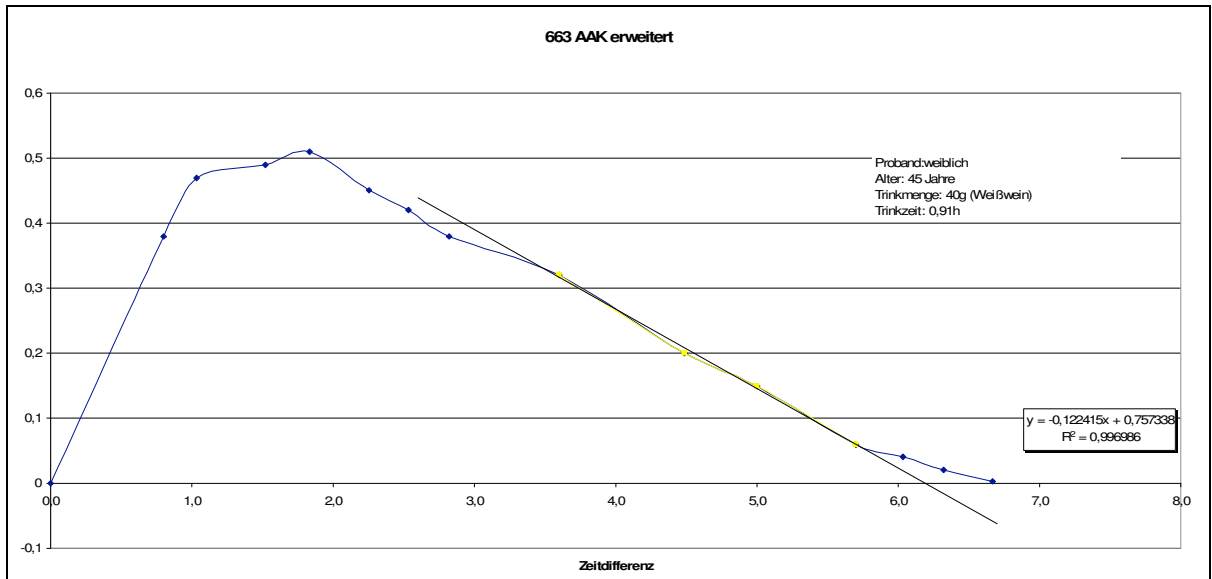




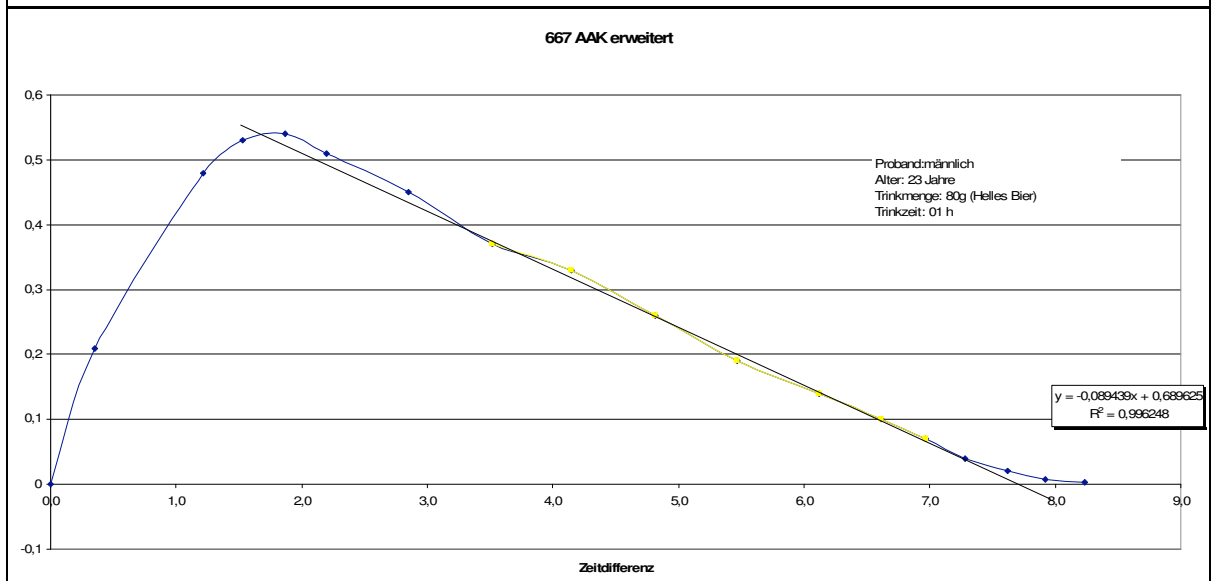
