

# Dokumentation der Testläufe zur Optimierung der Lehmmaterialmischung für industriell gefertigte Lehmziegel

Autor: Martin Trojan

## Ziel

Ziel der Versuche ist die Erhöhung der Druckfestigkeit des Lehms durch Beimischen unterschiedlicher Zusätze. Die Auswahl der Zusätze erfolgte nach einer entsprechenden Literaturrecherche und Absprache mit der Firma Wienerberger. Die Wahl der Zusätze erfolgte unter ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten.

## Verwendete Stoffe

- **Lehm:** Lehm von der Halde und mittels Brecher im Werk Hennersdorf zerkleinert,  
Korngröße von 0-5mm  
Firma Wienerberger, Werk Hennersdorf, [www.wienerberger.at](http://www.wienerberger.at)  
Dr. Stimmeder, 01/60503-382, [gottfried.stimmeder@wienerberger.com](mailto:gottfried.stimmeder@wienerberger.com)
- **Stroh:** Strohlänge ca. 0.5 bis 2 cm,  
Firma Fex, ÖKO Faserverarbeitung, Neusiedl an der Taya, [www.fex.at](http://www.fex.at)  
02533/810210, [fex.neusiedl@aon.at](mailto:fex.neusiedl@aon.at)
- **Natronwasserglas:** Firma W. Neuber's Enkel Groß-Drogerie, Wien  
[www.neubers-enkel.at](http://www.neubers-enkel.at), 01/597666868
- **Spezial-Wasserglas:** Firma Wienerberger, 2 Komponenten-Wasserglas,  
Dr. Stimmeder
- **Holzasche:** Biomasseasche aus reinem Hackgut ohne Rinde  
Standort Biomassewerk ist Wr. Neustadt  
Firma EVN, [www.evn.at](http://www.evn.at)  
Dr. Vitovec, 02236/20012269, 0676/81032269  
Firma Renet, [www.renet.at](http://www.renet.at)
- **Tennismehl:** Korndurchmesser 0-2mm  
Firma Wienerberger, Werk Hennersdorf,  
Dr. Stimmeder

## Versuchsanordnung

Lehm von der Halde wurde von Hand mittels Rührwerk und Zugabe von Wasser (ca. 10% bezogen auf das verwendete Lehmgewicht) aufbereitet. Danach wurden Zuschläge in unterschiedlichen Prozentsätzen zugemischt. Zur Herstellung der Versuchskörper wurde eine Prismenform mit den Maßen 4 x 4 x 16 cm gewählt. Die Lehmmischung wurde von hand in die Formen gestampft. Im Anschluss gewogen, vermessen (Höhe, Dicke, Länge) und danach im Klimaschrank bei 40°C und 50% Luftfeuchtigkeit getrocknet. Die vollständige Trocknung dauerte 5 Tage. Der Probekörper wurde danach im trockenen Zustand vermessen und gewogen. Die Prüfung der Probekörper erfolgte auf der TU – Wien, Institut für Baustofflehre.

Von jeder Serie wurden 3 Probekörper hergestellt. Jeder Probekörper einer Serie hatte dasselbe Mischungsverhältnis von einem Zuschlagstoff (z.B.: 2,0% Asche). Nach dem Biegezugversuch entstanden daher 6 Probekörper je Serie für den Druckversuch.

### 1. Druckversuch:

#### Versuchsreihe 1 - Einzelmischungen, trocken:

Es wurde versucht für jeden Zuschlagstoff das beste Mischungsverhältnis für die Druckfestigkeit und Biegezugfestigkeit zu finden. Für jeden Zuschlagstoff wurden unterschiedliche Gewichts-Prozentsätze probiert.

- **0 Probe:**

6 Serien, 18 Probekörper für Biegezugversuch, 36 Probekörper für Druckversuch

- **Stroh:** [1,0 %], [1,5 %], [2,0 %], [10,0 %], [20,0 %]

6 Serien, 18 Probekörper für Biegezugversuch, 36 Probekörper für Druckversuch

- **Natronwasserglas:** [2,0 %], [10,0 %], [20,0 %]

3 Serien, 9 Probekörper für Biegezugversuch, 18 Probekörper für Druckversuch

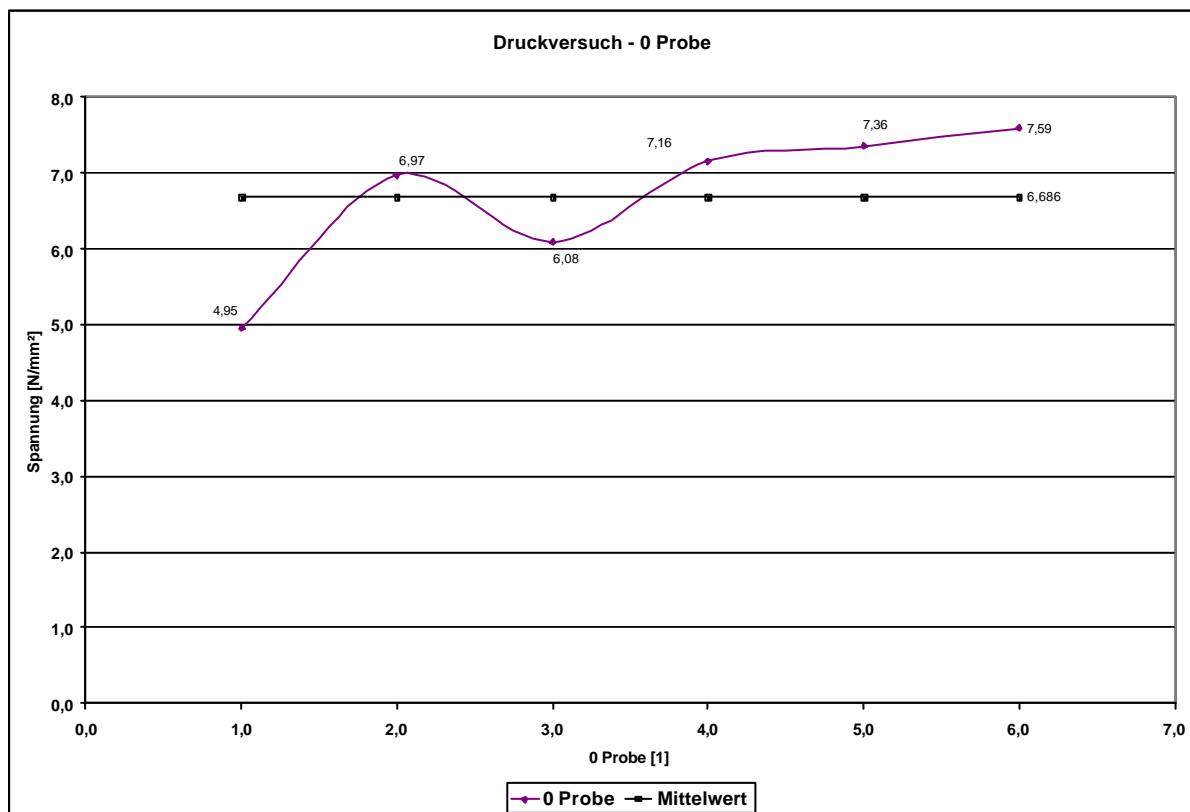
- **spezial Wasserglas:** [2,0 %], [10,0 %], [20,0 %]

