

Helmut REINER
Dipl.-Ing. für Lebensmittel- und Biotechnologie
Grünentorg. 19 / 12
1090 - Wien
tel und fax 0222 / 310 59 62

Beratung und Auftragsarbeiten im Bereich: Botanik, Inhaltsstoffe, Kulturgeschichte und
Qualität pflanzlicher Lebensmittel

Für die
Sojarei GmbH
Römerstr. 14
2514 Traiskirchen

Wien, 24.2.95

Mögliche Einflußfaktoren der Zusammensetzung und der funktionellen Eigenschaften des Sojaproteins auf die Tofu-Qualität: Eine Zusammenstellung aus der Literatur

Inhalt:

1. Einleitung

- 1.1. Problemstellung
- 1.2. Die Tofuherstellung
- 1.3. Andere hochproteinhaltige Sojaprodukte

2. Chemie des Sojabohnenproteins

- 2.1. Einleitung
- 2.2. Glyinin
- 2.3. β -Conglycinin
- 2.4. Weitere Proteine der Sojabohne
- 2.5. Aminosäuren der Sojabohne
- 2.6. Fähigkeit zur Gelbildung

3. Herstellungsbedingungen für Tofu

- 3.1. Einflußfaktoren
- 3.2. Verhältnis: Wasser zu Bohnen
- 3.3. Temperatur
- 3.4. Koagulationsmittel
- 3.5. Das Protein von Tofu, Okara und Sojamilch

4. Mögliche Einflußfaktoren der Sojabohne

- 4.1. Sojasorten
- 4.2. Boden, Klima und Düngung
- 4.3. Erntezeitpunkt und Ausreifungsgrad
- 4.4. Geschälte oder ungeschälte Bohnen
- 4.5. Hemmstoffe

5. Ergebnisse und Zusammenfassung

- 5.1. Qualitätscharakterisierung der Rohware
- 5.2. Qualitätscharakterisierung von Tofu
- 5.3. Prozeßüberwachung und Qualitätssicherung

6. Literatur

1. Einleitung

1.1 Problemstellung

Viele wissenschaftliche Arbeiten haben **Sojaprotein** zum Gegenstand. Folgende Fragestellungen stehen bei diesen Forschungen im Vordergrund: Zusammensetzung und funktionelle Eigenschaften des Proteins, Wert für die Ernährung und als Futtermittel, Warenkunde der Spezialprodukte wie Tofu oder Soja-Isolate etc.. Diese Arbeit soll eine Sammlung von Informationen über das Protein der Sojabohne und das Protein von Tofu sein, um die theoretische Grundlage für die tägliche Arbeit zu verbessern. Die Arbeit soll versuchen, die verfügbare wissenschaftliche Literatur so weit wie möglich für die Praxis nutzbar zu machen. So können wichtige Maßnahmen für die **Prozeßkontrolle** und die **Qualitätssicherung** daraus abgeleitet werden.

1.2. Tofuherstellung

Zur Übersicht sei die Tofuherstellung beschrieben, entnommen aus dem Buch von **Shurtleff und Aoyagi (1981)**. Die Seiten aus dem Buch sind jeweils in Klammer angeführt. Die Sojabohnen werden zunächst eingeweicht. Durch Naßvermahlung wird ein **Sojapüree** hergestellt. Dieses wird ca 10 - 15 min gekocht, um den Trypsininhibitor zu inaktivieren. (S 66). Durch ein feinmaschiges Tuch wird die **Sojamilch** abgepreßt, in der sich lösliches und fein suspendiertes Eiweiß befindet. Der Preßrückstand heißt **Okara** (S 71). Zur Sojamilch wird jetzt **Nigari** (früher aus Meerwasser hergestellt mit dem Hauptbestandteil Magnesiumchlorid) oder reines Magnesiumchlorid zugegeben, wodurch der **Sojatopfen** ausfällt (S 228). In der Sojamolke bildet sich oben eine Haut, die abgeschöpft wird und in Japan **Yuba** genannt wird (S 214). Der Sojatopfen selbst wird herausgehöpft und in Formen gegeben, durch die sich **Tofu** formt. (traditionelle Methode Bauerntofu S 223 und handwerkliche Herstellung S 243, Tofu zu Hause S 90)

Das Eiweiß der Sojabohne findet sich also wieder in: **Okara, Sojamolke und Tofu**, wobei sich nach dem Schema auf S 79 folgende Bilanzgleichung für die Proteingehalte aufstellen läßt.

Sojabohne + Wasser = Sojapüree: wird gewonnen durch Vermahlung.

Sojapüree = Sojamilch + Okara wird gewonnen durch Abfiltrieren.

Sojamilch = Sojamolke + Tofu: wird gewonnen durch Abtropfen in Formen.

In vielen Arbeiten wird die Tofuherstellung im **Labormaßstab** beschrieben. Einige genaue Vorschriften sollen mit Besonderheiten zitiert werden. Die Verfahren unterscheiden sich oft bezüglich Erhitzungszeiten und -temperaturen und Art und Konzentration des Fällungsmittels. Entweder wird das Püree länger gekocht und die Milch nicht mehr erhitzt sondern sofort ausgefällt oder es wird das Püree kurz gekocht und nach Abfiltrieren der Milch diese noch einmal aufgeköcht. **Shurtleff u. Aoygi (1985, S 234)** bezeichnen die erste Methode als **Insel-Methoden**, die zweite als **Festland-Methode**. Für beide Verfahren soll eine Vorschrift für den Labormaßstab zitiert werden, weil alle Parameter genau angegeben sind:

Eine ausführliche Beschreibung findet sich bei **Wang und Cavins (1989)**: 100 g Sojabohnen werden gewaschen und in 300 ml destilliertem Wasser für 16 h bei Raumtemperatur (24-25 °C) eingeweicht, dann abgetropft und mit destilliertem Wasser gewaschen. ... Die geweichten Bohnen werden für 2 min homogenisiert (Brinkman Homogenisator) unter Zugabe von genügend Wasser, sodaß sich ein Bohnen : Wasser Verhältnis von 1 : 10 ergibt (bezogen auf

die trockenen Bohnen). Das entstandene Püree wird für 15 min gekocht. Das heiße Püree wird dann durch ein 4 schichtiges Käsetuch gefiltert, um die wasserlösliche Sojamilch vom Rückstand abzutrennen, der aus Schalen und anderem unlöslichem Material besteht. Nachdem die Sojamilch auf 70 °C abgekühlt ist, wird sie in eine $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Lösung (10 Volums%) geleert, sodaß die Endkonzentration an Salz 0,02 M ist. Nach 10 min wird der Sojatopfen in mit Käsetuch ausgelegte Holzschachteln gelegt.

Van der Riet (1989) stellen Tofu folgendermaßen her: 1 kg gewasche Sojabohnen werden übernacht in 10 L Leitungswasser bei 10 °C eingeweicht. Die Bohnen und das Weichwasser werden in einer Kolloidmühle fein vermahlen. Das Püree wird auf 80 bis 85 °C erhitzt in einem Dampfmantelkessel. Die Sojamilch wird dann durch ein Käsetuch unter Druck abgetreßt. Die Sojamilch wird 20 min gekocht, in einen Plastikbehälter gegeben und wieder auf 80 °C abgekühlt. Ein Koagulationsmittel wird dazu gegeben, bestehend aus 20 g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ und 50 g $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ in 500 ml Wasser, wobei das $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ zuerst gelöst wird. Das Koagulationsmittel hat eine Endkonzentration von 0,015 M $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ und 0,032 M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Die Mischung wird heftig durchgerührt und der Sojatopfen in ein Käsetuch und in die Formen gegeben.