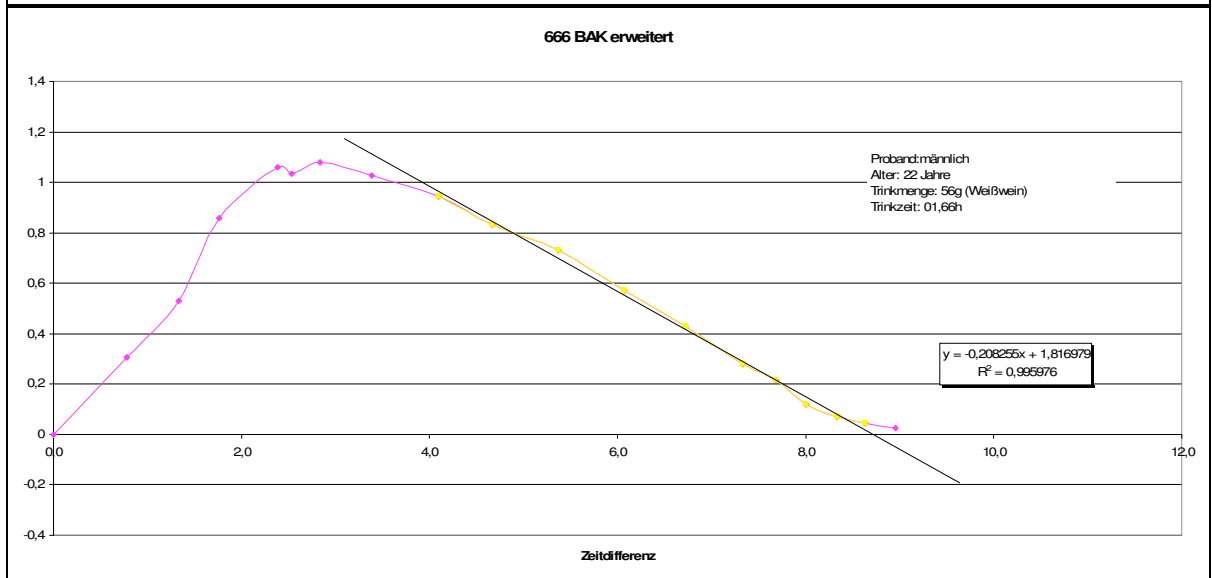
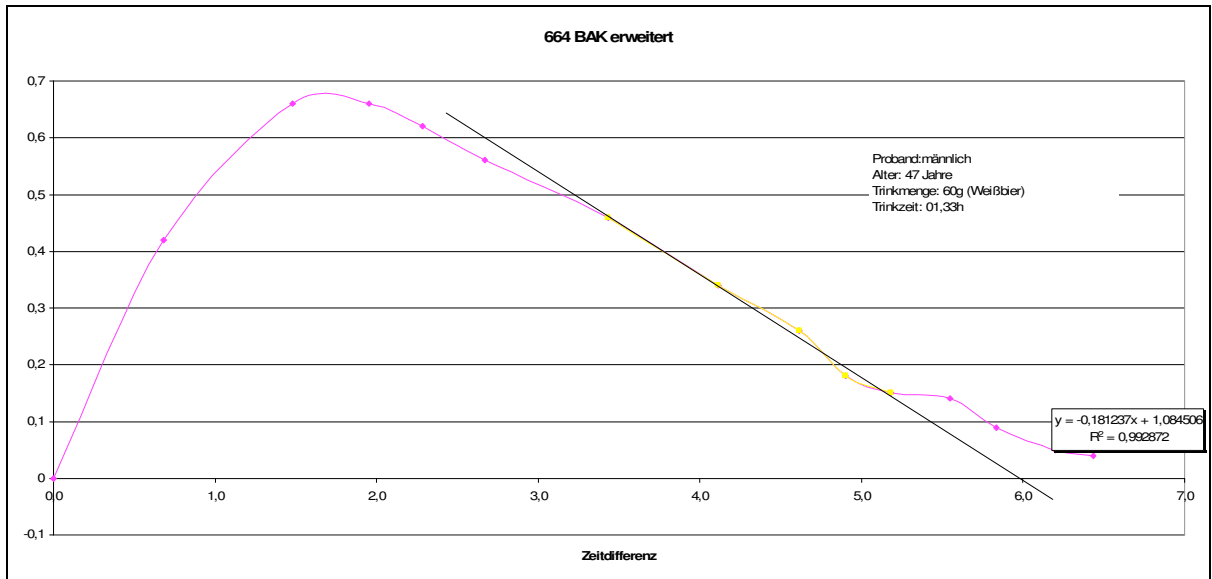