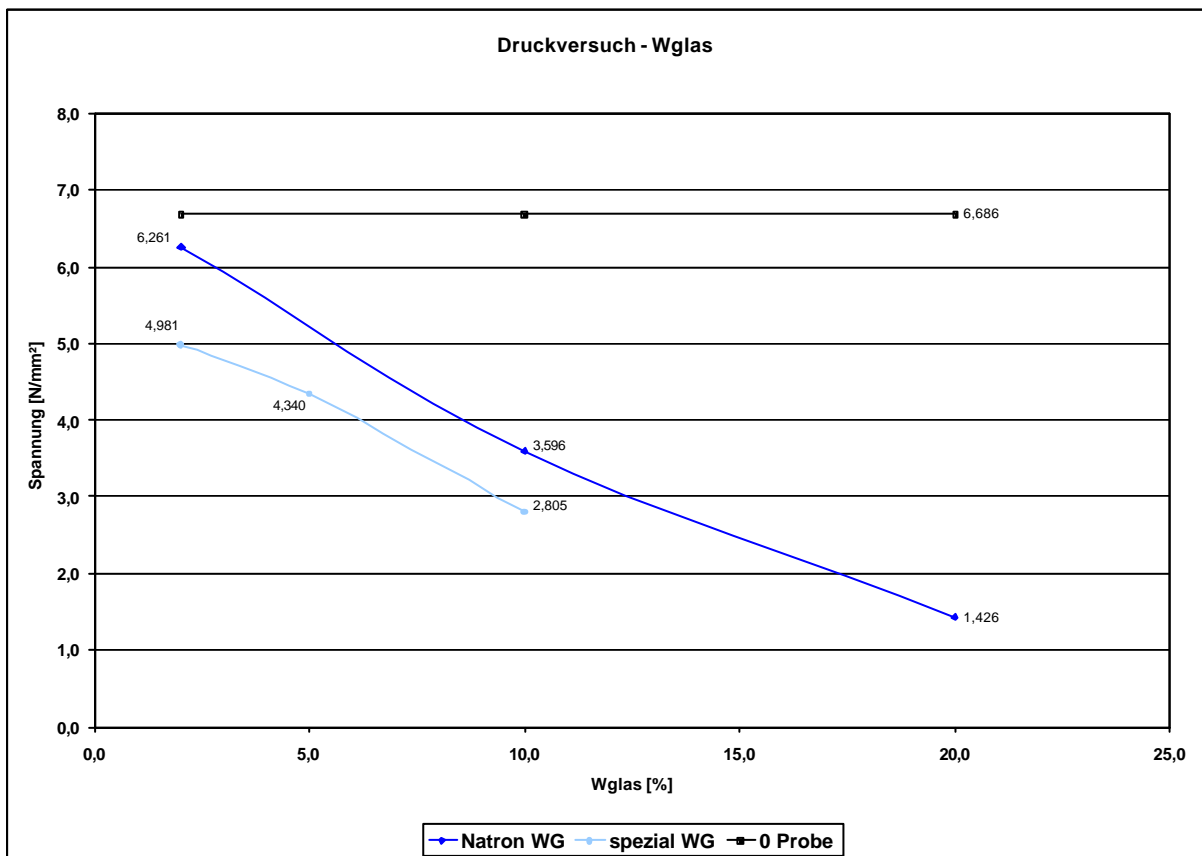
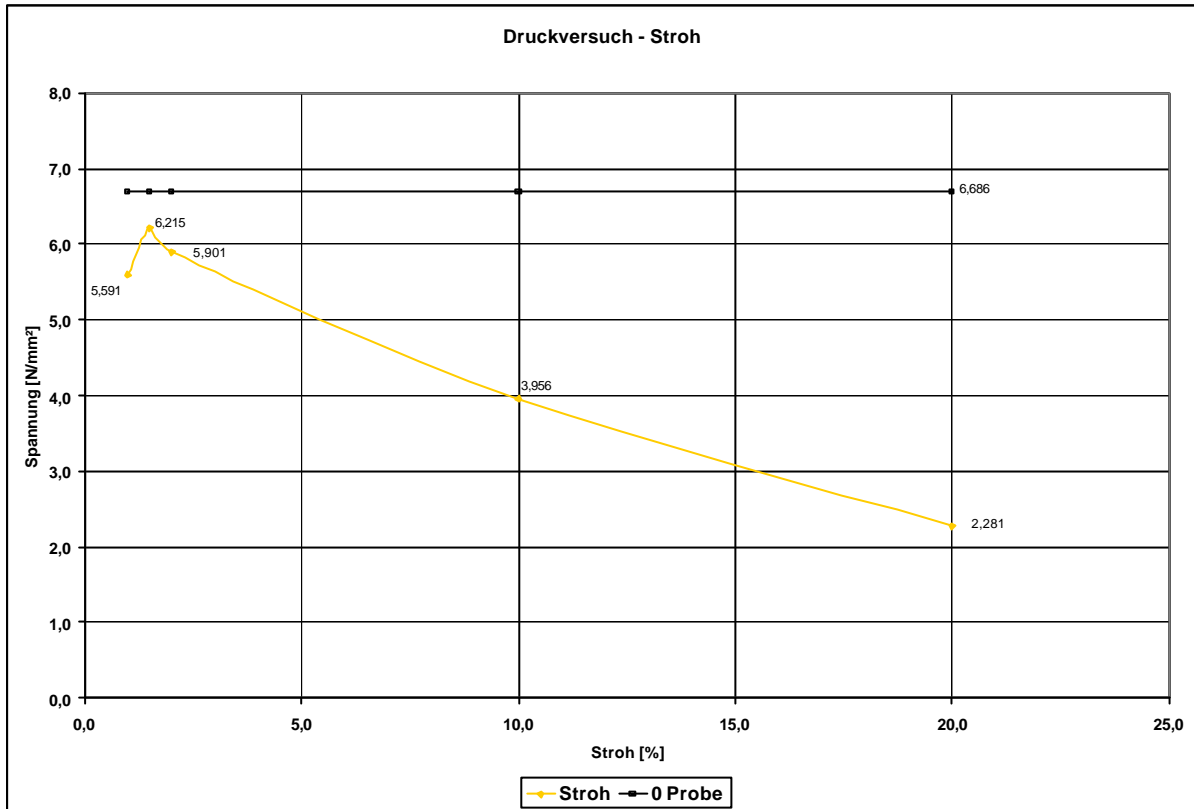
3 Serien, 9 Probekörper für Biegezugversuch, 18 Probekörper für Druckversuch

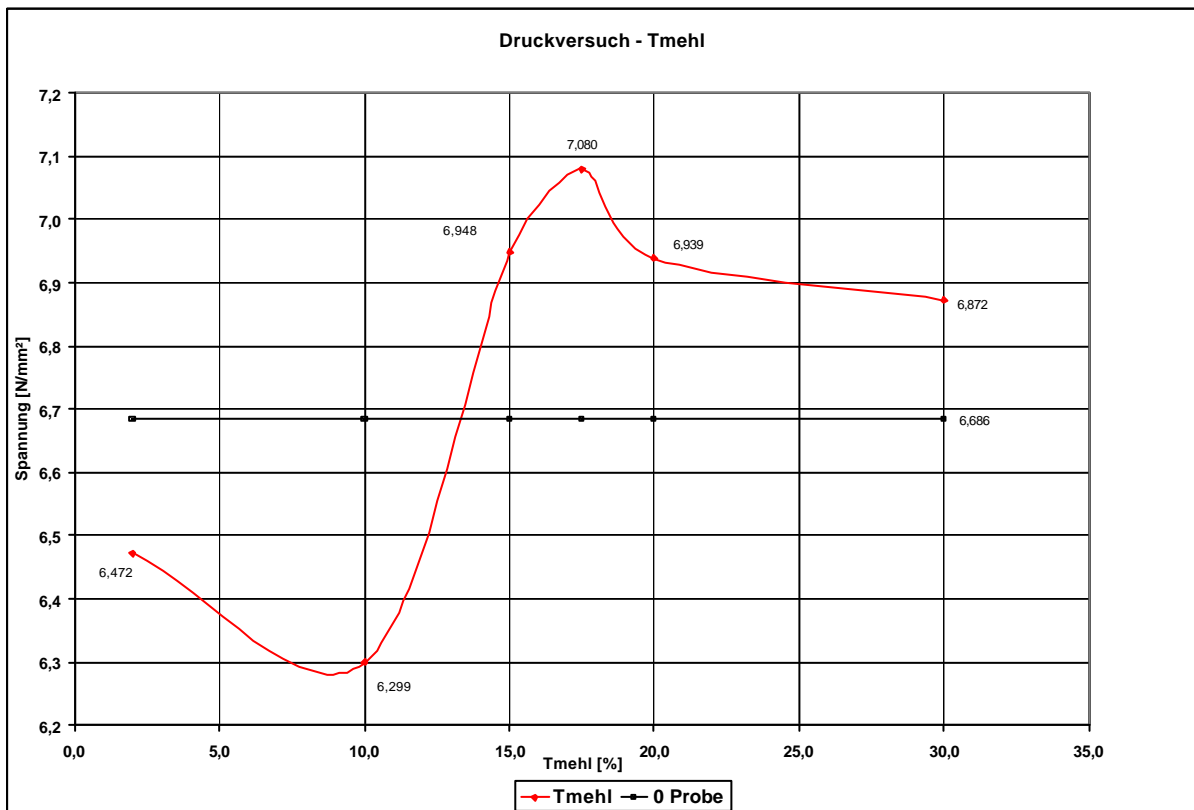
- **Holzasche:** [1,0 %], [1,5 %], [2,0 %], [2,75 %], [3,5 %], [5,0 %], [10,0 %], [20,0 %]  
12 Serien, 36 Probekörper für Biegezugversuch, 72 Probekörper für Druckversuch
- **Tennismehl:** [2,0 %], [10,0 %], [15,0 %], [17,5 %], [20,0 %], [30,0 %]  
16 Serien, 48 Probekörper für Biegezugversuch, 96 Probekörper für Druckversuch

Für die 1. Versuchsreihe wurden also 46 Serien mit 138 Probekörper hergestellt. Daraus ergeben sich 138 Probekörper für den Biegezugversuch und 276 Probekörper für den Druckversuch.

### Diagramme zur Versuchsreihe 1 (Einzelmischungen, trocken)







Die Tabelle 1 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme zur Versuchsanordnung 1. mit den höchsten Druckfestigkeiten für jeden einzelnen Zuschlagstoff im trockenen Zustand.

Tabelle 1

<b>Bezeichnung</b>	<b>Zumischung in Massenprozent</b>	<b>Druckfestigkeit im Mittel</b>	<b>% gegenüber 0-Probe</b>
0 Probe		6,6 N/mm <sup>2</sup>	
Stroh	2,0 %	6,2 N/mm <sup>2</sup>	- 6,1 %
Natronwasserglas	2,0 %	6,2 N/mm <sup>2</sup>	- 6,1 %
Spezial - Wasserglas	2,0 %	4,9 N/mm <sup>2</sup>	- 25,8 %
Holzasche	3.5 %	7,0 N/mm <sup>2</sup>	+ 6,1 %
Tennismehl	17.5 %	7,0 N/mm <sup>2</sup>	+ 6,1 %

### **Versuchsreihe 2 - Kombinationsmischungen, trocken:**

Nachdem für jeden einzelnen Zusatzstoff das optimale Mischungsverhältnis gefunden wurde, wurden die einzelnen Komponenten miteinander gemischt. Die hierbei verwendeten Prozentsätze der einzelnen Zuschlagstoffe wurden aus den Ergebnissen der 1. Versuchsreihe übernommen und bewegen sich im jeweiligen Optimalbereich. Erfolgversprechende Mischungen wurden in weiteren Versuchen näher untersucht. Die Herstellung, Trocknung und Prüfung der Probekörper erfolgt so wie in der Versuchsanordnung beschrieben.