Bei der Beurteilung der Tofuqualität ist zunächst zu vergleichen, welches Herstellungsverfahren gewählt wurde. Es gibt neben den beiden oben geschilderten Verfahren zahlreiche Varianten: Skurray u.a. (1980): 1 kg Sojabohnen wird 15 h in 4 l dest. Wasser bei 15 °C geweicht. Nach Abtropfen des Wassers werden die Bohnen mit 4 l dest Wasser in einem Mixer (Waring Blender) bei hoher Stufe püriert. Durch ein Tuch wird die Sojamilch abfiltriert und dann aufgekocht. Ist beim Abkühlen eine Temp. von 70 °C erreicht wird $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ zugegeben. Smith u.a. (1960) kochen das Sojapüree 30 min bei leichtem Überdruck, filtern ab und geben das Koagulationsmittel dazu. Ausführlich ist die Tofuherstellung auch bei Sun und Breene (1991) mit genauen Konzentrationsangaben beschrieben.

1.3. Andere hochproteinhaltige Sojaprodukte

Neben der eigentlichen Tofuherstellung besteht auch großes Interesse für die Gewinnung von Sojaprotein-Konzentraten und Sojaprotein-Isolaten. Die dabei gewonnen Erkenntnisse sind indirekt auch lehrreich für die Tofuherstellung. (Waggle u. Kolar 1979)

Sojaprotein-Konzentrate werden hergestellt, indem aus entfettetem Schrot der wasserlösliche Bestandteile, wie Kohlenhydrate, Zucker, Salze entfernt werden. Dabei müssen die Extraktionsbedingungen so gewählt, daß sich möglichst wenig Protein mitlöst. Die Method der Wahl ist mit leichten Säuren den pH auf 4,5 zu stellen. Das zurückgebliebene getrocknetet Sojaprotein-Konzentrat besteht aus mindestens 70 % Eiweiß (gerechnet auf TS).

Sojaprotein-Isolate werden im Prinzip wie Tofu hergestellt: Ausgangspunkt ist aber entfetteter Schrot. Es wird unter alkalischen Bedingungen das gesamte Protein in Lösung gebracht. Durch Zentrifugation werden die nicht gelösten Bestandteile (Kohlenhydrate, Rohfaser) abzentrifugiert. Dann wird der pH auf 4,5 gestellt wodurch das Sojaprotein-Isolat koaguliert. Dieses Produkt wird bei dem eingestellten pH belassen oder neutralisiert und getrocknet. Es muß zu mindestens 90 % aus dem Sojaprotein bestehen (gerechnet auf TS). Das Produkt hat die Gelbildungs-Eigenschaften, die vom Tofu bekannt sind. Viele Modellforschungen über die Gelbildung wurden mit Soja-Isolat durchgeführt.

2. Chemie des Sojabohnenproteins

2.1. Einleitung

Eine Übersicht über die Charakterisierung des Sojaproteins findet sich z.B. bei: **Badley u.a. (1975), Brooks und Morr (1985), Murphy P.A. (1985)**. Die Sojabohne hat ein **Vorratsspeicher oder Reserveprotein**, das von den Entdeckern **Glycinin** genannt wurde. Später wurde ein weiteres Protein unterschieden das mit dem Namen **β -Conglycinin** belegt wurde. Beide Proteine sind **Globuline**, d.h. sie liegen in wässriger Lösung mit kugeliger Struktur vor. Glycinin und Conglycinin konnten auch durch Dichtegradientenzentrifugation getrennt werden. Daher wird Glycinin auch **11 S Globulin** und Conglycinin auch **7 S Globulin** genannt, nach der Einheit der Dichtegradientenzentrifugation: $1 \text{ S} = 1 \text{ Svedberg}$. (Wolf u.a. 1961). Die hochmolekularen Speicherproteine der Hülsenfruchtsamen werden **Legumine** genannt, wozu das Glycinin zu rechnen ist, die niedermolekularen heißen **Viciline**, wozu das Conglycinin gerechnet wird. Daneben finden sich im Samen der Sojabohne noch andere Proteine, die meist spezielle Aufgaben haben. Am bekanntesten sind die **Trypsininhibitor-Proteine**, **Lectine** oder **Hämagglutinine**, die einen **Fraßschutz** bilden und **diverse Enzyme** wie **Amylase**, **Lipoxigenase**, **Urease** und viele andere, die **biochemische Aufgaben** erfüllen müssen. Für die **Grundlageninformation** über **Aminosäuren**, **Peptide** und **Proteine** sei auf das **Lehrbuch der Lebensmittelchemie von Belitz u. Grosch (1982)** verwiesen.

2.2. Glycinin

Badley u.a. (1975) fassen die wichtigsten Daten zum **Glycinin** zusammen: Glycinin hat ein Molekulargewicht von **320.000** und enthält zwei Größen von Untereinheiten mit jeweils verschiedenem isoelektrischen Punkt (= pH bei dem das Protein keine elektrische Ladung nach außen hat). Die Untereinheit A (für acid subunit = saure Untereinheit) kommt **6 x** vor und hat jeweils Molekulargewichte von ca. **35.000**. Die Untereinheit B (für basic subunit) kommt ebenfalls **6 x** vor und hat jeweils etwas kleinere Molekulargewichte von ca. **20.000**. Diese insgesamt **12 Untereinheiten** sind in **2 identischen Sechsecken** übereinander aufgebaut, indem sie in der Mitte einen **Hohlzylinder** bilden. Das Ganze hat die Abmessungen von **110 x 110 x 75** Angström ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$). Die Abbildung zeigt den Aufbau des Glycinin. Es handelt sich dabei um die sogenannte **Quartärstruktur**. In der Arbeit von Badley ist auch eine Abbildung durch das Elektronenmikroskop, die den Aufbau der einzelnen Glycinin-Moleküle zeigt.

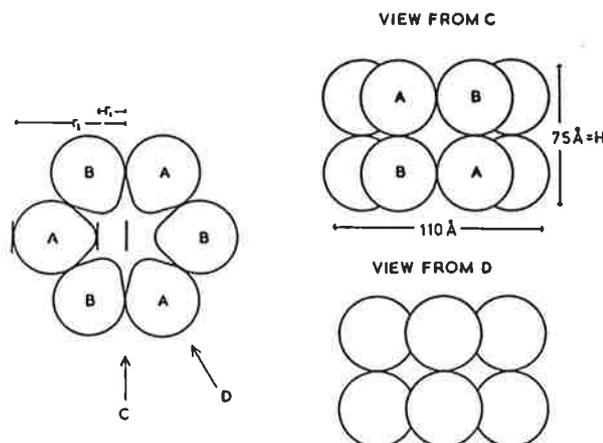


Abbildung aus **Badley u.a. (1975)**: Aufbau des Glycinin-Moleküls

In der neuern Zusammenfassungen von Brooks (1985) und Murphy (1985) werden die 6 sauren Untereinheiten unterschieden in: A_{1a} A_{1b} A₂ A₃ A₄ A₅ die basischen in B₁ B₂ B₃ B₄. Es wurde gefunden, daß sich abhängig von den Soja Sorten kleine Unterschiede bei den Untereinheiten zeigen (Polymorphismus). So konnte z.B. in der Sorte Raiden die Untereinheit A₄ nicht gefunden werden, hingegen wurde eine Untereinheit A₆ beschrieben. In einer anderen Arbeit wurde 18 verschiedene Sojasorten untersucht und dabei bis zu 7 A-Untereinheiten und bis zu 8 B-Untereinheiten gefunden. Die Untereinheiten sind sich in ihrer Aminosäuresequenz sehr ähnlich: A_{1a} und A_{1b} unterscheiden sich überhaupt nur durch eine Aminosäure. Weite Sequenzen von Aminosäuren sind ident mit Sequenzen von A₂ A₄ und A₆. Die Aminosäuresequenz von A₃ und A₅ ist ebenfalls fast ident.

