

Lehrstuhl und Prüfamnt
für
Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik
der Technischen Universität München

Schriftenreihe
Heft 6

**Forschungsbeiträge zum
mechanischen Verhalten
von Geotextilien**

München, 1986

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Rudolf Floss
Ordinarius für Grundbau, Bodenmechanik
und Felsmechanik

Eigenverlag: Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau,
Bodenmechanik und Felsmechanik
Technische Universität München
Baumbachstraße 7
8000 München 60
Tel.: (089) 8895-200

DISSERTATIONS- UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

Vorwort des Herausgebers

Beiträge:

Floss, R.:

Bodensysteme mit geotextilen Bewehrungselementen
-Wissensstand zur Stabilitätsanalyse-

1

Laier, H.; Bräu, G.:

Einsatz von Geotextilien im Verkehrswegebau
bei intensiver dynamischer Beanspruchung

43

Bauer, A.; Preissner, H.:

Stabilitätsuntersuchungen am geotextilbewehrten
Zweischichtensystem

65

Laier H.; Lang, K.:

Festigkeitsprüfungen an Geotextilien

85

VORWORT DES HERAUSGEBERS

Die als "Geotextilien" bezeichneten Produkte bestehen aus synthetischen textilen Faserstoffen, die zu technischen Vliesen, Geweben sowie mehrschichtigen Verbundstoffen verarbeitet und als Flächen- und Streifen-elemente vielseitig bei Bauaufgaben verwendet werden. Der industrielle Fertigungsprozeß läßt sich so steuern, daß die Produkte gezielte hydraulische und mechanische Eigenschaften aufweisen:

- a) Die Vliesstoffe bestehen aus flächig aufeinanderliegenden Endlosfäden (Filamente) oder aus kurzen Spinnfasern, die entweder mechanisch, thermisch oder chemisch miteinander verfestigt sind. Sie besitzen wasserdurchlässige Eigenschaften und ein ausgeprägtes Spannungs-Dehnungs-Verhalten, das stark richtungsabhängig ist. Sie eignen sich vornehmlich für das Filtern, Entwässern und Trennen von Bodenschichten.
- b) Die Gewebe bestehen aus kreuzweise verwebten Garnfäden. Je nach Qualität des Garns und Webart zeichnen sie sich durch dehnsteife zugfeste Eigenschaften aus. Sie eignen sich daher im Verbund mit Erdstoffen für die Aufnahme von Zugspannungen, z. B. als Bewehrungseinlagen in Stützkonstruktionen, Böschungen, Dammschüttungen und Landverkehrswegen.
- c) Die mehrschichtigen Verbundstoffe bestehen aus flächig miteinander verbundenem Vliesstoff und Gewebe. Ihre Verwendung zielt darauf ab, bei bestimmten Aufgaben sowohl die mechanischen als auch die hydraulischen Eigenschaften der Komponenten in einem Produkt nutzen zu können.

Zu den Forschungsschwerpunkten des Lehrstuhls und Prüfamtes für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universität München gehören seit 1980 Untersuchungen über die mechanischen Festigkeitseigenschaften von Geotextilien und über die Stabilität von geotextil-bewehrten Bodenschichten. Das vorliegende Heft 6 beinhaltet mit vier Beiträgen

den Zwischenstand dieser Forschung. Die Berichterstattung wird zu gegebener Zeit in der gleichen Schriftenreihe fortgesetzt werden.

Der Beitrag (1) war Gegenstand eines der beiden Festvorträge anlässlich des III. Internationalen Geotextil-Kongresses 1986 in Wien; seine englische Fassung wird in den Proceedings, Band V, dessen Erscheinen für Ende 1986 angekündigt ist, enthalten sein. Bei den Beiträgen (2) und (3) handelt es sich ebenfalls um Konferenzberichte für den o.g. internationalen Fachkongreß.

Im einzelnen sei der Inhalt der vier Beiträge an dieser Stelle wie folgt zusammengefaßt:

Der Beitrag (1) beinhaltet eine Analyse des Wissensstandes zur Stabilität von Bodensystemen, die durch Einbau zugfester Geotextil-Elemente als selbststützende bzw. hochtragfähige Verbund-Erdkörper wirken. Die Grundlagen der "Boden-Verbundmechanik" und die Prinzipien der Stabilitätsanalyse werden für folgende Anwendungsfälle dargestellt:

- Erdaufschüttung mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund,
- Tragschicht mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund,
- übersteile Böschungen und Erdstützkörper mit Bewehrungselementen.