- **Stroh + Asche:** [1,5% Stroh + 3,0% Asche]  
1 Serien, 3 Probekörper für Biegezugversuch, 6 Probekörper für Druckversuch
- **Stroh + Tennismehl:** [1,5% Stroh + 17,5% Tennismehl]  
1 Serien, 3 Probekörper für Biegezugversuch, 6 Probekörper für Druckversuch
- **Stroh + Asche + Tennismehl:** [1,5% Stroh+ 3,0% Asche + 17,5% Tennismehl]  
1 Serien, 3 Probekörper für Biegezugversuch, 6 Probekörper für Druckversuch
- **Asche 3,0% + Tennismehl:** [3,0%+5,0%], [3,0%+10,0%], [3,0%+ 12,5%],  
[3,0%+15,0%], [3,0%+17,5%]

8 Serien, 24 Probekörper für Biegezugversuch, 48 Probekörper für Druckversuch

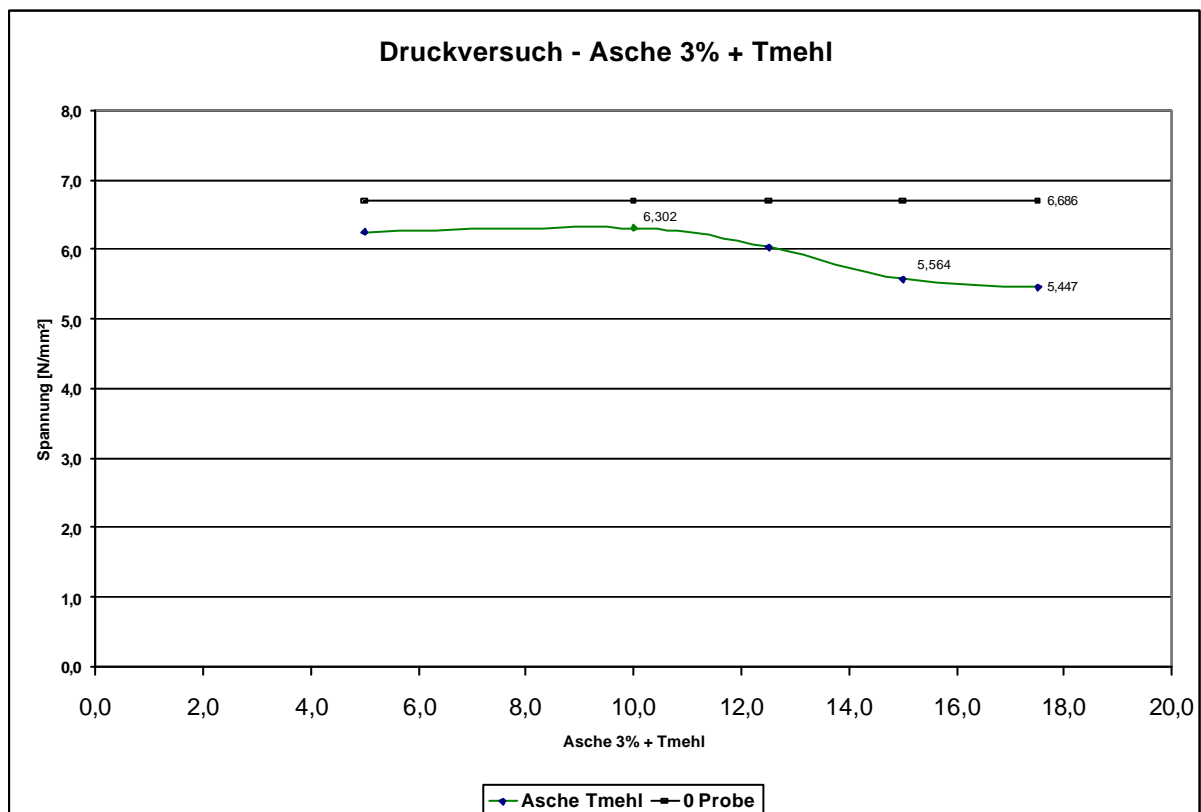
- **Tennismehl 12,5% + Asche:** 12,5%+2,0%, [12,5%+3,0], [12,5%+4,0%]

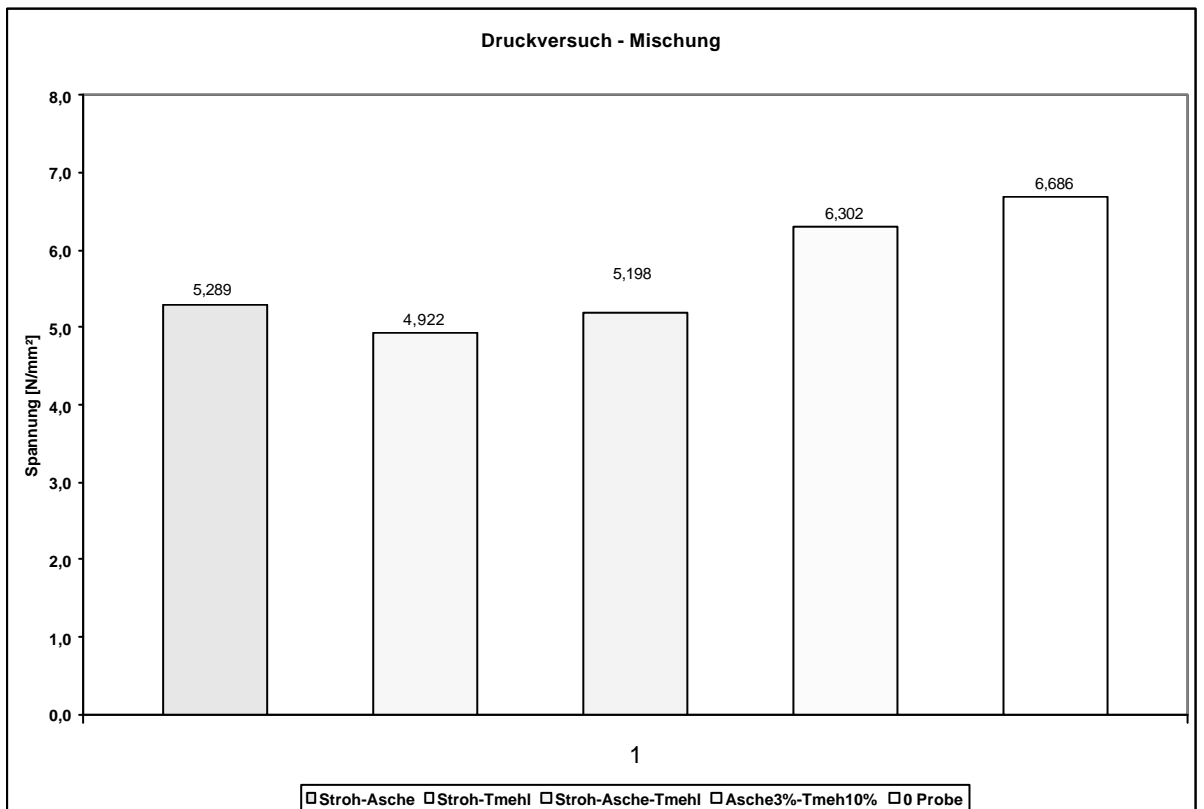
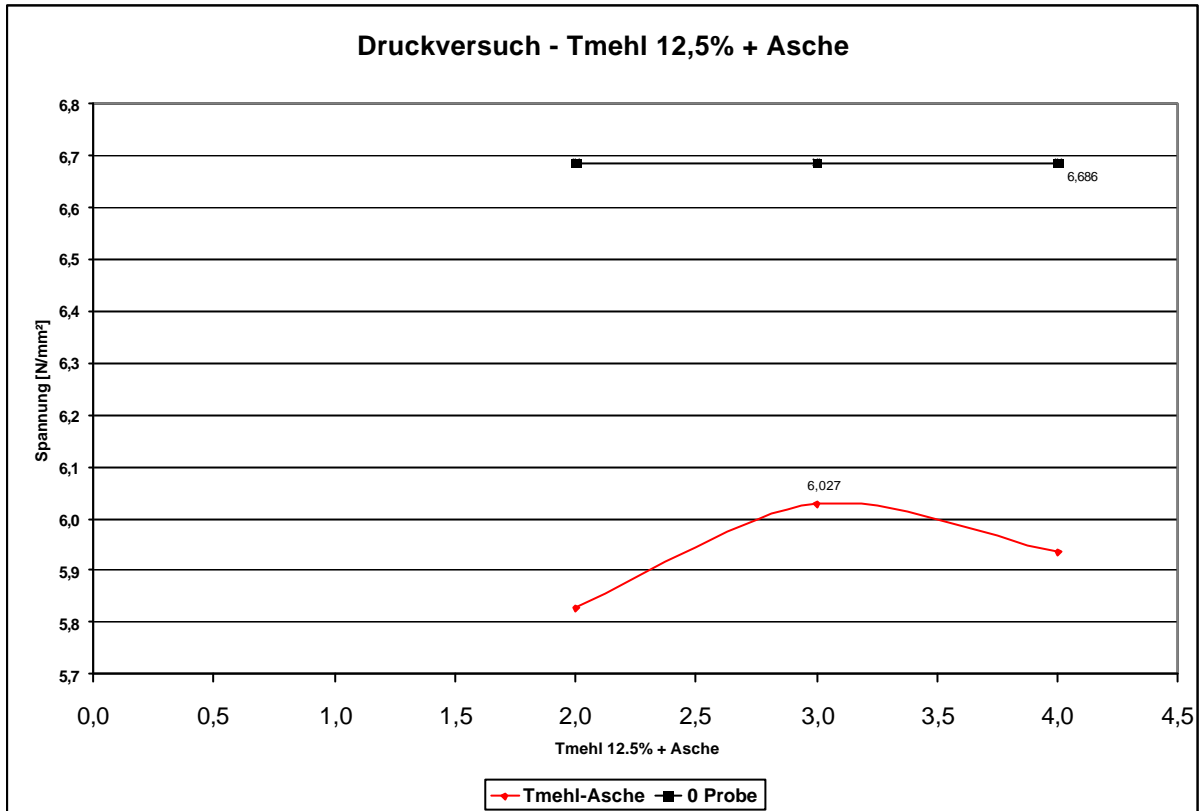
3 Serien, 9 Probekörper für Biegezugversuch, 18 Probekörper für Druckversuch

Für die 2. Versuchsreihe wurden also 14 Serien mit 42 Probekörper hergestellt. Daraus ergeben sich 42 Probekörper für den Biegezugversuch und 84 Probekörper für den Druckversuch.