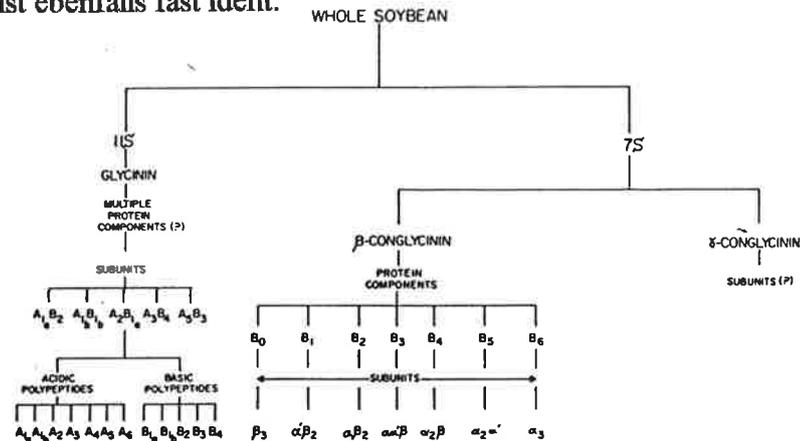


Abbildung aus Brooks (1985), S 1353: Fraktionierungsschema der wichtigsten Soja-Reserve Proteine und ihrer Untereinheiten.

Über die Tertiärstruktur des Glycinin ist weniger bekannt. Die Tertiärstruktur beschreibt Ort und Zahl der Wasserstoff Brücken, Disulfidbrücken und die hydrophilen und hydrophoben Bindungen im Protein. Die Sekundärstruktur bezieht sich auf die Anordnung des Proteins. Die Aminosäuren des Glycinin sind so angeordnet, daß sich eine Faltblattstruktur (sogenannte β -Struktur) ergibt.

Die Primärstruktur bezieht sich auf die Sequenz der Aminosäuren. Eine Tabelle mit der Aminosäuresequenz der Untereinheiten von Glycinin findet sich bei Murphy (1985). Die A-Untereinheiten enthalten natürlich überwiegend saure Aminosäuren, die B Untereinheiten enthalten basische Aminosäuren (Peng u.a. 1984). Staswick u.a.(1984) untersuchen die Aminosäuresequenz der Untereinheit A₂B_{1a} genau.

2.3. β -Conglycinin

β -Conglycinin ist das zweite wichtige Speicherprotein der Sojabohne. Das Molekulargewicht ist etwa 150.000. Es gehört zu den Vicilinen, die die niedermolekularen Speicherproteine der Hülsenfrüchte sind. (Molekulargewicht 150.000 bis 200.000). Oft wird als Synonym die ungenaue Bezeichnung 7 S Globulin verwendet. In der 7 S Fraktion der Dichtegradientenzentrifugation scheinen nämlich auch die Amylase, Lectin, die Lipoxigenase etc auf.

β -Conglycinin kommt in 3 und/oder 6 Untereinheiten vor (B₀ bis B₆). Die Untereinheiten sind Kombinationen aus α , α' , β und γ Proteinen. Es handelt sich jeweils um Glycoproteine, d.h es ist ein Zuckeranteil vorhanden. (Brooks 1985 und Murphy 1985). Die Aminosäurezusammensetzung von α , α' , β wird bei Murphy (1985) zusammengefaßt.

FIG. 1. Amino acid sequence of A₂. Standard three-letter abbreviations are used to denote amino acids. Horizontal lines indicate regions sequenced for each peptide. The beginning and end of peptides are marked with vertical bars (/—/). Arrowheads indicate the peptide continues but was not sequenced beyond this point. Sequence heterogeneity occurred at positions 76, 85, and 177 where 2 amino acids each are shown. Peptides were generated by cleavage with: CNBr, CB-1 to CB-6; NH₂OH, N-1 and N-2; Trypsin, T-1 to T-4; *Staphylococcus aureus* V-8 protease, V8-1 to V8-3; Endo-proteinase Lys-C, L-1 to L-7.

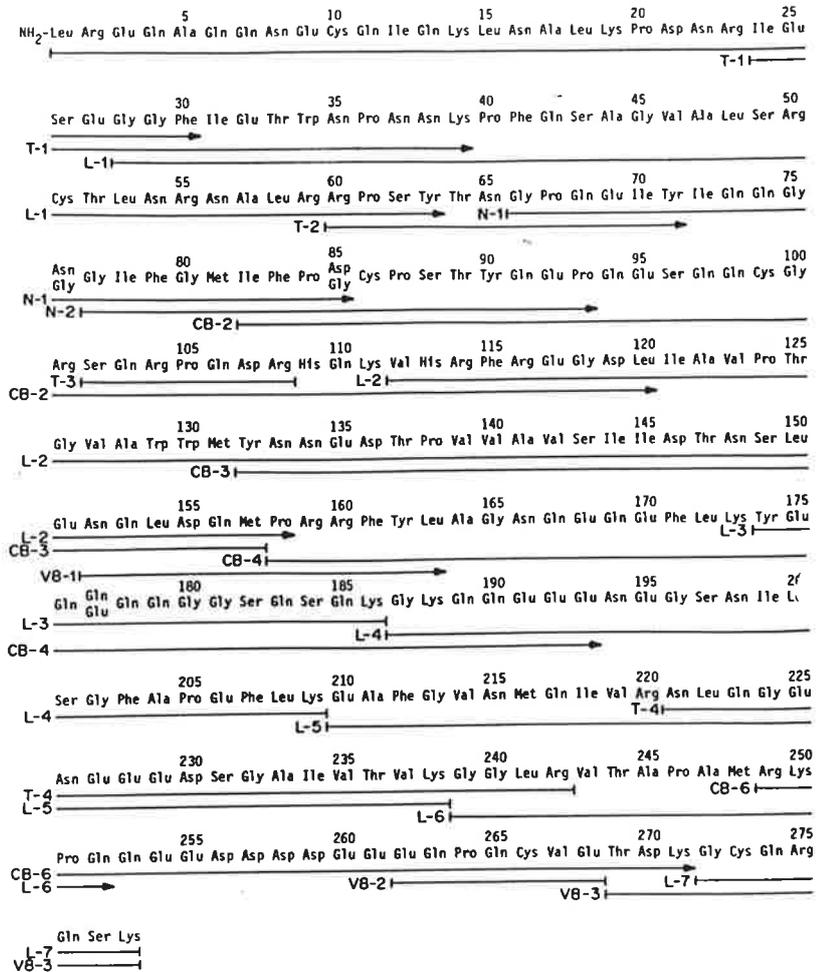


Abbildung aus Staswick (1984): Aminosäuresequenz der Untereinheit A₂ des Glycinin. Um die Sequenzanalyse zu erleichtern wurde das Protein mit Reagentien und Enzymen in Stücke geschnitten, die unter den Aminosäuren eingezeichnet sind.