Die hauptsächlichen Versagensmechanismen sowie verschiedenartige Stabilitätsmodelle für die Berechnung der bewehrten Systeme werden aufgezeigt.

Im Rahmen eines Forschungsprogrammes des Bundesministers für Verkehr wird seit 1984 das Verhalten verschiedener Geotextilien (Vliese, Gewebe, Verbundstoffe) bei nicht oder nur schwach befestigten, in der Höhe begrenzten Oberbauten unter intensiver dynamischer Beanspruchung (z. B. Baustraßen) untersucht. Die Untersuchungen erfolgen, wie im Beitrag (2) dargelegt, großmaßstäblich ($M=1:1$) sowohl im praktischen Baustellenverkehr, als auch in einem eigens konstruierten Versuchsstand.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergeben sich wesentliche Unterschiede im Verhalten der Geotextiltypen und -fabrikate. Die Filter- und Trennwirkung bei dynamischer Belastung kann nicht nach schematischen Regeln beurteilt werden, sondern hängt vom Geotextiltyp, der Beschaffenheit des Untergrundes und der Konstruktion des Oberbaues ab.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens im Auftrag der Deutschen Forschungsgemeinschaft wird seit Ende 1984 das Trag- und Verformungsverhalten von einfach bewehrten Zweischichtensystemen untersucht. Schwerpunkte der bisherigen Arbeit waren dabei

- Durchführung von Modellversuchen an einem Teilsystem im Bereich unterhalb der Last, hier als Tragschichtmodell bezeichnet;
- vergleichende Anwendung der kinematischen Elemente-Methode auf das Stabilitätsproblem des bewehrten und unbewehrten Zweischichtensystems.

Im Bericht (3) werden die ersten Ergebnisse der Tragschichtmodellversuche und die daraus abzuleitenden Tendenzen für die analytische Untersuchung mitgeteilt.

Im Beitrag (4) werden schließlich die Ergebnisse des ebenfalls im Auftrag des Bundesministers für Verkehr (1983 - 1985) unter dem Kurztitel "Festigkeitsprüfung an Geotextilien" durchgeführten Forschungsvorhabens veröffentlicht. Diese Forschung hatte vergleichende Untersuchungen der Zug- und sog. Durchdrückfestigkeit von Geotextilien zum Gegenstand. An verschiedenen Industrieprodukten, von Vliesen bis zu Geweben waren Streifenzugversuche in Anlehnung an die DIN 53 857, Teil 1 und 2 und Stempeldurchdruckversuche nach DIN 54 307 durchzuführen. Es sollte überprüft werden, ob und in welcher Weise Korrelationen zwischen den Ergebnissen dieser beiden Prüfmethode bestehen.

BODENSYSTEME MIT GEOTEXTILEN BEWEHRUNGSELEMENTEN

- Wissensstand zur Stabilitätsanalyse -

R. Floss

1. Einführung

Die bemerkenswerten technologischen Entwicklungen und internationalen Forschungsaktivitäten geben Anlaß, den III. Internationalen Geotextil-Kongreß mit einer Analyse des Wissensstandes zum Stabilitätsproblem von geotextil-bewehrten Bodensystemen einzuführen. Diese bewehrten Systeme eröffnen nicht nur neue bautechnische Konzeptionen, sondern zugleich auch einen neuen Wissenschaftsbereich der Bodenmechanik, der mit dem Begriff der "Boden-Verbundmechanik" belegt sei. Die Grundlagen dieser Verbundmechanik und die Prinzipien der Stabilitätsanalyse hier darzulegen, stellt sich als Zielvorgabe des Beitrags.

Der Einbau von dehnsteifen, zugfesten Elementen zwischen Bodenschichten zielt darauf ab, einen Kraft- und Verformungsschluß zu erzeugen, so daß selbststützende bzw. hochtragfähige Verbund-Erdkörper entstehen.

Die Natur veranschaulicht solche Verbund-Phänomene, z. B. in Sandablagerungen mit eingelagerten dünnen Schluff- oder Tonbändern, die wie eine anisotrope Kohäsion wirken und beim Anschnitt rippenförmig zwischen dem ausrieselnden Sand vorstehen. Der Mensch kannte diese naturellen Phänomene schon frühzeitig und nutzte sie bautechnisch aus, z.B. bei den Wehrbauten der Kelten (Bild 1).