Für die Versuchsreihe [Stroh + Asche], [Stroh + Tennismehl] und [Stroh + Asche + Tennismehl] gibt es aufgrund der kleinen Serie keine eigenen Diagramme. Diese Werte scheinen nur in der Zusammenfassung der Mischungen auf.

### Diagramme zur Versuchsreihe 2 (Kombinationsmischungen, trocken)







Die Tabelle 2 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme aus der 2. Versuchsreihe mit den höchsten Druckfestigkeiten für die einzelnen Mischungen im trockenen Zustand.

Tabelle 2

<b>Bezeichnung</b>	<b>Zumischung in Massenprozent</b>	<b>Druckfestigkeit im Mittel</b>	<b>% gegenüber 0-Probe</b>
0 Probe		6,6 N/mm <sup>2</sup>	
Asche oder Tmehl	Aus 1. Versuchsreihe	je 7,0 N/mm <sup>2</sup>	+ 6,1 %
Stroh + Asche:	1,5% + 3,0%	5,2 N/mm <sup>2</sup>	- 21,2 %
Stroh + Tennismehl:	1,5% + 17,5%	4,9 N/mm <sup>2</sup>	- 25,7 %
Stroh + Asche + Tmehl:	1,5%+3,0%+17,5%	5,1 N/mm <sup>2</sup>	- 22,7 %
Asche + Tennismehl:	3,0% + 10,0%	6,3 N/mm <sup>2</sup>	- 4,5 %

### **Versuchsreihe 3 - Einzel- und Kombinationsmischungen, feucht:**

Die 3. Versuchsreihe widmete sich der wichtigen Frage über die Änderung der Druckfestigkeit im feuchten Zustand. Jene Mischungen die die besten Druckfestigkeiten aus der 1. und 2. Versuchsreihe aufwiesen wurden nun im feuchten Zustand betrachtet. Nach dem Trocknen der Probekörper im Klimaschrank (40°C und 50% Luftfeuchtigkeit) wurden die Probekörper ebenfalls im Klimaschrank bei 40°C und 80% Luftfeuchtigkeit 5 Tage lang gelagert. Die Probekörper wurden vor der Prüfung wie auch bei den anderen Versuchsreihen gemessen und gewogen.

- **0 Probe – feucht:**

3 Serien, 9 Probekörper für Biegezugversuch, 18 Probekörper für Druckversuch

- **Asche - feucht:** [1,5%], [2,0%], [3,5%]

3 Serien, 9 Probekörper für Biegezugversuch, 18 Probekörper für Druckversuch

- **Tennismehl - feucht:** [2,0%], [15,0%], [17,5%], [20,0%]

5 Serien, 15 Probekörper für Biegezugversuch, 30 Probekörper für Druckversuch

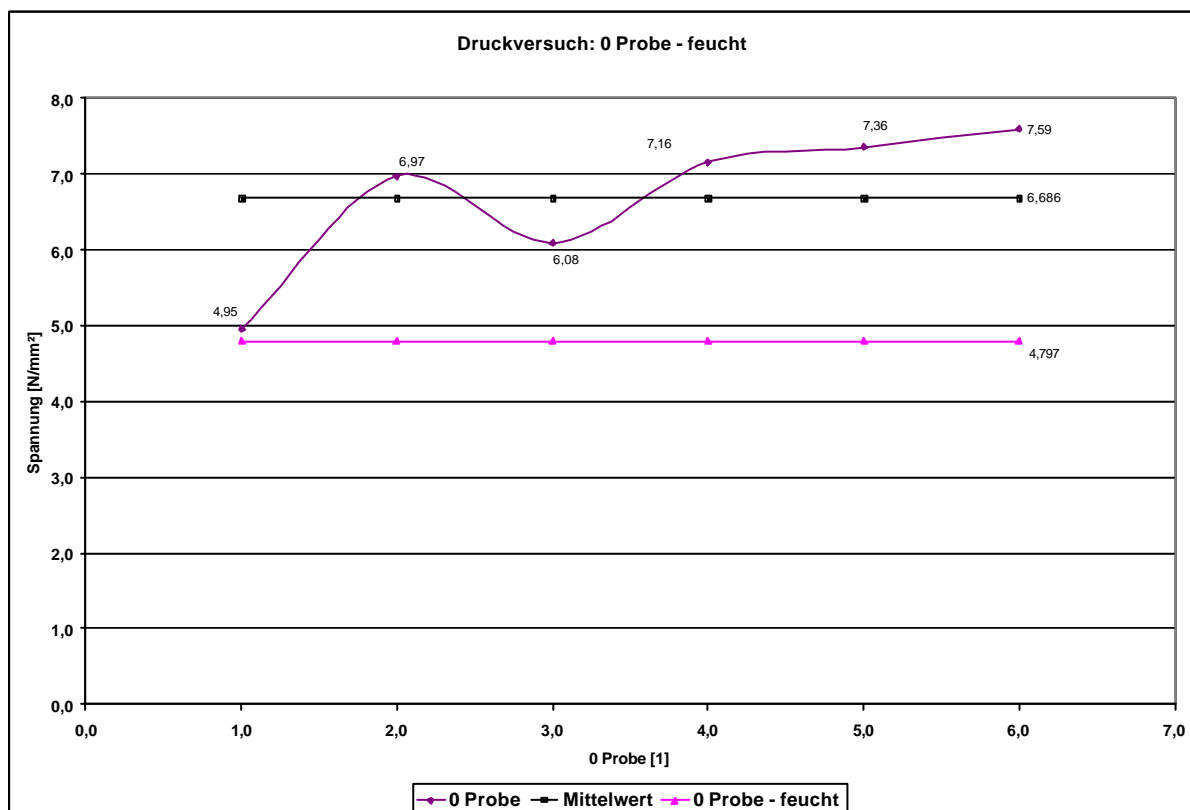
- **Asche + Tennismehl - feucht:** [3,0% Asche + 17,5% Tennismehl]

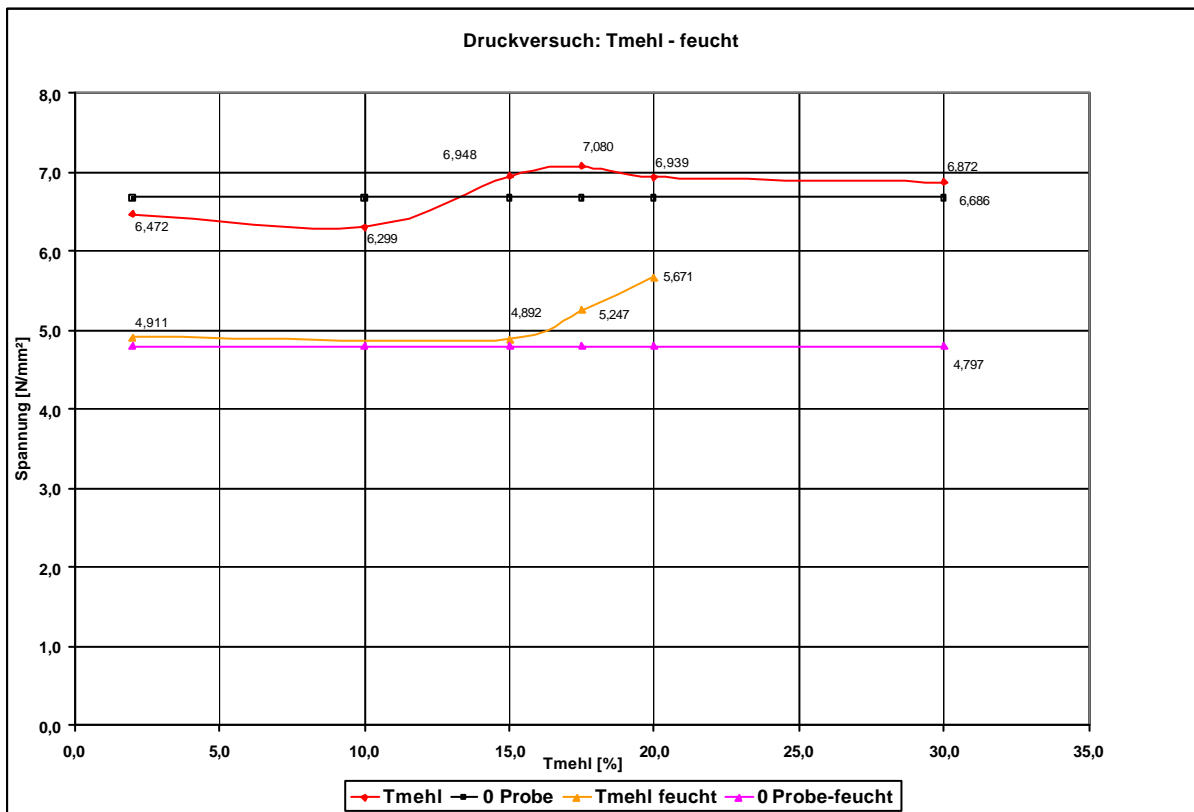
2 Serien, 6 Probekörper für Biegezugversuch, 12 Probekörper für Druckversuch