Table 3. Amino acid composition of α , α' and β subunits of β -conglycinin in different genotypes.^a

	α			α'			β		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Asx	55	66	61	52	61	53	46	54	78
Thr	10	12	10	11	14	9	9	11	14
Ser	31	36	36	31	36	34	25	29	46
Glx	96	122	111	100	121	106	59	69	99
Pro	33	37	35	31	33	29	18	18	29
Gly	21	25	23	23	29	24	16	20	30
Ala	21	23	23	20	21	20	19	22	34
Val	21	18	13	23	18	11	19	16	17
Meth	2	2	1	2	2	2	0	0	0
Ile	27	23	16	23	19	12	22	17	18
Leu	41	43	39	35	36	30	37	37	55
Tyr	11	8	11	11	12	9	9	10	15
Phe	24	26	24	24	24	22	23	23	36
His	29	31	29	31	36	31	19	22	30
Lys	6	6	6	17	19	16	7	7	12
Arg	41	42	41	34	36	31	25	27	45
Cys	0	2	1	0	1	1	0	0	0

^aData are expressed as moles of amino acid per mole subunit; α , α' = 57,000; β = 42,000. A, Raiden, from Thanh and Shibasaki (1977); B, CX635-1-1-1, from Medeiros (1982), cysteine from S-alkylated subunits; C, Vinton, from (Murphy, unpublished), cysteine from performic acid oxidation.

Aus Murphy P.A. (1985): Zusammensetzung von β -Conglycinin

2.4. Weitere Proteine der Sojabohne

Neben den Speicherproteinen finden sich auch noch andere Proteine, die meist spezielle Aufgaben haben. Am bekanntesten sind die **Trypsin-Inhibitor-Proteine**, **Lectine** oder **Hämagglutinine**, die einen Fraßschutz bilden und diverse Enzyme wie **Amylase**, **Lipoxigenase**, **Urease**, die biochemische Umsetzungen abwickeln. Die **Urease-Aktivität** ist relativ leicht zu bestimmen und bietet die Grundlage der Entscheidung, ob der Trypsin-Inhibitor durch ausreichendes Erhitzen inaktiviert wurde.

2.5. Aminosäuren der Sojabohne

Eine Gesamtübersicht der Aminosäuren der Sojabohne findet sich im Tabellenwerk von **Souci/Fachmann/Kraut (1994)** in g/ 100 g Sojabohnen (33,73 % Protein und 8,5 % Wasser): Alanin 1,53; Arginin 2,36; Asparaginsäure 3,99; Cystin 0,59; Glutaminsäure 6,49; Glycin 1,42; Histidin 0,83; Isoleucin 1,78; Leucin 2,84; Lysin 1,9; Methionin 0,58; Phenylalanin 1,97; Prolin 1,82; Serin 1,69; Threonin 1,49; Tryptophan 0,45; Tyrosin 1,25; Valin 1,76. Multiplikation dieser Werte mit $100/33,73 = 2,965$ ergibt den Anteil der Aminosäuren am Protein der Sojabohne. Das Sojaprotein enthält also z.B. 4,53 % der Aminosäure Alanin.

2.6. Fähigkeit zur Gelbildung

Nach wässriger Extraktion ist das Globulin der Sojabohne in Lösung. Es liegt als Sol vor. Durch Hitzeeinwirkung erhöht sich zunächst die Viskosität. Bei ca 80 °C denaturiert das Globulin. Die kugelige Struktur öffnet sich, das Globulin dissoziiert. Es entstehen offene Stränge von gelösten Proteinmolekülen. Es bilden sich lösliche Makrokomplexe. Diese stellen den sogenannten **Progel-Zustand** dar. Beim Abkühlen bildet sich durch verschiedene neue chemische Bindungen ein neues festes Netz aus, sodaß das Sojaprotein sich jetzt im **Gel-Zustand** befindet. Die Änderung Progel-Gel ist reversibel und in einer Skizze bei **Peng (1984)** schön dargestellt. Dieses Phänomen ist die wichtigste und begehrteste funktionelle Eigenschaft des Sojaproteins und bildet die **Grundlage der Tofu-Herstellung**.

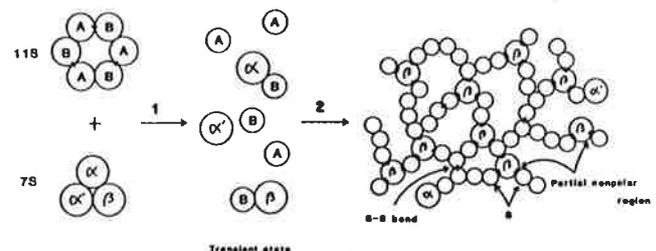
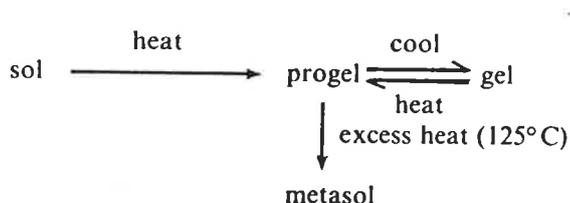


Abbildung aus Peng (1984): Gelbildung der Sojaproteine ausgelöst durch Hitze

Abbildung aus Utsumi (1984): Netzstruktur aus 11 S und 7 S Globulin

Prinzipiell kann die Gelbildung durch 4 Faktoren ausgelöst werden:

- Hitze
- Hitze und Calcium
- Alkali
- Alkali und Alkohol

Das Koagulieren des Sojaweißes durch Hitze und Calcium wird bei der Tofuherstellung ausgenutzt. Gele, die aus reinem 11 S Globulin gebildet werden, sind härter und haben besseren Zusammenhalt als Gele aus 7 S Globulin. Beim 11 S Globulin sind mehr Disulfid-Brücken und daher bildet sich ein stärkeres Netz aus (Peng 1994).

Für die Gelbildung ist eine große Proteinkonzentration notwendig. Mori u.a. (1981) haben gefunden, daß bei einer Proteinkonzentration von nur 0,5 % die durch Erhitzen gebildeten löslichen Aggregate wieder dissoziieren. Nur bei höheren Proteinkonzentration (z.B. bei 5 %) bilden sich hochpolymere Aggregate und beim Abkühlen das Gel aus.

Nakamura u.a. (1984) zeigen die Ausbildung des Gels von 11 S Protein durch Hitze: Besonders interessant sind die elektronenmikroskopischen Abbildungen, die die Gelbildung verfolgen. Auch Hermannsson (1986) zeigen elektronenmikroskopische Aufnahmen der Gele aus Glycinin und Conglycinin, in denen das Netzwerk besonders gut sichtbar ist.

3. Herstellungsbedingungen für Tofu

3.1. Einflußfaktoren:

Die wichtigsten Faktoren bei der Herstellung von Tofu sind nach Sun u.a. (1991):

- Zeit und Temperatur des Weichens der Bohnen
- Verhältnis: Wasser zu Bohnen bzw Feststoffkonzentration in der Sojamilch
- Zeit und Temperatur der Erhitzung des Sojapurees bzw der Sojamilch
- Art und Konzentration des Koagulationsmittels
- Temperatur und Rührbedingungen beim Koagulieren

Die Einflüsse bedingt durch die Zusammensetzung der Bohnen werden in nachfolgend eigens behandelt.