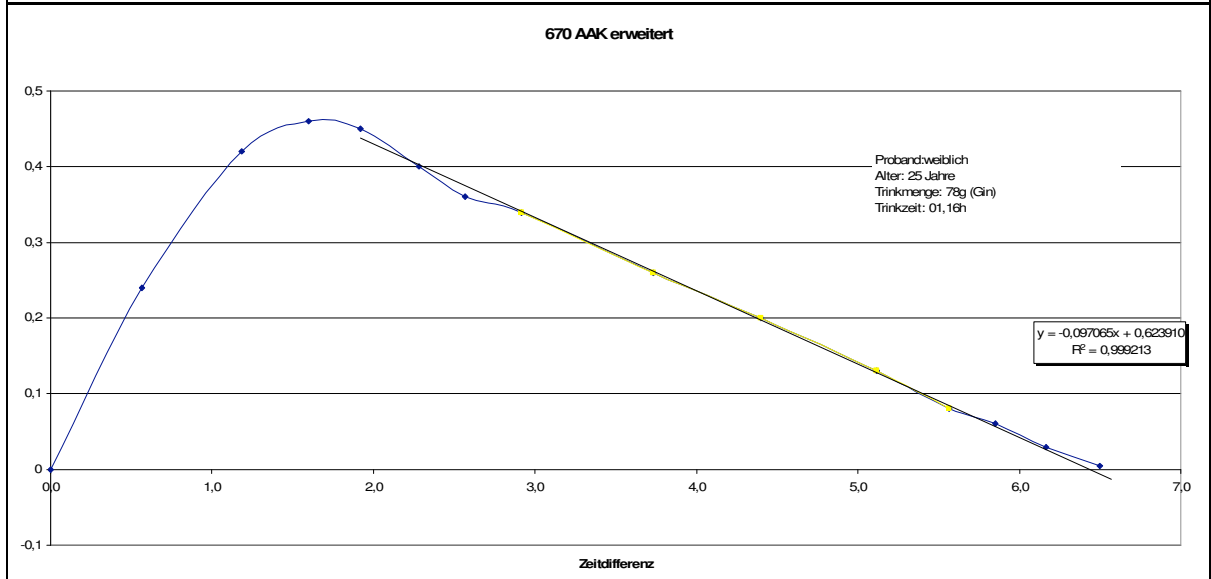
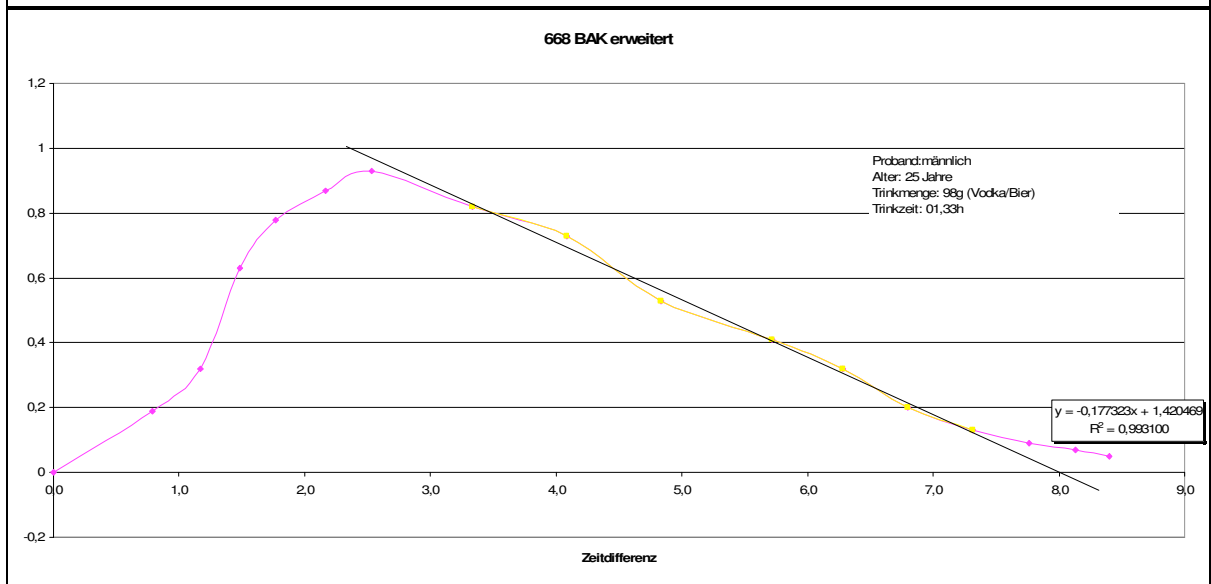
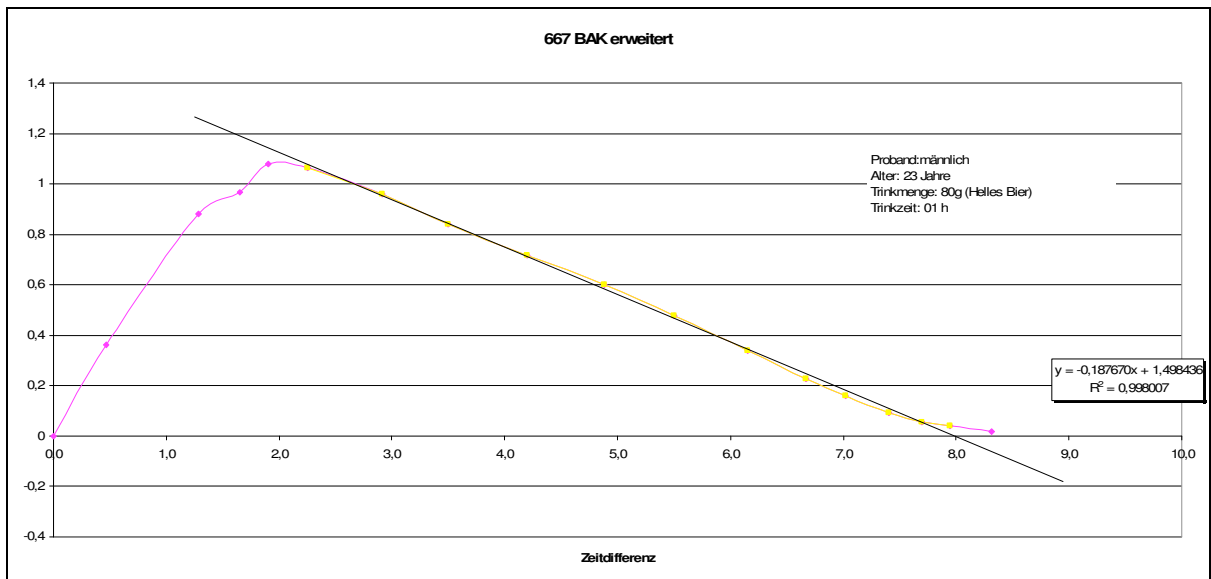