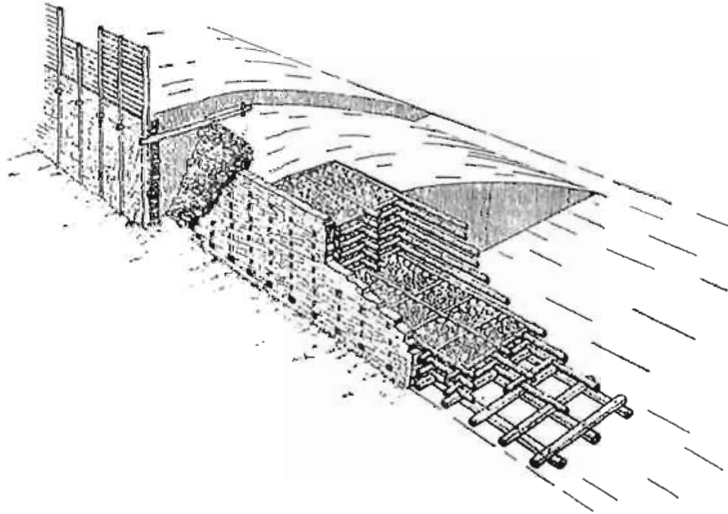
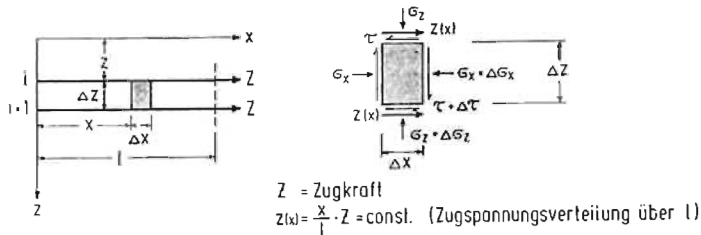


Bild 1: Befestigung der keltischen Siedlung Manching (bei München) im 1. vorchristlichen Jahrhundert:

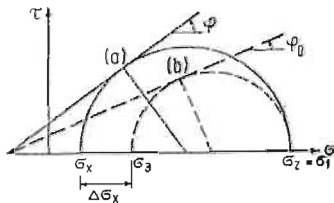
- a) Murus gallicus
- b) Pfostenschlitzwand
- c) Anker

Der für sich allein nur auf Druck und Schub beanspruchbare Boden nimmt im Zusammenwirken mit den Bewehrungseinlagen die Eigenschaften eines ausgeprägt anisotropen Tragkörpers an, der in Bewehrungsrichtung in erhöhtem Maß Schubspannungen und begrenzt auch Zugspannungen aufzunehmen vermag. Bild 2 veranschaulicht diesen Bewehrungseffekt: Er beruht auf dem Haft- und Reibungsverbund zwischen Zuelement und Boden. Der Verbund richtet sich somit maßgeblich nach den Relativverschiebungen des Bodens längs des Zuelements sowie nach dessen Dehnsteife. Die durch die Schubverformungen des Bodens entstehenden Relativverschiebungen induzierten Zugkräfte $Z(x)$ in den Bewehrungen, wodurch sich rückwirkend im Boden Schubspannungen aktivieren, die den Schubwiderstand des bewehrten Erdkörpers in x -Richtung erhöhen können. Im τ - σ -Diagramm läßt sich der

Sicherheitszuwachs (bei Annahme $\Delta\tau = 0$) dadurch veranschaulichen, daß der ohne Bewehrung vorhandene Grenzzustand (a) als Folge des sich durch $\Delta\sigma_x$ ändernden Hauptspannungsverhältnisses σ_1/σ_3 in einen unterhalb der Bruchbedingung liegenden Spannungszustand (b) überführt wird.



Annahme. Schubspannungsänderung $\Delta\tau = 0$



- a) Boden ohne Bewehrung
Grenzzustand $\sigma_z = \lambda \cdot \sigma_x$
- b) Boden mit Bewehrung
 $\Delta\sigma_x = Z \cdot z(x) \cdot \frac{\Delta x}{\Delta Z}$
 $\sigma_1 = \sigma_z$; $\sigma_3 = \sigma_x + \Delta\sigma_x$
Grenzzustand für $\phi_0 \rightarrow \lambda \cdot \phi_0$
 $\sigma_1 = \lambda \cdot \phi_0 \cdot \sigma_3$

Bild 2: Interaktive Kräfte zwischen Bewehrung und Boden, Einfluß auf den Grenzzustand (Annahme $\Delta\tau = 0$)

Verschiedenartige Bewehrungselemente aus polymeren Kunststoff-Faserprodukten stehen zur Disposition; und zwar als

- (1) textile Gewebe und Vliese,
- (2) vorgereckte, gitterförmig profilierte Matten,
- (3) hochzugfeste Bänder, Streifen und Ankerstäbe.