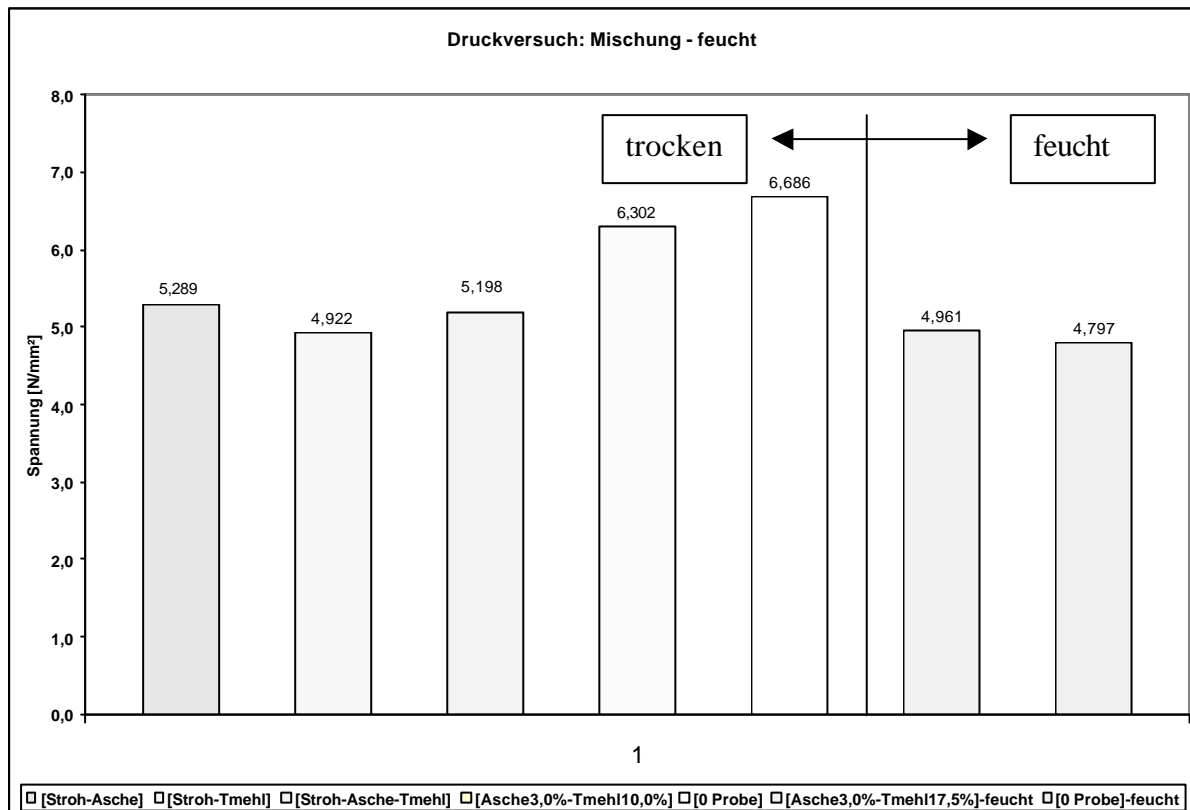
Für die 3. Versuchsreihe wurden also 13 Serien mit 39 Probekörper hergestellt. Daraus ergeben sich 39 Probekörper für den Biegezugversuch und 78 Probekörper für den Druckversuch.

### Diagramme zur Versuchsreihe 3

#### (Einzel- und Kombinationsmischungen, feucht):







Die Tabelle 3 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme aus der 3. Versuchsreihe mit den höchsten Druckfestigkeiten für die einzelnen Mischungen im feuchten Zustand.

Tabelle 3

Bezeichnung	Zumischung in Massenprozent	Druckfestigkeit im Mittel	% gegenüber 0 Probe-feucht
[0 Probe] - feucht:		4,8 N/mm <sup>2</sup>	
[Asche] - feucht :	2,0 %	4,5 N/mm <sup>2</sup>	- 6,2 %
[Tmehl] – feucht	20,0 %	5,6 N/mm <sup>2</sup>	+ 16,6 %
[Asche + Tmehl] – feucht	3,0 % + 17,5 %	5,0 N/mm <sup>2</sup>	+ 4,1 %

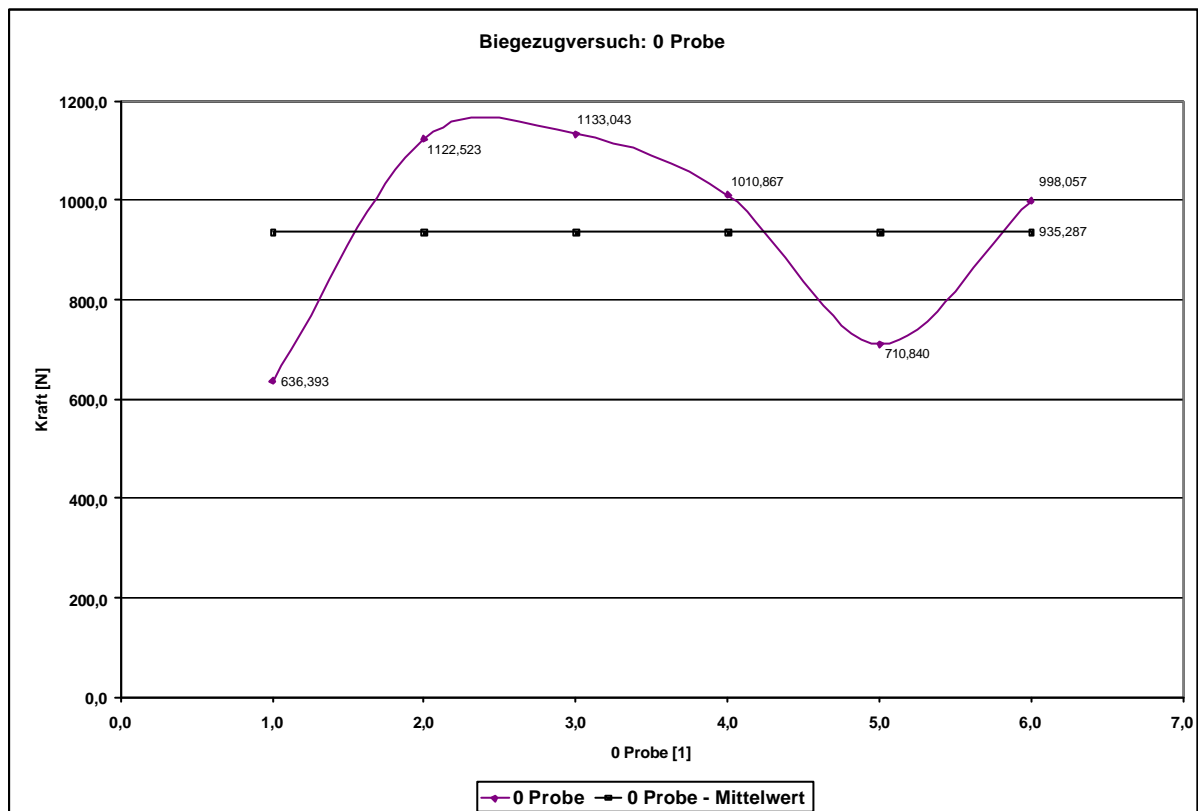
Für die Versuchsreihen 1,2 und 3 wurden in Summe 73 Serien mit 219 Probekörper hergestellt. Daraus ergeben sich 219 Probekörper für den Biegezugversuch und 438 Probekörper für den Druckversuch.