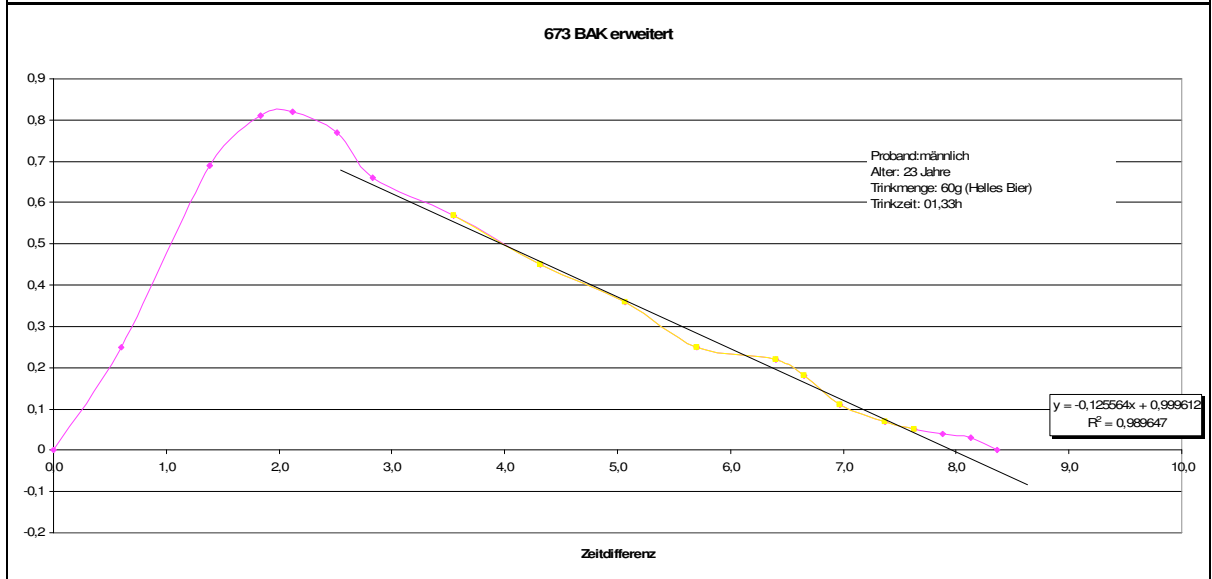
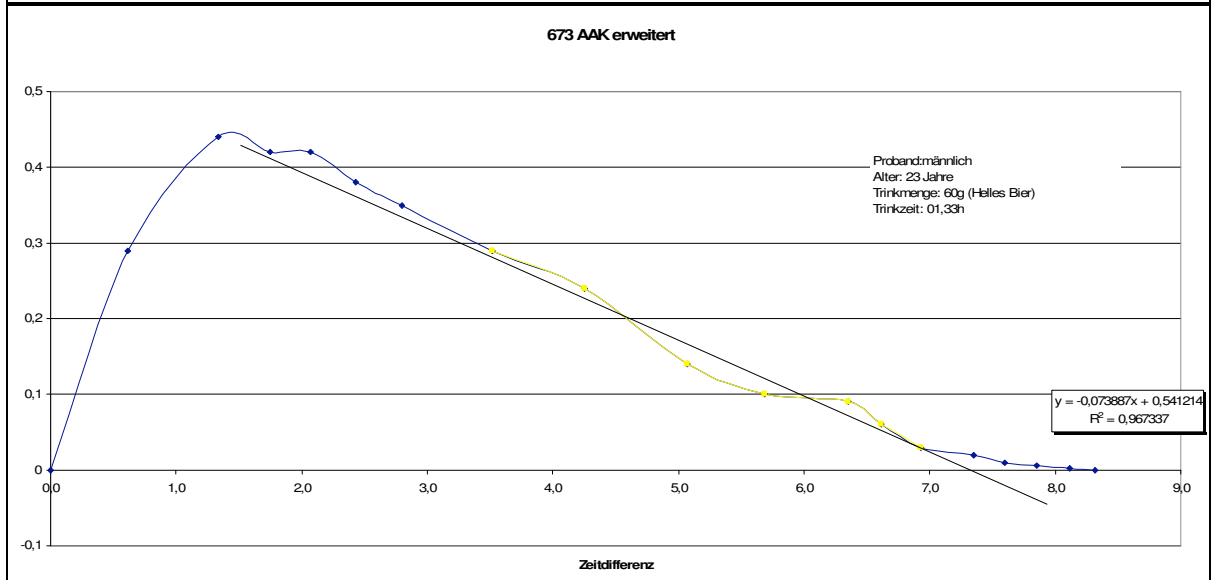
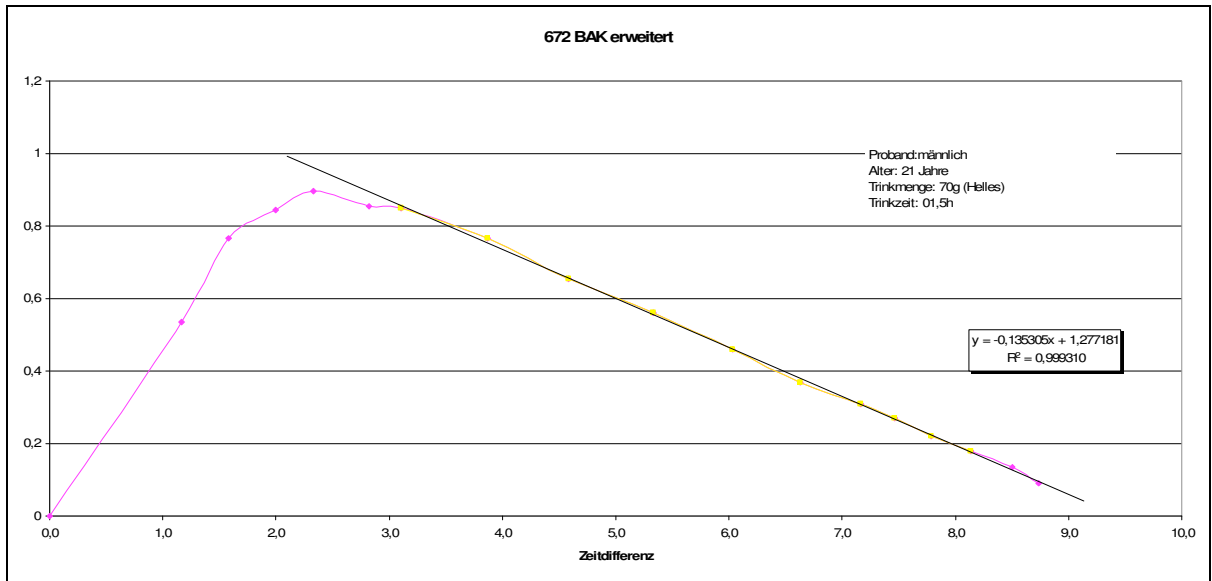