Betrachtet werden nachfolgend die flächenartigen Bewehrungselemente (1), und zwar im Zusammenhang mit folgenden bodenmechanischen Stabilitätsfällen:

- (1) Erdaufschüttung mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund,
- (2) Tragschicht mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund,
- (3) Übersteile Böschungen und Erdstützkörper mit Bewehrungselementen.

Die hauptsächlichen Versagensmechanismen, die sich mit diesen Stabilitätsfällen verbinden, entsprechen nach bodenmechanischen Begriffen dem Grundbruch und dem Böschungs- bzw. Geländebruch. Mit der Einlage von geotextilen Bewehrungseinlagen zielt man darauf ab, (a) das Trag- bzw. Stützvermögen von Bodenschichten global oder lokal zu verbessern bzw. zu vergleichmäßigen und (b) die Formänderungen der Bodenschichten zu reduzieren.

2. Allgemeine Grundlagen der Stabilitätsanalyse

Die Stabilitätsanalyse zielt darauf ab, die Standsicherheit eines durch äußere bzw. eingeprägte Lasten beanspruchten Bodensystems mit Hilfe von Berechnungsmodellen zu belegen. Sie setzt die Kenntnis des Spannungs-Verformungs-Verhaltens des Bodens und der kinematischen Versagensmechanismen des Systems im jeweiligen Einzelfall voraus. Da sich die realen Abbildungen der Bodensysteme und ihrer komplizierten Bruchzustände mathematisch nicht genau und geschlossen erfassen lassen, bedarf es einfacher technischer Berechnungsmodelle, die sich im Ergebnis mit den Erfahrungen bzw. Beobachtungen ohne sicherheitsrelevanten Widerspruch vertragen müssen.

Bei Bodensystemen mit Bewehrungseinlagen lassen sich die Versagensmechanismen wegen der Anisotropie ebenfalls schwierig einschätzen, was jedoch andererseits aus Sicherheitsgründen um so dringender erforderlich wird.

Das für die Stabilitätsanalysen maßgebende Spannungs-Verformungsverhalten der Böden läßt sich grundlegend mit Hilfe sog. elastischer, plastischer und elasto-plastischer Stoffgesetze beschreiben, die hier jedoch nicht näher betrachtet seien (siehe Floss u.a., 1984).

Die geotextilen Bewehrungselemente zeigen zwar im Prinzip das für Zug-elemente typische, aber speziell stark zeitabhängige Zugkraft-Dehnungs-Verhalten mit zwei charakteristischen Abschnitten, nämlich einer direkt mit der Zugkraftaufnahme entstehenden elastischen Dehnung und einer unter konstanter Last elasto-plastischen Kriechdehnung. Das Spektrum dieser Eigenschaften nimmt aufgrund der verschiedenen Rohmaterialien, Faserarten und Fertigungsstrukturen einen weiten Bereich ein.

Im eingebetteten Verbund mit dem Boden ändert sich die Zugkraftaufnahme und das Dehnvermögen dieser Bewehrungselemente, da verschiedene Randbedingungen Einfluß nehmen, so z. B. die behinderte Querkontraktion durch Einspanneffekte, Ringzugkräfte bei axialsymmetrischer Belastung, die Inklination der Bewehrungsebene von der jeweiligen Beanspruchungsrichtung. Während die dehnsteifen Elemente in der Zugkraftaufnahme ohne und mit Einbettung relativ geringe Unterschiede zeigen, verhalten sich Vliesstoffe infolge ihrer größeren adhäsiven Haftwirkung und des Faserverbundes im eingebetteten Boden wesentlich dehnsteifer. Aufgrund dieser Erfahrungen wird es zwingend notwendig, beanspruchungsgetreue Materialprüfungen auszuführen, d. h. das Spannungs-Dehnungs-Verhalten der Bewehrungseinlagen im Verbund mit dem Boden zu ermitteln, und zwar je nach Einzelfall für Erstbelastung oder für zyklische Belastung oder unter Dauerlast, um auch die Spannungsrelaxation im Kriechverformungszustand berücksichtigen zu können. Das sog. Kriechverhalten wird allgemein durch den Kriechkoeffizienten (% Dehnung pro Lasteinheit) oder durch den Kriechlastanteil (% der Bruchlast) quantifiziert. Die Bilder 3a, b, c zeigen Auswertungen von Dauerlastversuchen aus Literaturquellen über den Einfluß der Zeit T (Std.) auf die Dehnung ϵ (%) bei einer Dauerlast von 25 % der Bruchlast, und zwar veranschaulicht mittels des einfachen Stoffgesetzes $\epsilon = at^b$:

Dehnung nach
1 Stunde unter
25% der Bruchlast

Rohmaterial

$$\varepsilon [\%] = a \cdot T^b \quad T [\text{Std}]$$

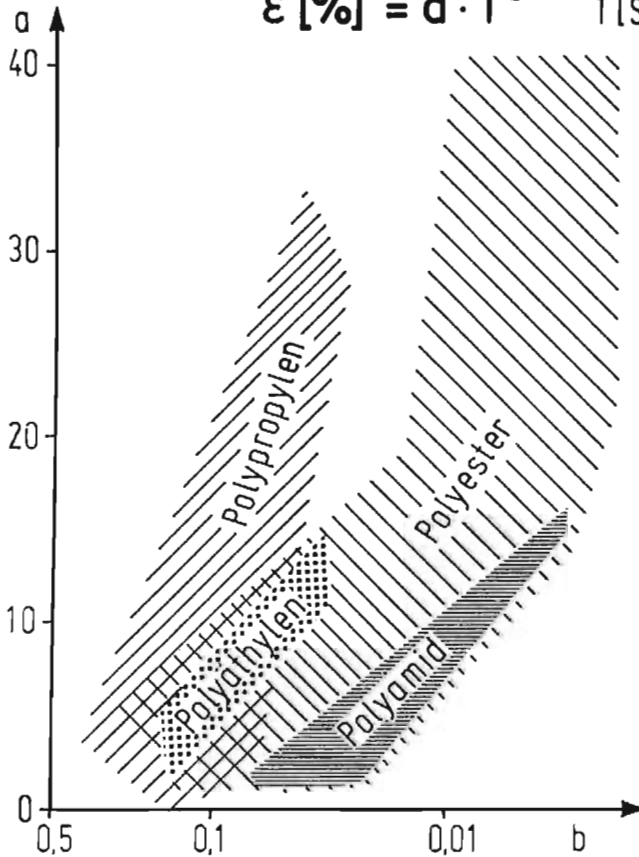


Bild 3a: Einfluß der Zeit T (Std.) auf die Kriechdehnung ε (%) bei
Dauerlast von 25 % der Bruchlast
- Einfluß des Polymerstoffs (Rohmaterialien) -

Dehnung nach
1 Stunde unter
25% der Bruchlast

Grundsysteme

$$\varepsilon [\%] = a \cdot T^b \quad T [\text{Std}]$$

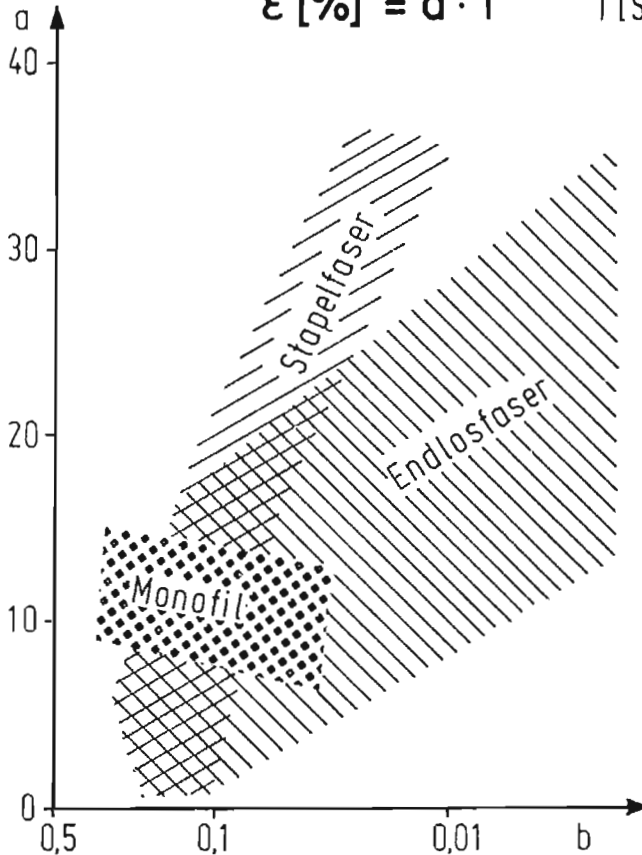


Bild 3b: Einfluß der Zeit T (Std.) auf die Kriechdehnung ε (%) bei
Dauerlast von 25 % der Bruchlast
- Einfluß der Faserart (Grundsysteme) -