3.2. Verhältnis: Wasser zu Bohnen

Zunächst muß das Verhältnis Wasser zu trockenen Bohnen angegeben werden. Dies beträgt z.B. bei Wang und Cavins (1989) 10 zu 1. Die Vermahlungsfeinheit und die Porengröße des Filtertuches bestimmen dann vor allem die Zusammensetzung der Sojamilch: Sojamilch besteht aus gelösten Stoffen und fein dispergierten Stoffen (kleinste Feststoffpartikeln in Flüssigkeit). Die Untersuchung der Sojamilch bietet sicher die beste Prozeßkontrolle: Es können folgende Parameter untersucht werden:

- **Feststoffanteil mit der Trockenschrankmethode:** Ein bestimmtes Volumen der Sojamilch wird gewogen und nach der Trocknung im Trockenschrank der Rückstand and Trockensubstanz gewogen. (Sun und Breene 1991)
- **Gelöster Stoffanteil mit einem Refraktometer:** Der Brechungsindex einer Lösung ist umso höher je mehr Stoffe gelöst sind. (Sun und Breene 1991)
- **Proteingehalt der Sojamilch:** Der Proteingehalt der Sojamilch auf Trockenbasis bezogen bietet ein wichtiges Zwischenergebnis. Nach der Arbeit von Lim u.a. (1990) liegt er konstant zwischen 9 und 10 %.

- Phosphorgehalt: Lim u.a. (1990) beziehen auch den Phosphorgehalt in ihre Untersuchung der Sojamilch mit ein. (bei 9 untersuchten Sorten zwischen 0,69 und 0,86 % auf TS). Der Zusammenhang zum Problem Phytinsäure wird später aufgezeigt

Die Sojamilch ist der Ausgangspunkt für die Koagulierung. Neben den oben aufgezählten Faktoren sind noch vor allem der pH und der natürlich Ca-Gehalt von Interesse.

Ono u.a. (1993) untersuchen auch das Verhalten der feine dispergierten Proteinteilchen. Sojamilch besteht nicht nur aus den in Lösung befindlichen Proteinen sondern auch aus den Proteinen, die als kleinste Feststoffe vorliegen. Diese können abzentrifugiert werden und sind größer als 30 nm. Interessant ist, daß sie schon bei sehr viel niedrigerer Ca-Konz. koagulieren, nämlich zwischen 2 und 3 mM. Die gelösten Proteine fallen erst ab 8 bis 10 mM aus.

3.3. Temperatur

Die Erhitzung ist der Auslösefaktor für die Gelbildung. Um das Minimum zu erreichen wird in allen Vorschriften zunächst ein Kochen von einigen Minuten, entweder des Sojapurees oder der Sojamilch vorausgesetzt, dies auch um Enzyme abzutöten. Für den Koagulierungsvorgang selbst genügen niedrigere Temperaturen.

Morr (1990) berichtet von dem Unterschied in der Gelbildung: 7 S Globulin bildete schon ab 80 °C Gele aus, während 11 S Protein über 90 °C erhitzt werden mußte. Der Thermische Übergangspunkt für 7S Globulin ist 77 °C, der für 11 S Globulin ist 92 °C. Für Gesamt Sojaprotein muß die Proteinkonzentration mindestens 8 % sein, reines 11 S Globulin bildet aber schon bei 2,5 % ein Gel aus. Für typische Anwendung zur Ausbildung von Gelen in der Lebensmittelindustrie wird also eine Proteinkonzentration > 10 % und eine Temp > 95 °C angewendet, um stabile Gele zu bilden.

Nakamura u.a (1985) zeigen auf, daß die Gelbildung in zwei Stufen erfolgt, und daß die erste Stufe zwar immer ein kurzes Erhitzen auf 100°C für 1 min erfordert, daß aber dann auch eine Temperatur von 90 oder 80 °C für einige Zeit genügt, um die Gelbildung hervorzurufen. Die Ausbildung des Geles kann auf diese Weise sogar besser gesteuert werden

3.4. Koagulationsmittel

Die Alkali- und Erdalkali-Ionen beeinflussen die Hydrat-Hülle der globulären Proteine und verändern deshalb ihr Lösungsverhalten. Nach dem Öffnen der Kugelstruktur durch Hitzeeinwirkung bilden sie Brücken aus und sind daher auch für die Ausbildung der Gelstruktur mitverantwortlich. Ausschlaggebend sind die molaren Konzentration. (in Mol bzw Val/ l), errechnet aus den Atomgewichten:

Na⁺ 23, K⁺ 39, Mg⁺⁺ 24, Ca⁺⁺ 40, Cl⁻35, S 32, O 16, H 1

und den Molekülformeln.

Salz	1 Mol	1 Val	MitHydratwasser	1 Mol	1 Val
H ₂ O	18 g				
CaSO ₄	136 g/l	68	CaSO ₄ · 2 H ₂ O	172 g/l	86 g/l
MgCl ₂	94	47	MgCl ₂		

1 Mol ist das MG in g, Angabe in Molarität (M oder m)

1 Val ist das MG in g / Wertigkeit, Angabe als Normalität (N oder n)

Der wichtigste Faktor für die Ausbildung des Gels ist nach der Temperatur Art und Konzentration des Koagulationsmittels. Die Molarität des früher verwendete Nigari, das aus Meersalz gewonnen wurde, muß aus den Prozentsätzen der einzelnen Salze ($MgCl_2$, $MgSO_4$, K_2SO_4 , $NaCl$) berechnet werden. Das Hauptsalz ist $MgCl_2$. (Achtung auf Angabe: Es kann auch Kristallwasser in der Formel enthalten sein !)

Das heute am häufigsten verwendete Koagulationsmittel $CaSO_4$ wurde von Sun und Breene (1991) untersucht: In einer Konzentration von 0,01 N war die Ausbeute zwar am höchsten, der Tofu aber zu weich und nicht schnittfest. Eine Konzentration von 0,02 N erwies sich als optimal. Darüber stieg die Trockenmasse und der Tofu wurde zu hart. Durch die zu große Anzahl von neu entstehenden Bindungsbrücken gibt es eine zu starke Synärese, d.h. zu starken Austritt von Wasser, Molkenproteinen und anderen löslichen Bestandteilen.

Wichtig ist es, den pH-Wert anzugeben. Denn nach Ono u.a. (1993), S 27 muß zur Fällung eine umso höhere Ca-Konzentration verwendet werden, je niedriger der pH-Wert der Sojamilch ist. Auch in der Arbeit von Shimada (1988) ist ein Versuch beschrieben, der zeigt, daß die Festigkeit eines Gels aus 11 S Protein steigt mit steigendem pH.

Skurray (1980) verwendet je nach Sojasorte ganz unterschiedliche Mengen von $CaSO_4$ zum Ausfällen. Dies kommt vor allem infolge der hohen Streuung der Proteingehalte der Sojabohnen. Torikata u.a. (1987) untersuchen die Fällungsbedingungen mit $CaCl_2$.