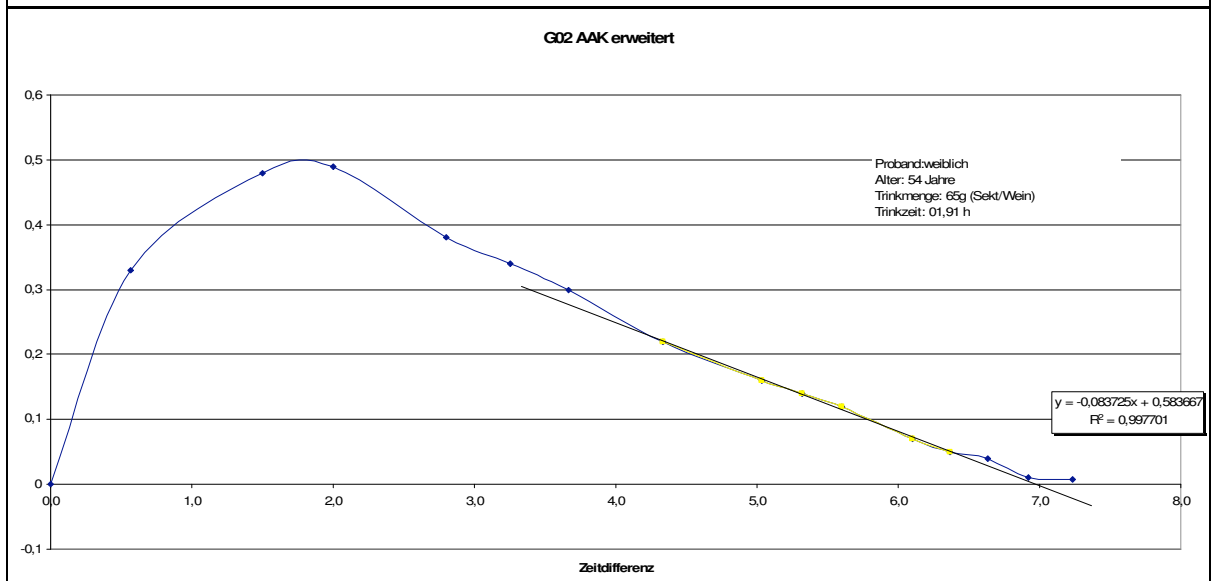
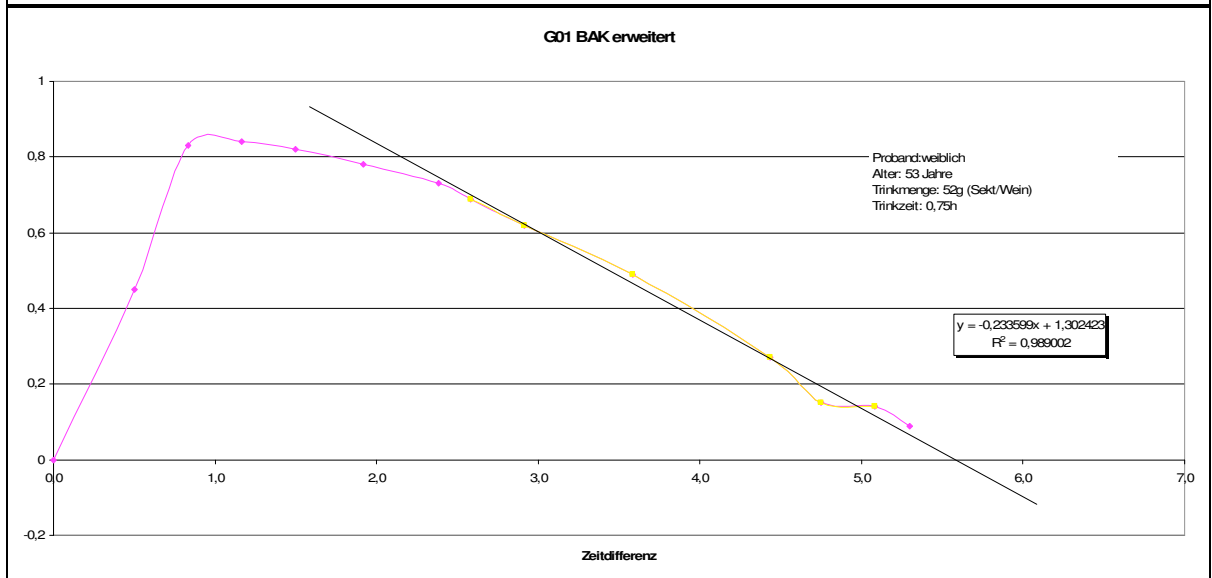
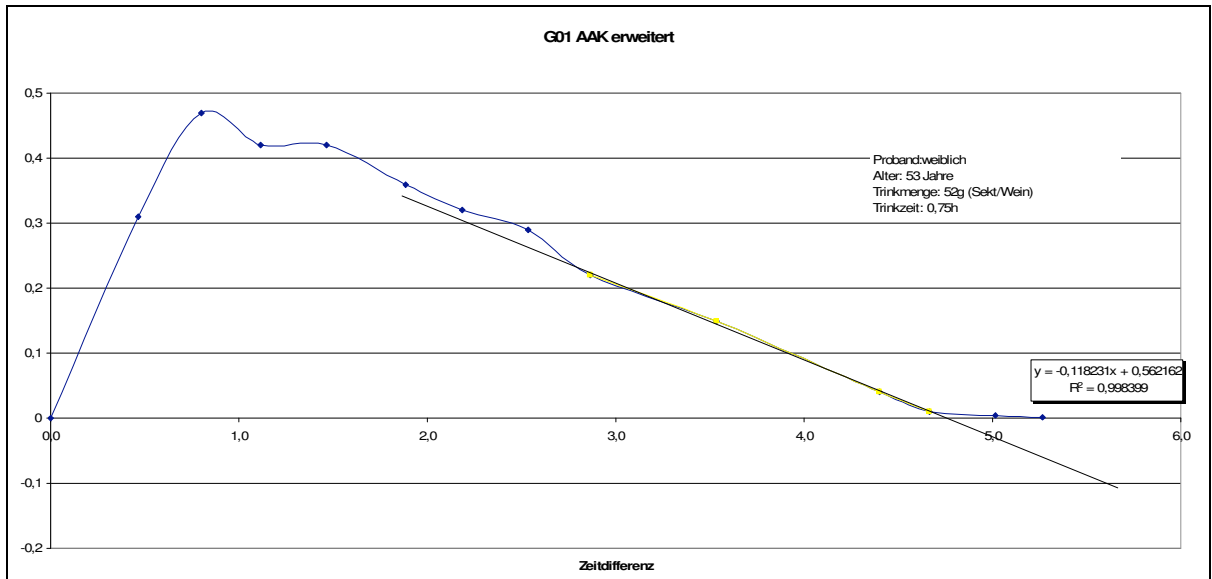