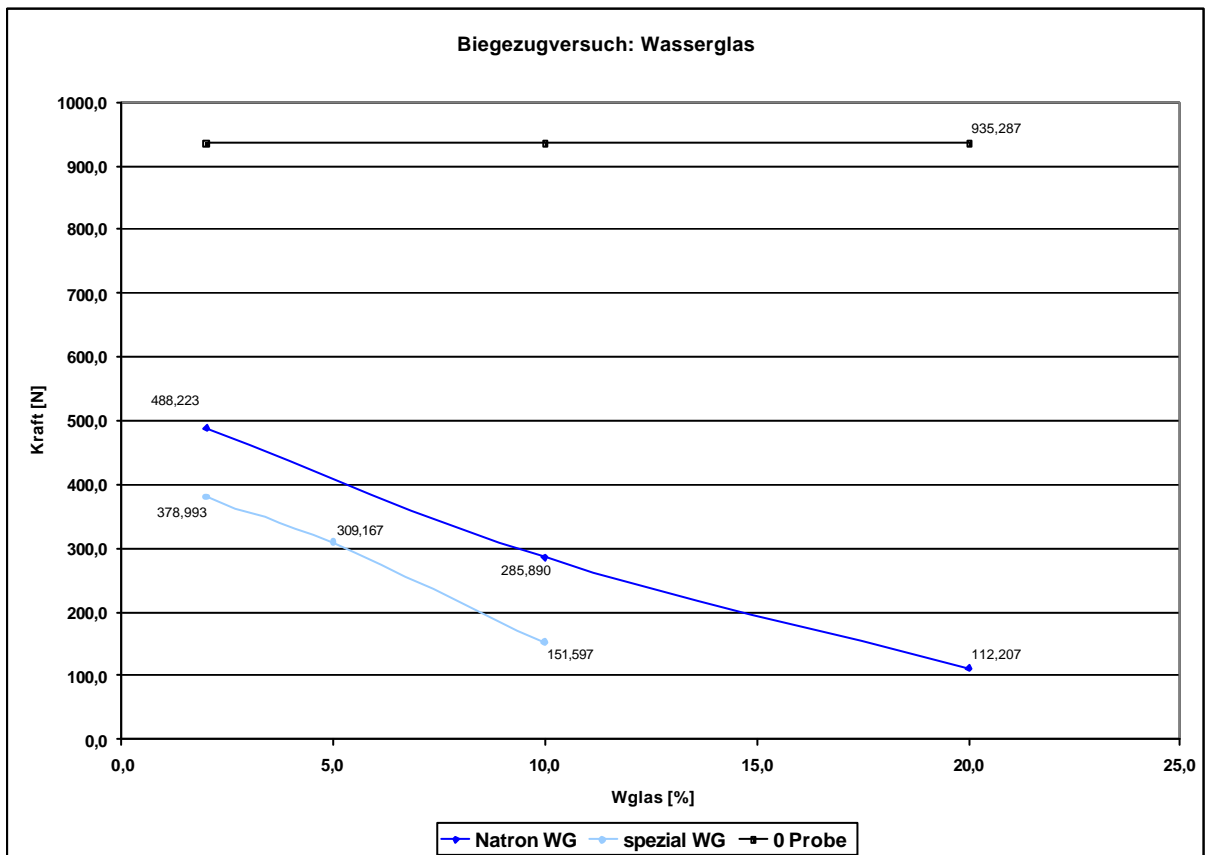
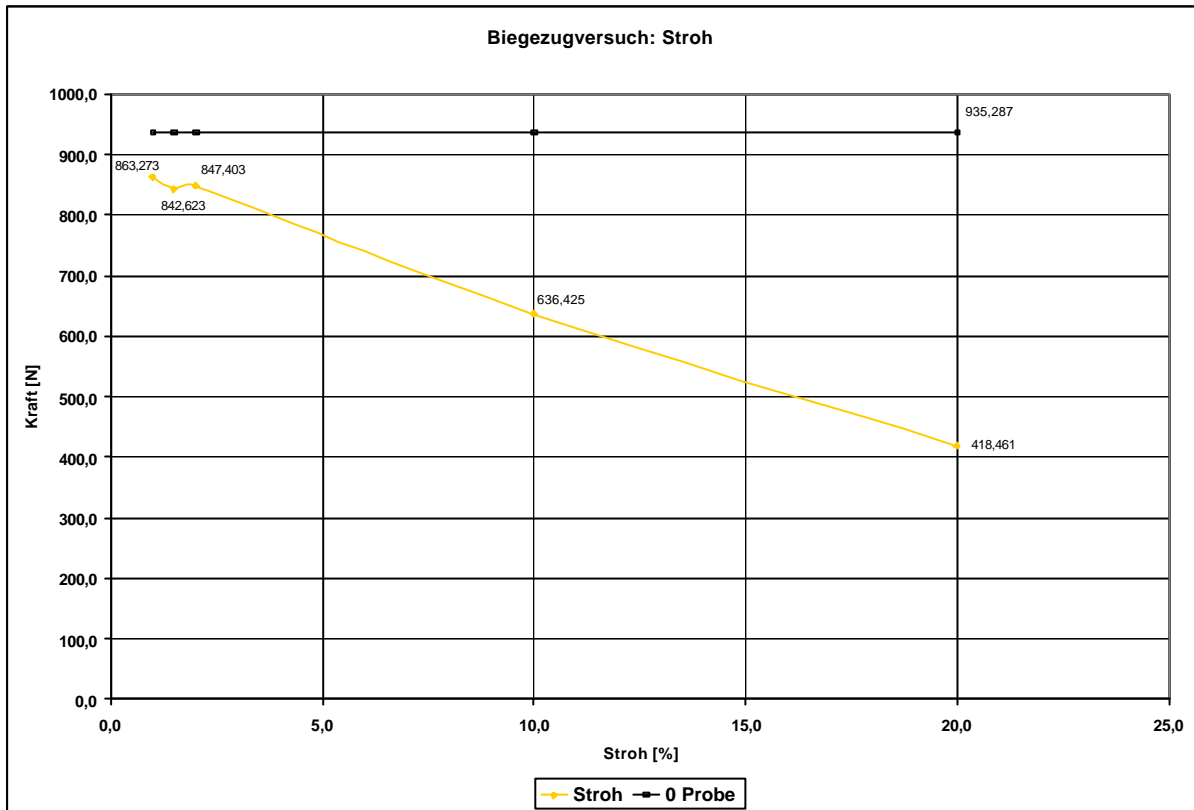
In dieser Auflistung sind die Vorversuche nicht enthalten.

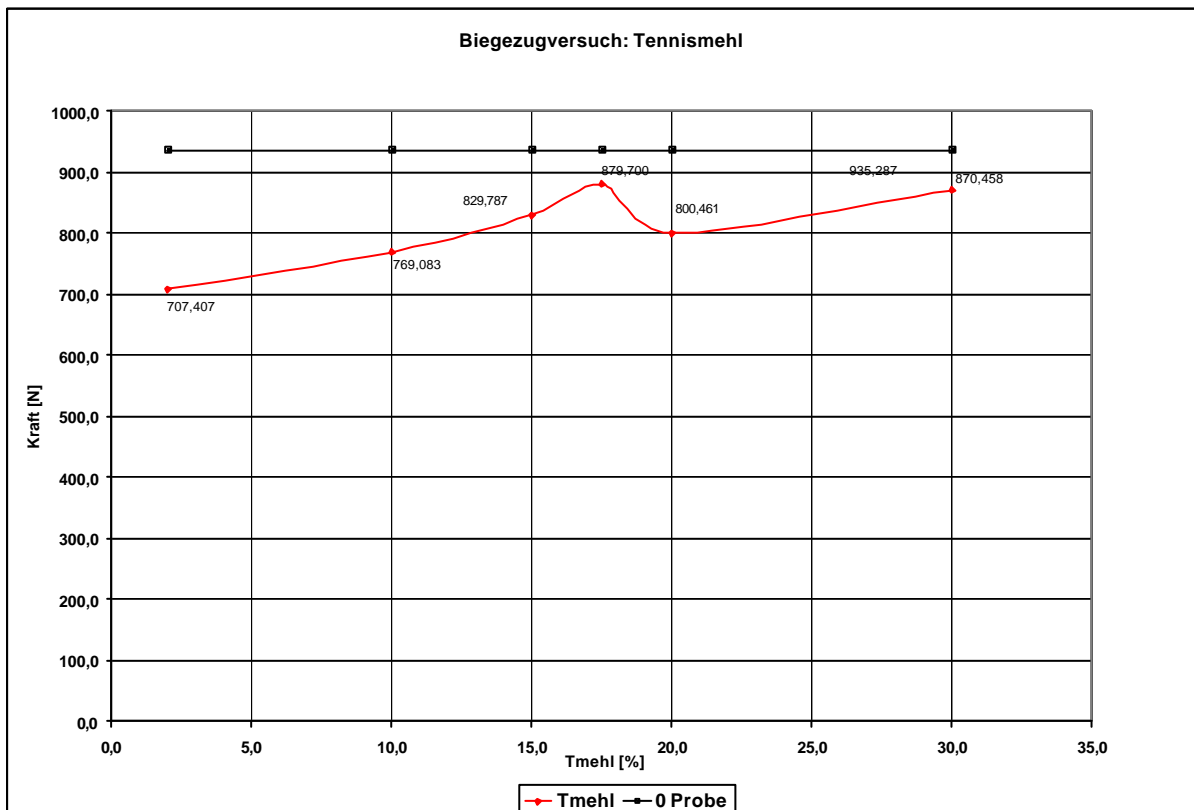
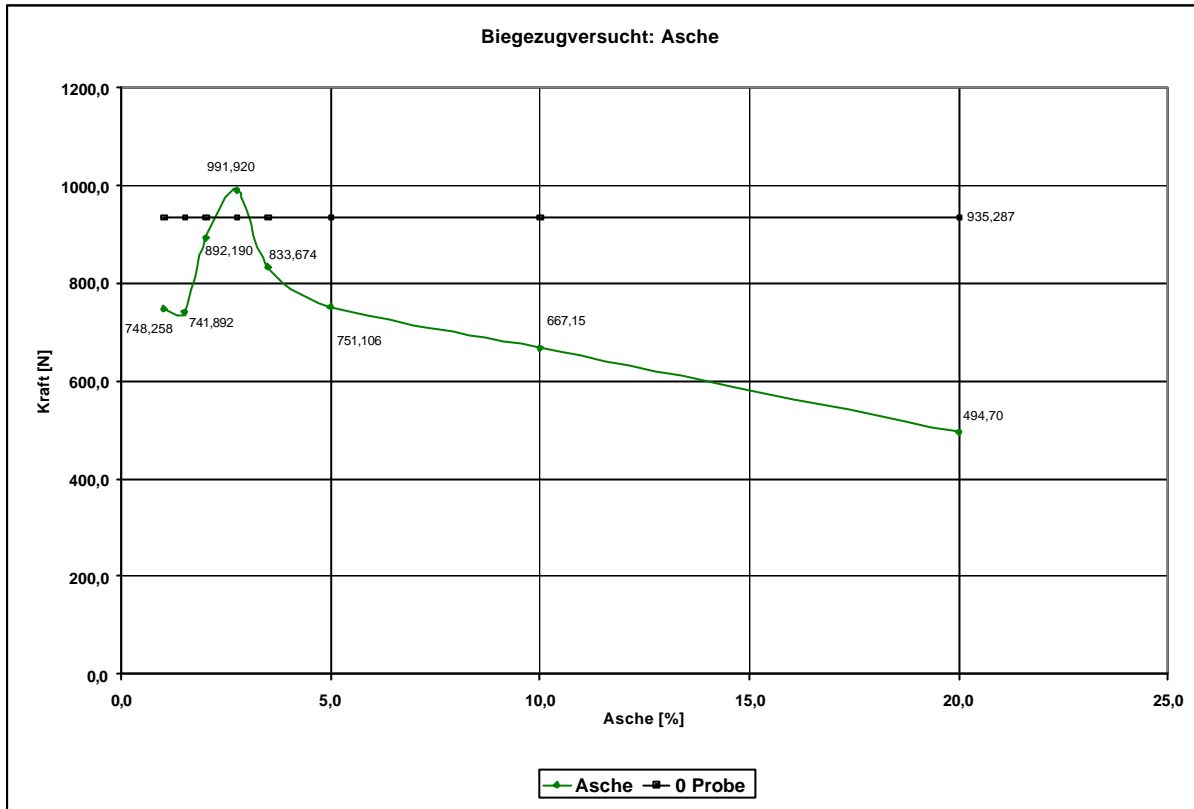
## 2. Biegezugversuch:

Zusätzlich zum Druckversuch wurden auch Biegezugversuche durchgeführt. Die Versuchsanordnung und die Versuchsreihen sind identisch mit jenen vom Druckversuch.