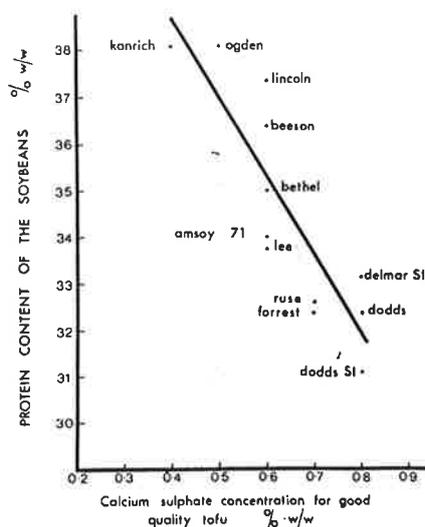


Abbildung aus Skurray (1980): Erforderliche $CaSO_4$ Menge auf die Ausbildung guter Tofu-Qualität.

3.5. Das Protein von Tofu, Okara und Sojamilke

Wang und Cavins (1989) schlüsseln in einer Tabelle alle Aminosäuren der Sojabohne (Durchschnitt aus 3 Sorten) und des daraus hergestellten Tofu auf. Aus der Analyse der Zusammensetzung der Nebenprodukte kann durch Differenzrechnung auf die Zusammensetzung von Tofu geschlossen werden. VanderRiet (1989) gibt in einer Tabelle die wichtigsten Werte für Okara aus 3 Sojasorten an. In der Arbeit von Wang und Cavins (1989) ist die Zusammensetzung von Weichwasser, Rückstand (=Okara), Sojamilch, Tofu und Molke aufgeführt.

4. Mögliche Einflußfaktoren der Sojabohnen

4.1. Sojasorten

Aus der im Folgenden kurz referierten Literatur läßt sich sagen, daß die Sorten keinen wesentlichen Einfluß auf die Eignung zur Tofuerstellung haben. Voraussetzung ist allerdings, daß es sich um Sorten handelt, die einen hohen Proteingehalt aufweisen. Der Proteingehalt resultiert aber vor allem aus pflanzenbaulichen Maßnahmen. Die wichtigsten Arbeiten, die den Sortenvergleich zum Gegenstand haben seien kurz referiert.

Smith u.a. (1960) verglichen Sojabohnen aus den USA und aus Japan in ihrer Eignung für die Tofuherstellung und konnten Unterschiede zwischen den ca. 20 untersuchten Sorten feststellen, aber keinen wesentlichen Unterschied zwischen Sorten aus den USA und aus Japan. Das Tofu aus japanischen Sorten war eher grau, was dort aber der Konsumentenerwartung entspricht. In den USA wird ein gelblicher Einschlag bevorzugt, was in der Konsumentenerwartung von den Milchprodukten herrührt.

Skurray G. u.a. (1980) untersuchten eine Reihe von Soja-Sorten für die Herstellung von Tofu. Die Tofuqualität wurde beurteilt an Hand der Farbe, am Geschmack und der Textur, bestimmt durch sensorische und instrumentelle Methoden. Ein linearer Zusammenhang wurde zwischen dem Proteingehalt der Bohnen und der Menge an erforderlichem CaSO_4 für eine gute Tofuqualität beobachtet.

Wang u.a. (1983) untersuchten den Einfluß von Sojasorten auf die Qualität von Tofu. Tofu wurde aus 5 US-Sorten und 5 Japanischen Sorten hergestellt. (Coles, Vinton, Weber, Hodgson, Corsoy; Kitamusume, Tokachi-Nagaha, Wase Kogane, Yuuzuru und Toyosuzu). Es gibt leichte Einflüsse auf die Qualität des Tofu, die aber nicht den Ursprungsländern zuzuordnen sind. Der wichtigste Faktor ist der Proteingehalt der Bohnen. Sorten mit schwarzem Hilum sollten nicht verwendet werden, da die Farbe des Tofus leicht dunkel wird. Beim Acknowledgment ist die Tokachi Agricultural Experiment Station in Hokkaido erwähnt, die Sojasorten für Tofu züchtet.

Nakamura u.a. (1984) finden, daß jene Sorten, bei denen sich im Elektropherogramm die Untereinheit AS-III findet, harte Gele ausbilden. Dazu gehörten die Sorten: Raiden, Shiro, Tsuru-no-ko, York, Hill und Matsuura.

Wang und Cavins (1989) vergleichen das Aminosäuremuster von drei Sorten, die von Tofuherstellern bevorzugt werden: Vinton, Baird B31000 und Beeson 80.

Lim u.a. (1990) untersuchen die Tofu-Qualität, hergestellt aus häufigen japanischen und amerikanischen Sorten mit Hilfe von CaSO_4 . Die Sorten sind: OX733, Corsoy 79, OXY 734, Ryokko, Kurozaya (P181.877 und P186.454) KSX 1768, B220, Nattoking-K86. Die Zuchtstationen sind angegeben.

Sun und Breene (1991) untersuchen den Einfluß der CaSO_4 -Konzentration auf Ausbeute und Qualität von Tofu aus fünf verschiedenen Sorten aus Minnesota (Vinton, Corsoy, Hardin, Stine 2510, Stine 2810) Es wurde die optimale Konzentration für das Koagulierungsmedium CaSO_4 bestimmt. Produktausbeute, Proteinwiederfindung und Textureigenschaften waren optimal bei 0,02 N CaSO_4 .

4.2. Boden, Klima und Düngung

Schon Wolf u.a. (1961) fanden einen deutlichen Unterschied bei der Dichtegradienten-Zentrifugation zwischen der amerikanischen Sorte Clark und der japanischen Sorte Hakuhou, der aber als umweltbedingt beschrieben wurde. Genau wurden die Einflüsse der Düngung von Phosphor, Kalium, Dolomit und Stickstoff auf Qualität, Ertrag, Proteine und Lipide der Sojabohnensorte "Davis" von Gaydou und Arrivets (1983) untersucht. Interessant ist die Veränderung des Fettsäurespektrums der Bohnen in Abhängigkeit von der Mineraldüngung der Bohnen, was aber auf die Eignung für die Tofuherstellung keine Auswirkung haben dürfte.

4.3. Erntezeitpunkt und Ausreifungsgrad

Tanteerataru u.a. (1989) untersuchen die Auswirkungen des Erntezeitpunktes auf die Zusammensetzung der Sojabohnen und auf deren Lagerfähigkeit. Der Proteingehalt stieg nur leicht bei der Ausreifung. Auffallend war der hohe Gehalt an Freien Fettsäuren in unreif geernteten Bohnen.

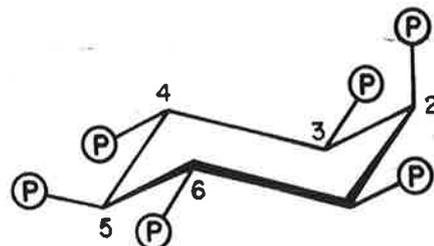
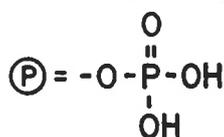
Das Verhalten der Sojabohnen bei der Lagerung steht im Mittelpunkt einer Untersuchung von Thomas u.a. (1989). Dabei zeigte sich, daß nach 8 Monaten Lagerung der Bohnen bei 85 % Relativer Luft Feuchtigkeit das extrahierbare Protein um 15 % abnahm. Auf eine sachgemäße Lagerung muß daher besonders geachtet werden.