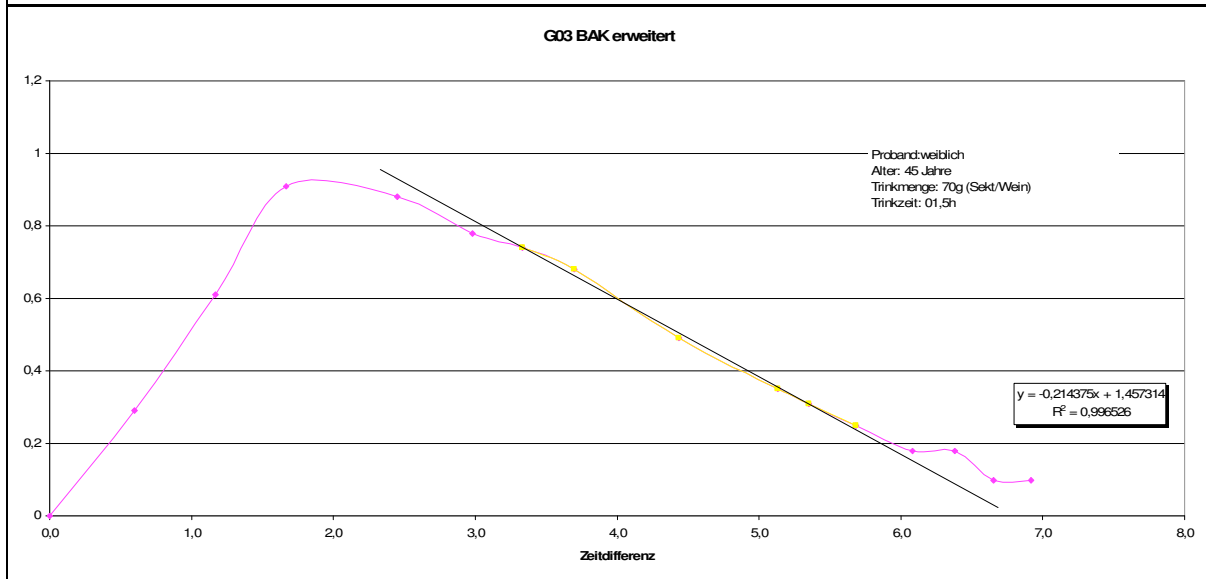
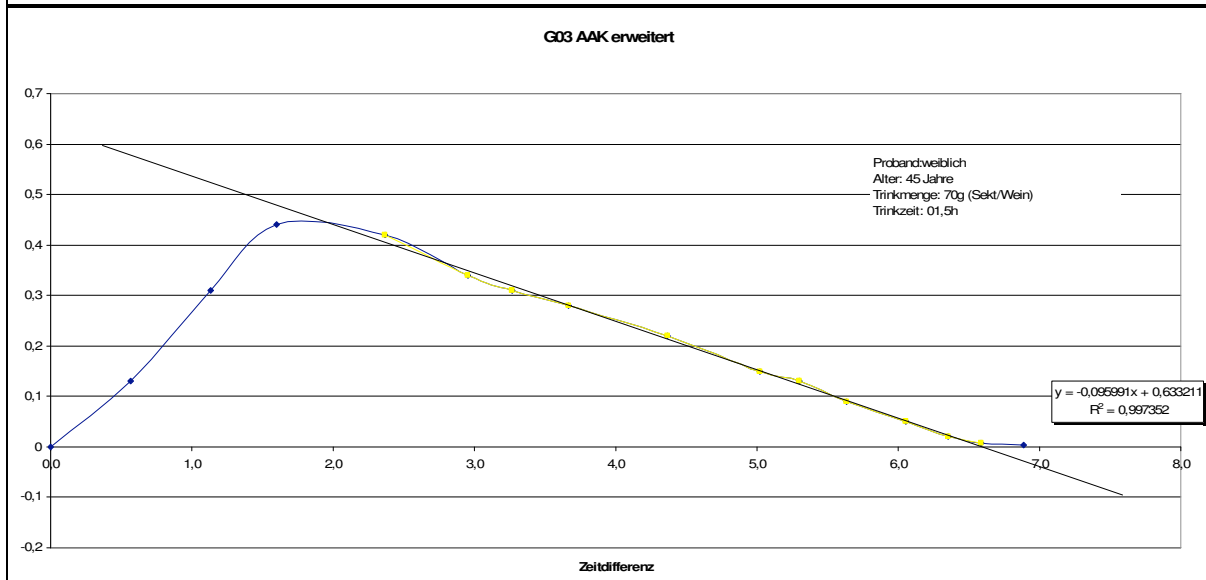
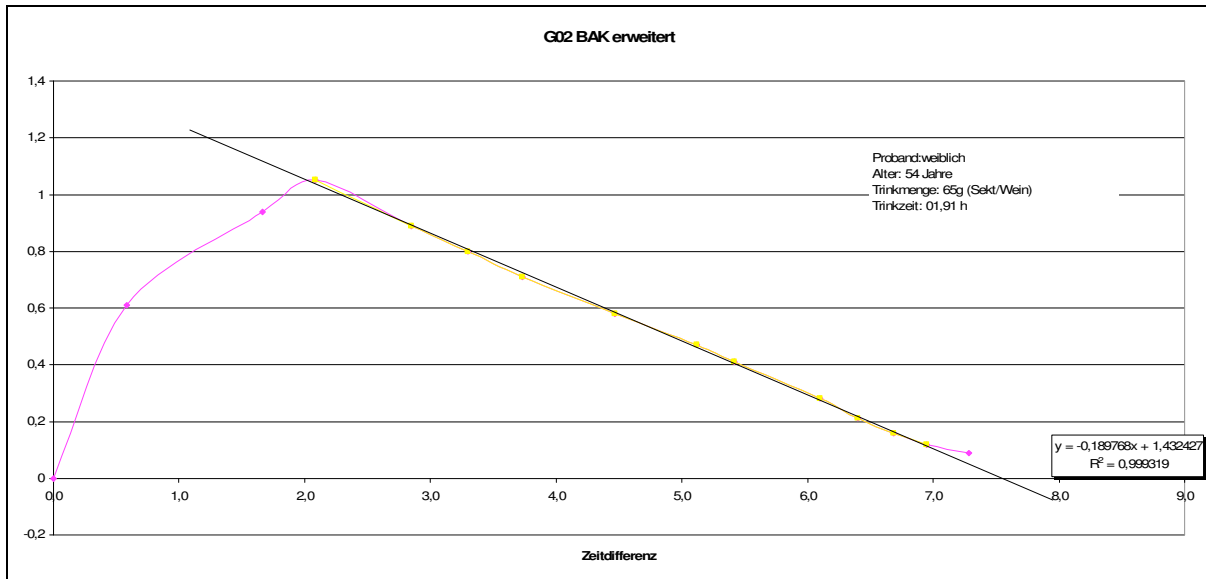