Dehnung nach
1 Stunde unter
25% der Bruchlast

Verfestigungen

$$\varepsilon [\%] = a \cdot T^b \quad T [\text{Std}]$$

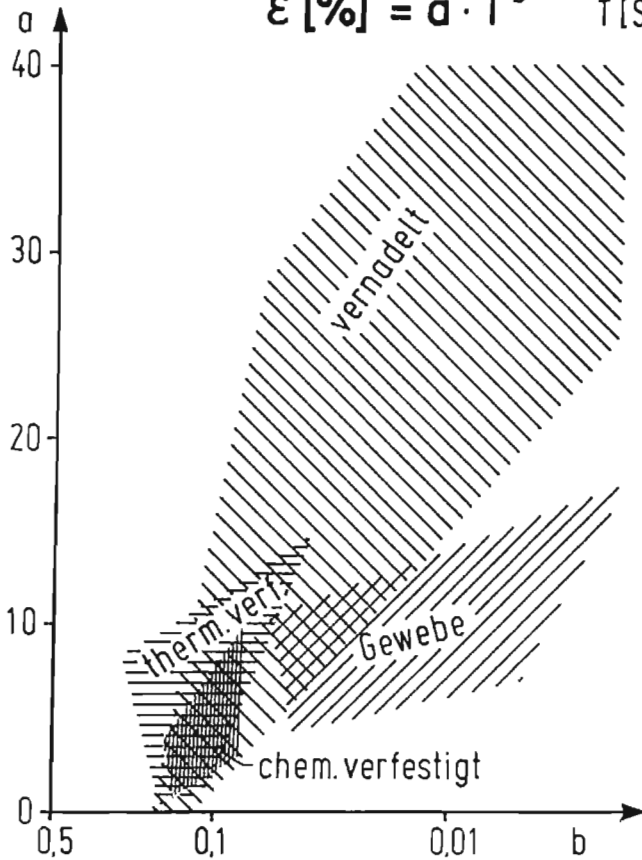


Bild 3c: Einfluß der Zeit T (Std.) auf die Kriechdehnung ε (%) bei
Dauerlast von 25 % der Bruchlast
- Einfluß der Faserverarbeitung (Verfestigung) -

Der Faktor a charakterisiert die Anfangsdehnung nach 1 Std. (je größer a , um so größer die Dehnung in der ersten Zeitphase); der Potenzfaktor b charakterisiert die Langzeit/Kriechdehnung (je kleiner b , um so geringer die Kriechverformung). Die drei Bilder eignen sich für die allgemeine Beurteilung der Langzeit-Zugfestigkeit von Vliesen und Geweben nach den Kriterien: Rohmaterial, Faserart und Faserverarbeitung. Die Verwendung der Diagramme ersetzt keinesfalls die prüftechnische Untersuchung im Einzelfall, da die Eigenschaften innerhalb breiter Spektren streuen und keine deutliche Grenzziehung möglich ist.

Das zweite Problemfeld, das es neben dem Stoffverhalten für die Stabilitätsanalyse abzuklären gilt, besteht darin, die realen Abbildungsmodelle der Bruchmechanismen aufzufinden und diese in einfache technische Berechnungsmodelle umzusetzen. Im allgemeinen und im besonderen bei anisotrop geschichteten Systemen entwickeln sich die Bruchprozesse progressiv, d. h. die lokal beginnende Plastifizierung weitet sich schrittweise von den überbeanspruchten Bereichen in weniger beanspruchte aus.