4.4. Geschälte oder ungeschälte Bohnen

Reichert u.a. (1984) untersuchen die Schälung verschiedener Hülsenfrüchte mit einem Labor Schmirgelschäler. Durch die Schälung entstehen große Änderung in der Zusammensetzung der Sojabohnen. Der Anteil der Schalen betrug in ihrer Arbeit 8,27 %. Um in der Praxis eine 97,8 % Schälung zu erreichen mußten aber 11,3 % des Samens abgeschliffen werden, bestehend aus 8,09 % Schalengewebe jedoch auch 3,21 Gewebe aus dem Samen. Durch die Schälung steigt der Proteingehalt von 38,1 % auf bis zu 40,4 %, während der Rohfasergehalt von 7,4 % auf 2,3 % abfällt. Viele andere Inhaltsstoffe, wie z.B. Phytinsäure werden dadurch in der Konzentration erhöht.

4.5. Hemmstoffe

Die Phytinsäure ist der wichtigste Phosphorspeicher vieler Pflanzen. Die 6 OH-Gruppen des zyklischen Alkohols Inosit sind jeweils mit Phosphorsäure verestert. Sojabohnen enthalten 1,4 % bis 1,7 % Phytinsäure (nach Cilliers und Niekerk 1986), die Schale aber nur 0,1 %. Geschälte Bohnen haben daher einen höheren Gehalt an Phytinsäure. Die Verwendung der Phytinsäure wird von Graf (1983) beschrieben.



Formel aus Graf (1983): Phytinsäure

Für die Tofuherstellung ist Phytinsäure deshalb von großer Bedeutung, da sie mit Calcium ausfällt und das Calcium dann nicht mehr zur Koagulation des Proteins zur Verfügung steht. Dieser schwierige Zusammenhang wird z.B. bei Ono u.a. (1993) und Brooks (1985) untersucht. Thomas u.a. (1989) geben an daß 75 -80 % des Phosphors der Sojabohne als Phytinsäure vorliegen, während 12 % in Phospholipiden vorliegt (z.B. Lecithin). Nur 5 % liegt anorganisch vor. Fertiges Tofu enthält nach Cilliers und Niekerk (1986) um 3 % Phytinsäure, nach VanderRiet u.a. (1989) zwischen 1,5 und 2,5 % Phytinsäure. Okara, entsprechend dem geringen Phytinsäuregehalt der Schalen, zwischen 0,5 und 1,2 % Phytinsäure. Brooks und Morr (1984) untersuchten den Phosphor und den Phytinsäuregehalt von verschiedenen Sojaproteinfraktionen.

5. Ergebnisse und Zusammenfassung

5.1. Qualitätscharakterisierung der Rohware

Aus der referierten Literatur ergibt sich, daß die folgenden Parameter wichtige Einflußfaktoren für den Ertrag und die Qualität des Tofu sind:

- Proteingehalt der Sojabohnen.
- Wassergehalt
- Fettgehalt
- natürlicher Gehalt an Phytinsäure
- natürlicher Ca-Gehalt der Bohnen

5.2 Qualitätscharakterisierung von Tofu

Zahlreiche Arbeiten beschäftigen sich mit der Qualitätscharakterisierung des fertigen Tofu. Es ist sehr schwierig geeignete meßbare Antwortgrößen für die Qualität von Tofu zu finden. Wichtig sind drei Gruppen von Bestimmungen: Chemische Parameter, Texturmessungen und Sensorische Messungen, die im folgenden, ungeachtet ihres apparativen Aufwandes, aufgezählt werden.

Chemische Parameter:

- Proteingehalt des Tofu
- Wassergehalt
- Fettgehalt

Texturmessungen:

- Volumen bzw Dichte
- Textur mit dem Instron-Gerät (Kraft - Weg Diagramme)
- Messung der Gelstruktur mit Schwingungsrheologie

Sensorische Parameter:

- Farbe
- Geschmack
- Geruch

Zu einigen Methoden sei die Literatur zusammengefaßt:

In der Arbeit von Smith u.a. (1960) werden folgende Antwortgrößen herangezogen: Ausbeute in kg pro kg verwendete Bohnen, Proteingehalt, Höhe bzw Volumen, Wassergehalt, Härte gemessen mit einem Präzissionspenetrometer, gebaut zur Bestimmung der Weichheit der Brotkrume, Koagulation, Textur und Farbe. Die letzten drei Parameter werden nur sensorisch mit einem Punktesystem bewertet.

Wang u.a. (1983) testen die Härte "Hardness" mit einer Instron Universal Test Maschine. Aus dem Tofu wurden kleine Zylinder geschnitten mit 1 cm Durchmesser und 2 cm Höhe. Die Proben wurden im Zuge des Versuches bis auf 0,5 cm (um 75 %) zusammengedrückt und die notwendige Kraftaufnahme gemessen. Auch Sun und Breene (1991) verwenden diese Instron Universal Testing Machine (Model 1122). Lim u.a. (1990): Die Härte wird gemessen als Maximalkraft (peak force in N) bei der größten Deformation. Die Festigkeit (firmness in N/mm) ist definiert als Verhältnis Kraft / Verformung (ratio of stress/strain).

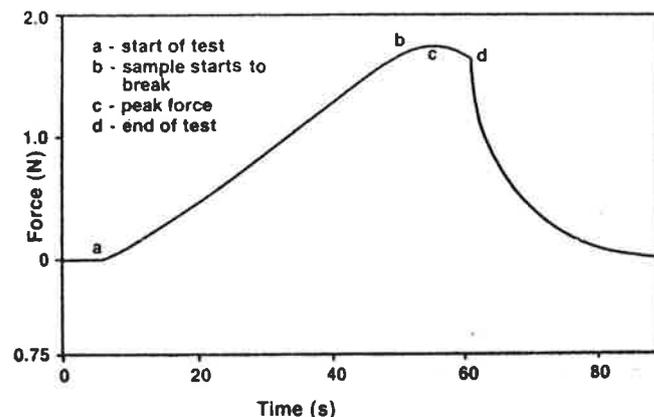


Abbildung aus Lim u.a. (1990): Typisches Kraft - Verformungsdiagramm für die Kompression von Tofu auf 50 %.

Kohyama und Nishinari (1993) charakterisieren Gele, die sich aus 7 S und 11 S Proteinen der Sojabohne bilden. Den Kompressionstest führen sie mit einem Rheometer RE 33005 der Fa Yamaden Co., Ltd Tokyo durch, das dem Instron Geräte entspricht. Ein weiteres Gerät ähnlichen Prinzips wird in der Arbeit von Yoshida u.a. (1992) erwähnt, es heißt Neo-Curdrometer (I-io Denki Co., Ltd.).

In der Arbeit von Kohyama und Nishinari (1993) wird auch die sogenannte Dynamische Viskoelastizität (Dynamic Viscoelasticity) mittels Schwingungs Rheometrie gemessen, die den Gelbildungsvorgang anzeigt. Yoshida u.a. (1992) beschreiben das Rheograph Sol Gerät der Fa. Toyoseiki Seisakusho zur Messung der Dynamischen Viskoelastizität und zeigen ein Blockdiagramm. Die Probe wird mit einer Sinus-Schwingung von 2 Hz und einer Amplitude von 125 μ in Schwingung versetzt. Über den sogenannten Speichermodul (storage modulus G') und den Verlustmodul (loss modulus G'') kann die Gelbildung verfolgt werden.

Sun und Breene (1991) verwenden zur Farbmessung des Tofu ein Gerät Minolta Chroma Meter (CR-200).