### Diagramme zur Versuchsreihe 1 (Einzelmischungen, trocken)





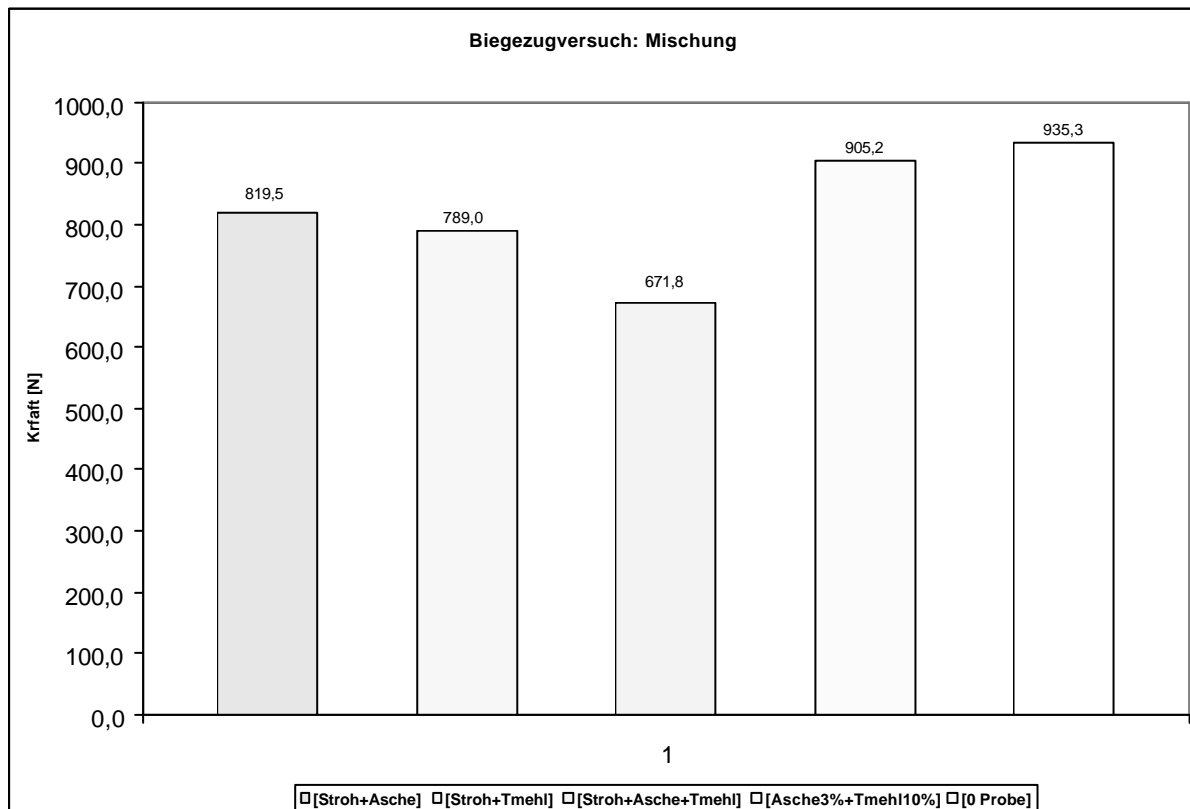


Die Tabelle 4 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme zur Versuchsanordnung 1. (Biegezugversuch) mit den höchsten Biegezugkräften für jeden einzelnen Zuschlagstoff im trockenen Zustand.

Tabelle 4

Bezeichnung	Zumischung in Massenprozent	Biegezugkraft im Mittel	% gegenüber 0-Probe
0 Probe		935,3 N	
Stroh	1,0 %	863,3 N	- 7,6 %
Natronwasserglas	2,0 %	488,2 N	- 47,8 %
Spezial - Wasserglas	2,0 %	378,9 N	- 59,5 %
Holzasche	2.75 %	991,9 N	+ 6,1 %
Tennismehl	17.5 %	879,7 N	- 5,9 %

### Versuchsreihe 2 - Kombinationsmischungen, trocken:





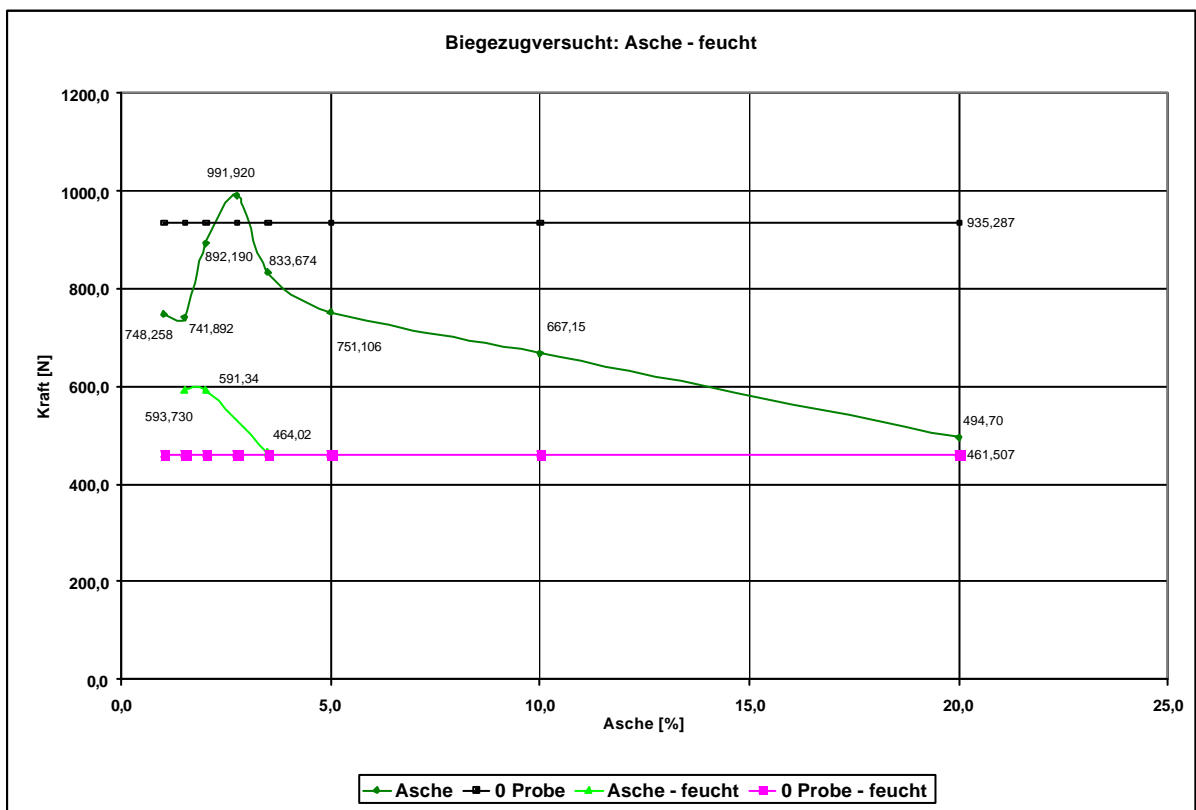
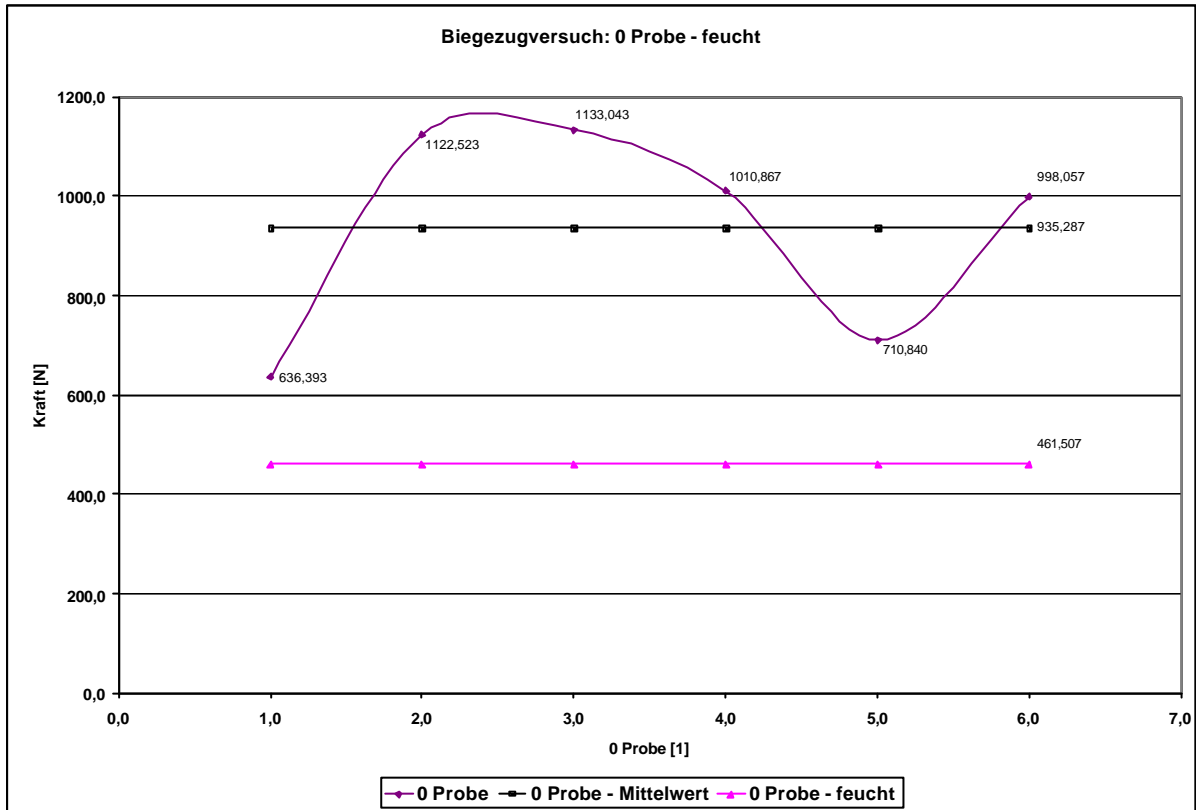
Die Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme aus der 2. Versuchsreihe (Biegezugversuch) mit den höchsten Biegezugkräften für die einzelnen Mischungen im trockenen Zustand.