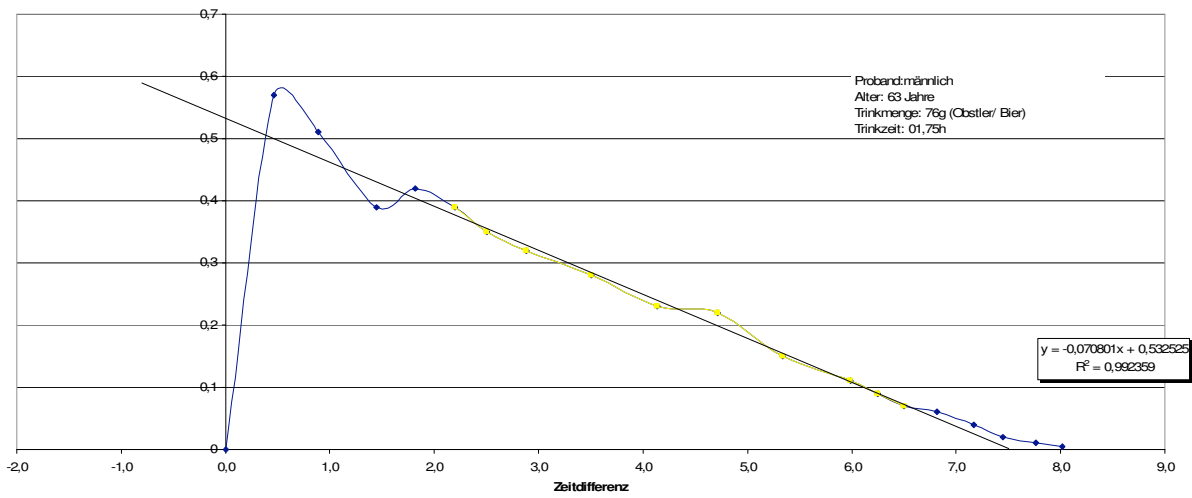




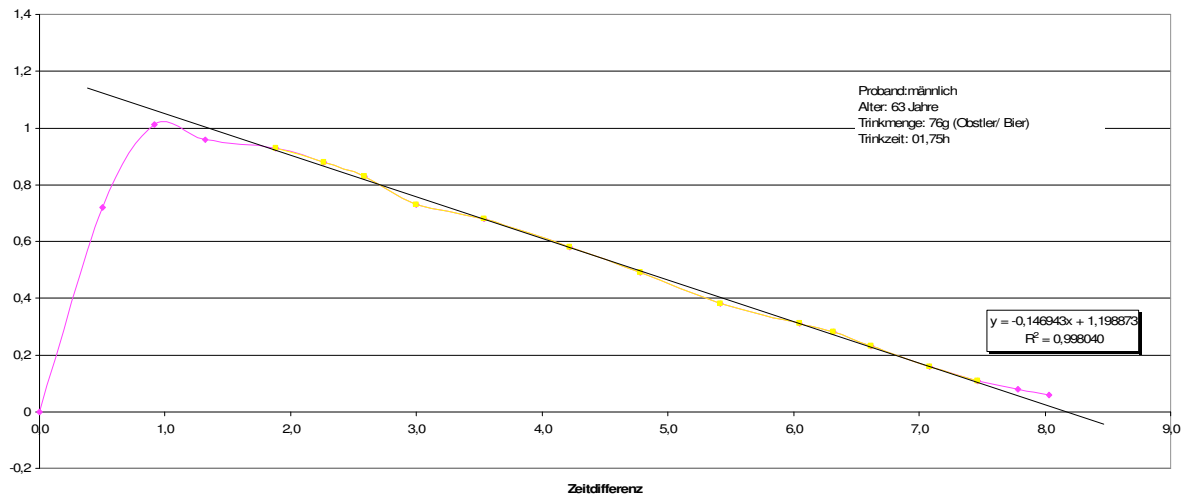


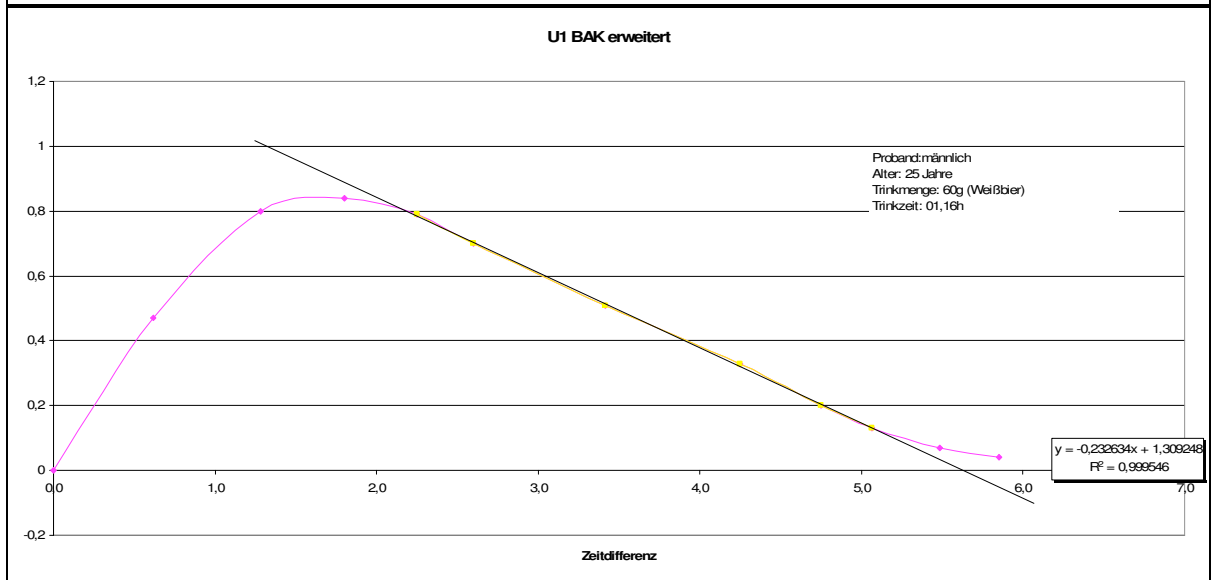
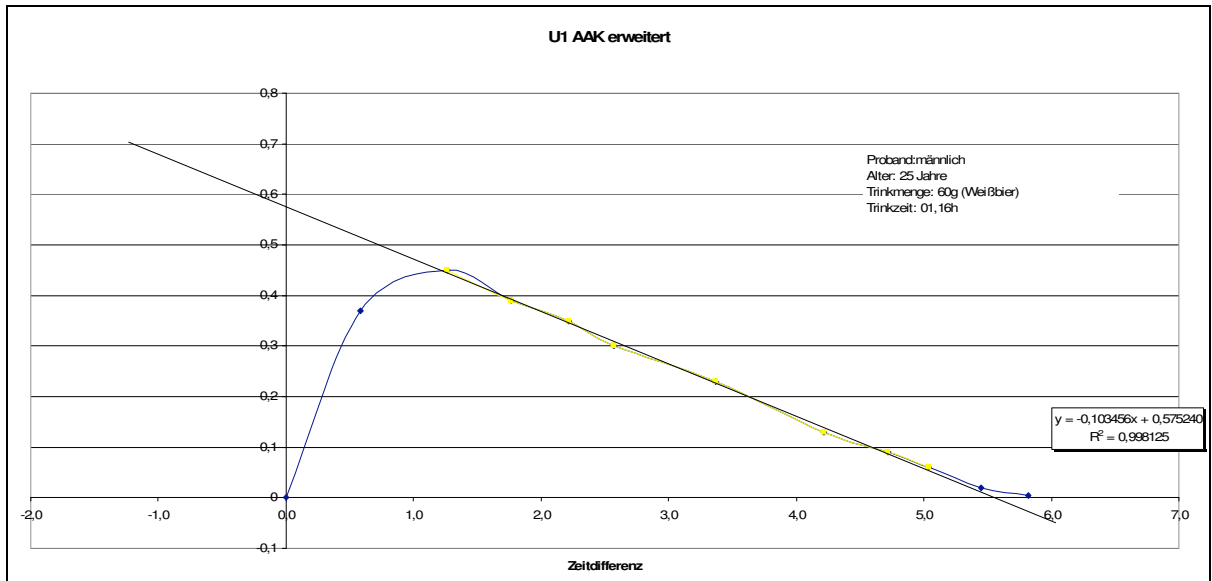