5.3 Prozeßüberwachung und Qualitätssicherung

Zur Prozeßüberwachung wäre vor allem die Aufzeichnung folgenden Parameter von Interesse:

- Genaue Konzentration der Sojamilch, vielleicht mögliche Schnellmessung durch Leitfähigkeits- oder Trübungsmessung (Feststoffanteil / 100 g Sojamilch)
- laufende Aufzeichnung und elektronisches Integrieren der Temperatur
- laufende pH-Messung der Sojamilch auch während der Fällung.
- genaue Angabe der Ca^{++} Konzentration in Mol oder Val und Messung mit einer ionensensitiven Elektrode.

Mit den erarbeiteten Grundlagen ist eine Prozeßanalyse möglich. Die Arbeit soll das Auffinden von heiklen Punkten bei der Produktion erleichtern und ist eine Grundlage für die Einrichtung oder Aufrechterhaltung eines Qualitätssicherungssystems sein.

6. Literatur

*** Einige wichtige, grundlegende Arbeiten werden als Kopie beigelegt. Diese sind mit * gekennzeichnet. Die anderen Arbeiten können jederzeit auf Verlangen geschickt werden.**

* Badley R.A., Atkinson D., Hauser H., Oldani D., Green J.P., Stubbs J.M.: The structure, physical and chemical properties of the soy bean protein glycinin. - *Biochimica et Biophysica Acta* 412, 214-228 (1975).

Belitz H.D., Grosch W.: *Lehrbuch der Lebensmittelchemie*. Springer Verlag Berlin u.a 1987

Brooks J.R., Morr C.V.: Current Aspects of Soy Protein Fractionation and Nomenclature. - *JAOCS (Journal of the American Oil Chemists Society)* 62 (9) 1347-1354 (1985)

Cilliers J.J.L., Niekerk P.J.: LC Determination of Phytic Acid in Food by Postcolumn Colorimetric Detection. - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 34, 680- 683

Gaydou E.M., Arrivets J.: Effects of Phosphorous, Potassium, Dolomite, and Nitrogen Fertilization on the Quality of Soybean. Yields, Proteins and Lipids. - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 31, 765-769 (1983)

Graf E.: Applications of phytic acid. - *JAOCS* 60 (11) 1861-1867 (1983)

* Hermannsson A.M.: Soy Protein Gelation. - *Journal of the American Oil Chemists Society* 63 (5) 658-666 (1986)

* Lim B.T., DeMan J.M., DeMan L. Buzzel R.I.: Yield and Quality of Tofu as Affected by Soybean and Soymilk Characteristics. Calcium Sulfate Coagulant. - *Journal of Food Science* 55 (4) 1088-1111 (1990)

Murphy P.A.: Structural Characteristics of Soybean Glycinin and β -Conglycinin. - IN: *World Soybean Research Conference III Proceedings* (Ed. Shibbes) Westview Press 1985, pp 143-151

Mori T., Nakamura T., Utsumi S.: Gelation Mechanism of Soybean 11 S Globulin: Formation of Soluble Aggregates as Transient Intermediates. - *Journal of Food Science* 47, 26-30 (1981)

* Morr C.V.: Current Status of Soy Protein Functionality in Food Systems. - *Journal of the American Oil Chemists Society*. 67 (5) 265-271 (1990)

Nakamura T., Utsumi S., Kitamura K., Harada K., Mori T.: Cultivar Differences in Gelling Characteristics of Soybean Glycinin. - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 32, 647-651 (1984)

* Nakamura T., Utsumi S., Mori T.: Network Structure Formation in Thermally Induced Gelation of Glycinin. - *Journal of Agricultural Food Chemistry* 32, 349-352 (1984)

Nakamura T., Utsumi S., Mori T.: Effects of Temperature on the Different Stages in Thermal Gelling of Glycinin. - *Journal of Food Chemistry* 33, 1201-1203 (1985)

* Ono T., Katho S., Mothizuki K.: Influences of Calcium and pH on Protein Solubility in Soybean Milk. - *Bioscience, Biotechnology, Biochemistry* 57 (1) 24-28, (1993)

* Peng I.C., Quass D.W., Dayton W.R., Allen C.E.: The physicochemical and functional properties of soybean 11 S Globulin - A Review. - *Cereal Chemistry* 61(6): 480-490 (1984)

Reichert R.D., Oomah B.D., Youngs C.G.: Factors Affecting the Efficiency of Abrasive Dehulling of Grain Legumes Investigated with a New Intermediate-Sized, Batch dehuller. - *Journal of Food Science* 49, 267-272 (1984)

Saio K.: Tofu processing characteristics of Japanese domestic soybeans. - *Report of the National Food Research Institute* 47, 128-149 (1985)

Shurtleff William, Aoyagi Akiko: *Das Tofu-Buch*. - Aus der Reihe: *Nahrung für alle*. Band 2 Ahorn Verlag, Oberbrunn 1981.

Shimada K., Cheftel J.D. : Determination of Sulfhydryl Groups and Disulfide Bonds in Heat-Induced Gels of Soy Protein Isolates. - *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 36 (1) 147-1153 (1988)

* Skurray G., Cunich J., Carter O.: The effect of different varieties of soybean and calcium ion concentration on the quality of tofu. - *Food Chemistry* 6(2) 89-95 (1980)

* Smith A.K., Watanabe T., Nash A.M.: Tofu from Japanese and United States Soybeans. - *Food Technology* 14, 332-336 (1960)

* Souci, Fachmann, Kraut: *Food Composition and Nutrition Tables*. Medapharm Stuttgart 1994

* Sun N., Breene W.M.: Calcium Sulfate Concentration Influence on Yield and Quality of Tofu From Five Soybean Varieties. - *Journal of Food Science* 56(6) 1991

Tanteeratarm K., Wei L.S., Steinberg M.P.: Effect of Soybean Maturity on Storage Stability and Process Quality. - *Journal of Food Science* 54 (3) 593-597

Thomas R., DeMan J.M., DeMan L.: Soybean and Tofu Properties as Influenced by Soybean Storage Conditions. - Journal of the American Oil Chemists Society 66 (6) 777-782 (1989)

Torikata Y., Ishinara J., Yano T.: Protein Coagulation through Reversible and Irreversible Bindings of Calcium. - Agric.Biol.Chem. 51 (3), 707-714, 1987

Utsumi S., Damodaran S., Kinsella J.E.: Heat induced interactions between Soybean Proteins: Preferential Association of the 11 S Basic Subunits and β -Subunits of 7 S. - Cereal Chemistry 32, 1406-1412 (1984)

* VanderRiet W.B., Wight A.W., Cilliers J.J.L., Datel J.M.: Food Chemical Investigation of Tofu and its Byproduct Okara. - Food Chemistry 34, 193-202 (1989)

Waggle D.H., Kolar C.W.: Types of Soy Protein Products. - IN: Soy Protein and Human Nutrition. (Eds.: Wilcke H.L. et al) Academic Press, NY ... 1979, pp 19-51

* Wang H.L., Cavins J.F.: Yield and Amino Acid Composition of Fractions Obtained During Tofu Production. - Cereal Chemistry 66 (4) 359-361 (1989)

Wang H.L.; Swain E.W., Kwolek W.F., Fehr W.R.: Effect of soybean varieties on the yield and quality of tofu. - Cereal Chemistry 60 (3) 245-248 (1983)

Wolf W.J., Babcock G.E., Smith A.K.: Ultracentrifugal Differences in Soybean Protein Composition. - Nature 191, 1395-1396 (1961)

Dipl.-Ing. Helmut REINER, Dateiname: sojaprot, Datum: 24.2.1995