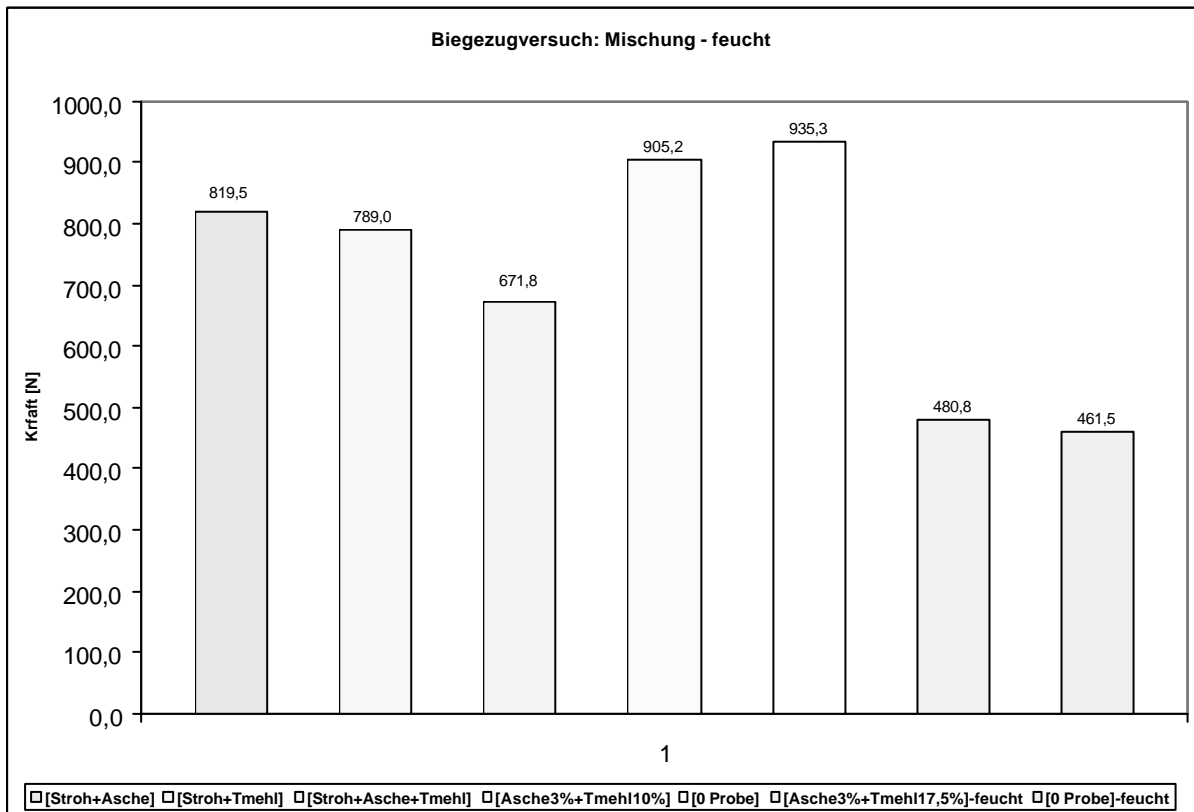
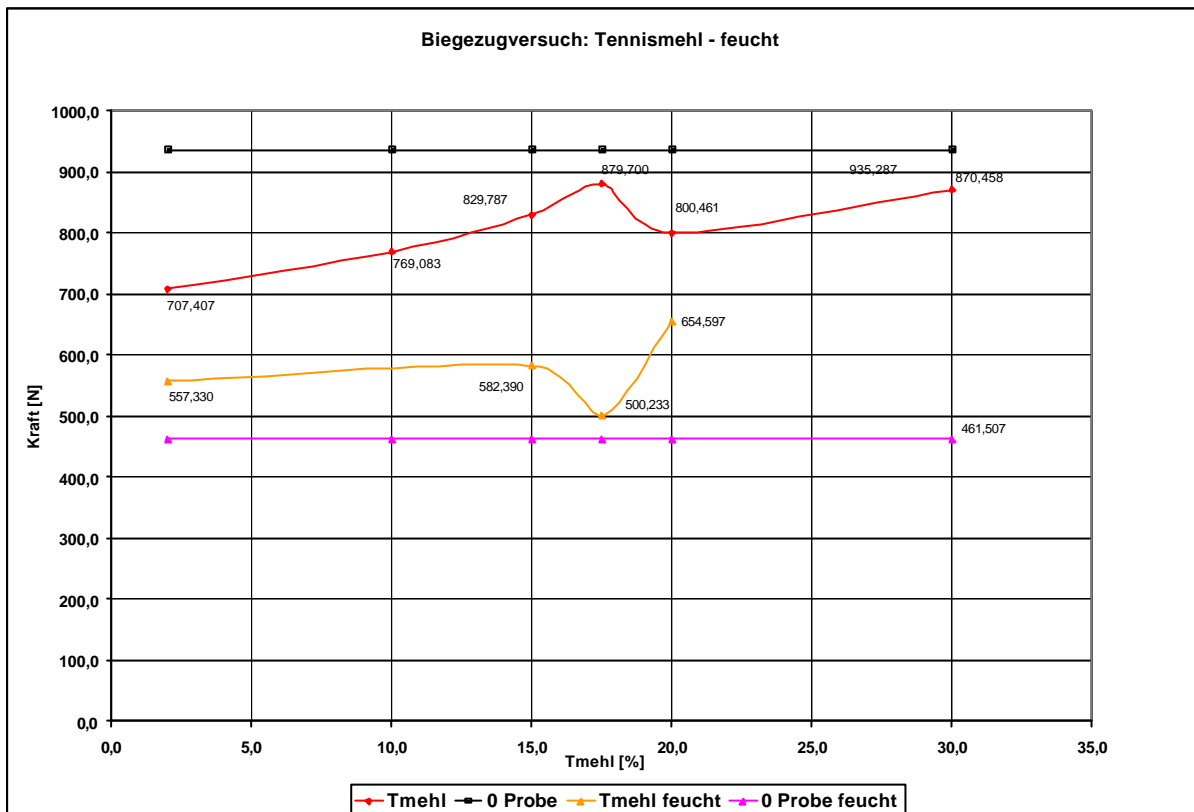
Tabelle 5

<b>Bezeichnung</b>	<b>Zumischung in Massenprozent</b>	<b>Biegezugkraft im Mittel</b>	<b>% gegenüber 0-Probe</b>
0 Probe		935,3 N	
Asche	Aus 1. Versuchsreihe	991,9 N	+ 6,1 %
Stroh + Asche:	1,5% + 3,0%	819,5 N	- 12,5 %
Stroh + Tennismehl:	1,5% + 17,5%	789,0 N	- 15,6 %
Stroh + Asche + Tmehl:	1,5%+3,0%+17,5%	671,8 N	- 28,2 %
Asche + Tennismehl:	3,0% + 10%	905,2 N	- 3,2 %

## Diagramme zur Versuchreihe 3

### (Einzel- und Kombinationsmischungen, feucht):





Die Tabelle 6 zeigt eine Zusammenfassung der oben aufgelisteten Diagramme aus der 3. Versuchsreihe (Biegezugversuch) mit den höchsten Biegezugkräften für die einzelnen Mischungen im feuchten Zustand.

Tabelle 6

Bezeichnung	Zumischung in Massenprozent	Biegezugkräfte im Mittel	% gegenüber 0 Probe-feucht
[0 Probe] - feucht:		461,5 N	
[Asche] - feucht :	2 %	591,3 N	+ 28,1 %
[Tmehl] – feucht	20 %	656,6 N	+ 42,3 %
[Asche + Tmehl] – feucht	3,0% + 17,5%	480,8 N	+ 4,2 %

## Interpretation der Ergebnisse:

### 1. Druckversuch

#### • *Trockener Zustand*

Eine Verbesserung der Druckfestigkeit im trockenen Zustand gegenüber der 0 Probe konnte durch die Zugabe von Holzasche (3,5%) oder Tennismehl (17,5%) erreicht werden. Die Erhöhung liegt bei ca. plus 6,0 % von 6,6 N/mm<sup>2</sup> auf 7,0 N/mm<sup>2</sup>.

Die Kombination von Zuschlagstoffen erbrachte im trockenen Zustand eine teilweise sehr große Verschlechterung der Druckfestigkeit von bis zu minus 25% gegenüber der 0 Probe.

#### • *Feuchter Zustand*

Zusätzlich konnte ein markanter Abfall der Druckfestigkeit im feuchten Zustand beobachtet werden. Die Druckfestigkeit der 0 Probe sank von 6,6 N/mm<sup>2</sup> auf 4,8 N/mm<sup>2</sup>. Das bedeutet einen Verlust von minus 27,3%.

Die Zugabe von [Tmehl] oder [Tmehl + Asche] bewirkt einen positiven Effekt für den feuchten Zustand. Die Zugabe von Tmehl (20.0%) bewirkte ein Absinken der Druckfestigkeit auf 5,6 N/mm<sup>2</sup>. Das ist eine Verbesserung gegenüber der feuchten 0 Probe um 16,7%.

Im Gegensatz zum trockenen Zustand bringt die Mischung von [Tmehl + Asche] für den feuchten Zustand eine Verbesserung von plus 4,1% gegenüber der feuchten 0 Probe.

## 2. Biegezugversuch

- ***Trockener Zustand***

Die Biegezugfestigkeit konnte durch die Zugabe von Asche (2,75%) um 6,1% gegenüber der 0 Probe erhöht werden. Alle anderen Mischungen ergaben eine Verschlechterung bezogen auf die 0 Probe.

- ***Feuchter Zustand***

Im Gegensatz zum trockenen Zustand brachten alle Mischungen für den feuchten Zustand eine Erhöhung um bis zu 42,3% gegenüber der feuchten 0 Probe.