Die Bodenmechanik macht sich aus der Plastizitätstheorie entlehnte einfache Näherungsverfahren zunutze, um Grenzzustände für praktische Zwecke zu berechnen. Diese Theorie, die streng nur für das ideal-plastische, isotrope Kontinuum gilt und Massenkräfte vernachlässigt, wird für einfache Boden- und Lastsysteme modifiziert, indem bestimmte mechanische und geometrische Randbedingungen als vereinfachende Vorgaben in die Berechnung eingeführt werden. Verschiedene idealisierte Bruchmodelle stehen zur Disposition, und zwar Einscheibensysteme (mit und ohne Lamelleneinteilung) sowie Mehrscheibensysteme, aus mehreren kinematischen Elementen zusammengesetzt. Da die reale Bruchkinematik im voraus nur abgeschätzt werden kann, bedarf es der Variation von kinematisch möglichen Bruchflächen, um die wahrscheinlich ungünstigste nach dem Extremalprinzip auffinden zu können.

Optimieren läßt sich diese Verfahrensweise mit Hilfe der erstmals von Drucker/Greenberg/Prager (1952) formulierten sog. Grenzwert-Theoreme, die folgendes beinhalten:

1. Grenzwert-Theorem (Lower Boundary Theory):

Jedes System, für das sich ein statisch zulässiger Spannungszustand finden läßt, der in keinem Punkt des Kontinuums die Bruchbedingung verletzt, ist stabil.

2. Grenzwert-Theorem (Upper Boundary Theory):

Jedes System, für das sich ein kinematisch zulässiger Verschiebungszustand finden läßt, bei dem die äußere Arbeit die innere Dissipationsarbeit übersteigt, ist instabil.

Diese beiden Theoreme ermöglichen es, den jeweiligen Stabilitätsfall durch eine sichere und eine unsichere Lösung einzugrenzen, wobei wahlweise die eine oder andere Plastizitätsbedingung außer Betracht bleiben darf. Vollenweider (1970) hat an einfachen Beispielen für den Grund- und Geländebruch gezeigt, wie sich die beiden Theoreme anwenden lassen und auswirken können.

Für die Nachrechnung bewehrter Systeme empfehlen sich diese Grenzwerttheoreme ebenfalls. Der Bewehrungseffekt läßt sich allerdings nur durch bestimmte Vorgaben berücksichtigen, z. B.:

- die zulässige Zugkraftaufnahme und Dehnung der Bewehrungseinlagen,
- die Richtungslage der Bewehrung zur potentiellen Bruchfuge,
- die Verteilung der längs der Bruchfuge frei werdenden Reaktionschnittkräfte der Einlage.

Für Stabilitätsfälle, die sich nicht mehr mit der Plastizitätstheorie in Einklang bringen lassen, eignen sich elasto-plastische Stoffgesetze bei Anwendung von FE-Rechenverfahren. Dieser Lösungsweg, bei dem das Kontinuum durch endliche Netzfelder aus endlichen Elementen mit diskreten Eigenschaften ersetzt wird, erlaubt es, auch komplizierte Bruchprozesse sowie anisotrope und verformte Systeme (Theorie 2. Ordnung) nachzurechnen.

nen. Der Verbund zwischen Bewehrung und Boden sowie die Schichtgrenzbe-
reiche und die Systemränder werden dabei durch besondere Übergangsele-
mente modelliert.

Aus den dargelegten allgemeinen Stabilitätsgrundsätzen folgt, daß die
Festigkeiten und Bruchverformungen der Böden auch für die Stabilitäts-
analyse und für die Bemessung der bewehrten Bodensysteme die maßgebenden
Basisparameter bilden. Die dem Grenzzustand zugeordneten Festigkeiten
und Verformungen lassen sich nicht allgemein angeben, sondern erfordern
beanspruchungsgetreue Bodenprüfungen für den Einzelfall. Um aber wenig-
stens eine gewisse Grundvorstellung von der Größe der boden- und system-
abhängigen Bruchverformungen zu vermitteln, zeigen die nachfolgenden
Bilder 4a, b offene Bereiche, wie sie sich aus Meßdaten und Literatur-
quellen ergeben. Es handelt sich um offene, unverbindliche Bereiche, da
die Bruchverformungen von zahlreichen Boden-, System- und Randbedingun-
gen abhängen.