G04 AAK erweitert



G04 BAK erweitert





# 8.5 Dräger Alcotest 7110 Evidential MKIII®





## 8.6 Messprotokoll des Dräger Alcotest 7110 Evidential

Protokoll über eine Atemalkoholmessung																			
<u>Gerätedaten</u>	Hersteller: DRÄGER Typenbezeichnung: ALCOTEST 7110 EVIDENTIAL Seriennummer: ARME-0088 Softwareversion: 8315600 REV: 1.5 Probennummer: 247 Kalibriernummer: 00006 Protokollnummer: 00046 Ablauf der Eichgültigkeit: 03.00 Druckerprüfung: (0123456789.,)																		
<u>Probandendaten</u>	Name: MUSTERMANN Vorname: MANFRED Geschlecht: MÄNNLICH Geburtsdatum: 12.03.54																		
<u>Meßergebnis</u>	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td style="padding: 5px;">Atemalkoholkonzentration</td> <td style="padding: 5px; text-align: center;">0.00 mg/l</td> </tr> </table>	Atemalkoholkonzentration	0.00 mg/l																
Atemalkoholkonzentration	0.00 mg/l																		
Datum der Messung: 03.11.1999 Startzeitpunkt: 08:53 (W) Uhr      Endzeitpunkt: 09:00 (W) Uhr																			
<u>Einzelergebnisse</u>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th style="text-align: center;">1. Messung</th> <th style="text-align: center;">2. Messung</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: right;">Uhrzeit</td> <td style="text-align: center;">08:56</td> <td style="text-align: center;">08:59</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">AAK in mg/l</td> <td style="text-align: center;">0.000</td> <td style="text-align: center;">0.000</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Atemtemperatur in °C</td> <td style="text-align: center;">34.9</td> <td style="text-align: center;">34.9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Expirationsvolumen in l</td> <td style="text-align: center;">3.9</td> <td style="text-align: center;">3.8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Expirationsdauer in s</td> <td style="text-align: center;">13.5</td> <td style="text-align: center;">13.3</td> </tr> </tbody> </table>		1. Messung	2. Messung	Uhrzeit	08:56	08:59	AAK in mg/l	0.000	0.000	Atemtemperatur in °C	34.9	34.9	Expirationsvolumen in l	3.9	3.8	Expirationsdauer in s	13.5	13.3
	1. Messung	2. Messung																	
Uhrzeit	08:56	08:59																	
AAK in mg/l	0.000	0.000																	
Atemtemperatur in °C	34.9	34.9																	
Expirationsvolumen in l	3.9	3.8																	
Expirationsdauer in s	13.5	13.3																	
<u>Ablauf der Messung</u>																			
MESSUNG OHNE BESONDERHEITEN																			
<u>Bestätigung durch den Anwender des Meßgerätes</u>																			
Der Unterzeichnende bestätigt durch Unterschrift, daß er - zur Anwendung des oben bezeichneten Meßgerätes befugt ist, - dem Probanden das Meßverfahren erläutert, - die Messung nach der Gebrauchsanweisung durchgeführt und - die Anzeige mit dem gedruckten Ergebnis auf Übereinstimmung überprüft hat.																			
<u>Unterschriften</u>																			
.....	.....																		
Anwender des Meßgerätes																			

Entnommen der Gebrauchsanweisung „ALCOTEST 7110 EVIDENTIAL – Atemalkoholmessgerät“ der Firma Dräger.





## 9 Danksagung

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. Wolfgang Eisenmenger, dass ich die vorliegende Dissertation am Institut für Rechtsmedizin anfertigen durfte.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. Matthias Graw für die Vergabe des Themas und die jederzeit gewährte vollste Unterstützung.

Herrn Florian Fischer danke ich für die ärztliche Aufsicht während der Versuche.

Herrn Prof. Dr. Ludwig von Meyer und seinem Team vom Blutalkohollabor – Frau Stephanie Görmar, Frau Kerstin Heller und Frau Tanja Zipfel - bin ich für die Hilfe bei der Durchführung der Blutalkoholanalysen zu großem Dank verpflichtet.

Herr TA Hans Hirschfeld von der Alkohol-/ Verkehrsmesstechnik (Polizeipräsidium München – Abteilung Versorgung V43) hat die Eichung der Atemalkoholmessgeräte sichergestellt und bei Bedarf für die Organisation von zusätzlichen Geräten gesorgt. Hierfür möchte ich ihm sehr danken.

Dem Bund gegen Alkohol und Drogen im Straßenverkehr e.V. danke ich für die zur Verfügung gestellten Mittel zur Durchführung der Studie.

Abschließend möchte ich von ganzem Herzen meinen Eltern und meinem Freund Matthias Hartel für ihr Verständnis und die Fürsorglichkeit während meines Studiums und der Durchführung dieser Arbeit danken.



## 10 Lebenslauf

Name	Fee-Antoinette Armbrecht
Geburtsdatum/-ort	25.10.1981 in Kiel
Eltern	Dr. Wolfgang Armbrecht (Diplom-Kaufmann) Dr. Sabine Armbrecht (Zahnärztin)
Familienstand	ledig
Staatsangehörigkeit	deutsch

### Ausbildung

1992-2001	Humanistisches Maximiliansgymnasium, München
Juni 2001	Allgemeine Hochschulreife
Oktober 2001-November 2007	Studium der Humanmedizin an der Ludwig-Maximilians-Universität, München
September 2003	Ärztliche Vorprüfung
seit Februar 2004	Doktorarbeit am Institut für Rechtsmedizin, München
November 2007	Ärztliche Prüfung

### Praktische Tätigkeit, Famulaturen und Praktisches Jahr

Mai-Juli 2002	Anästhesieassistenz in der Augenklinik am Marienplatz, München
Februar-März 2004	Famulatur in der viszeralchirurgischen Abteilung im Krankenhaus Josephinum, München
März 2004-August 2006	Assistenz im viszeralchirurgischen OP des Krankenhauses Josephinum, München
Februar-März 2005	Famulatur im Centre Hospitalier Territorial, Département d'infectiologie, Papeete, Französisch-Polynesien
August-September 2005	Famulatur in der Abteilung für Anästhesie, Intensivmedizin und Schmerztherapie, Klinikum Traunstein
Juni-Juli 2006	Famulatur im Institut für Rechtsmedizin, München
August 2006-Juli 2007	Praktisches Jahr: Innere Medizin: Poliklinik Innenstadt, Ludwig-Maximilians-Universität, München Chirurgie: Tygerberg Hospital, University of Stellenbosch, South Africa Orthopädie: Universitätsklinik Balgrist, Zürich, Schweiz