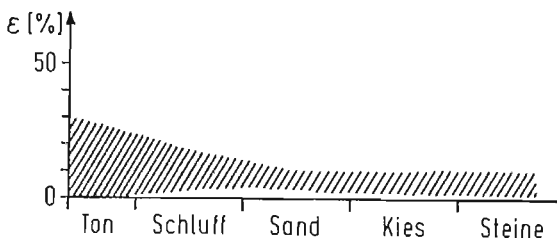


Bild 4a: Bruchverformungen ϵ (%) von Böden - Auswertung von Scherversu-
chen an Laborproben (offener Grenzbereich)

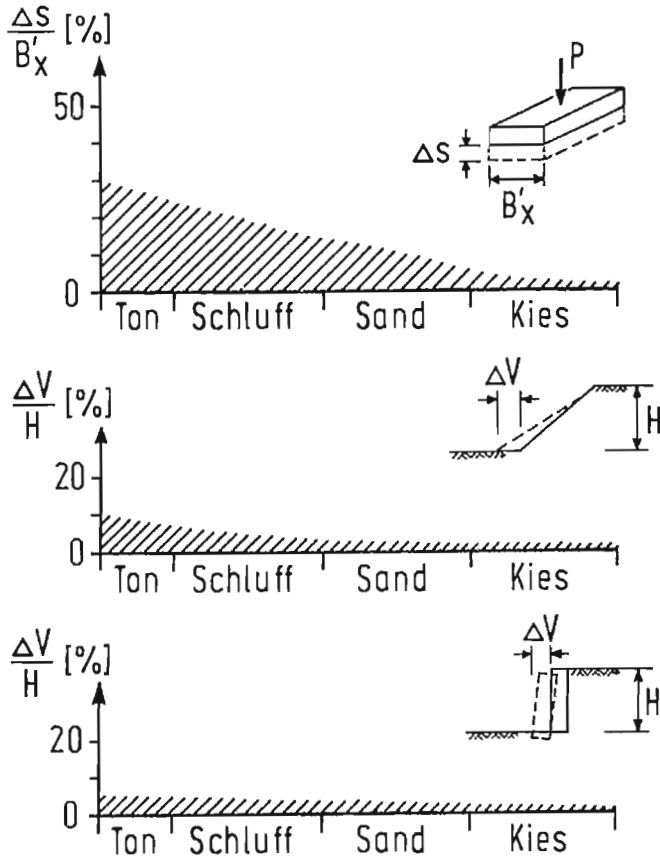
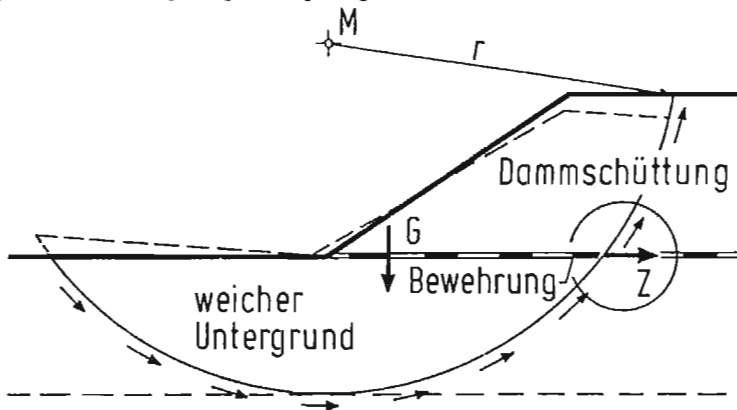


Bild 4b: Bruchverformungen (boden- und systemspezifisch) für (a) Grundbruch, (b) Böschungsbruch, (c) Geländebruch (offene Grenzbe-
reiche)

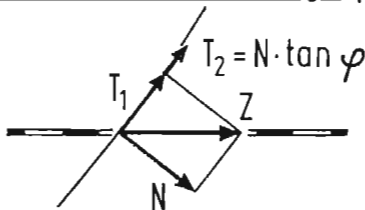
3. Erdaufschüttung mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund

3.1 Verformungs- und Bruchvorgang

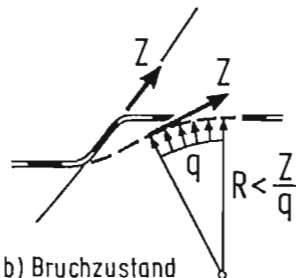
Betrachtet sei eine Erdaufschüttung mit geotextiler Sohlbewehrung auf einem normalkonsolidierten, wassergesättigten und ideal kohäsiven Untergrund mit sehr geringer Tragfähigkeit (Bild 5).



Kräfte in der Bruchfuge



a) vor dem Bruch



b) Bruchzustand

Bild 5: Scheibenmodell für Böschungsgrundbruch mit lokalem Zugkraftansatz für die Sohlbewehrung

Soweit die Erdauflast keinen Grenzzustand herbeiführt und die Randbedingungen einer unendlich ausgedehnten weichen Schicht vorliegen, stellt sich ein hauptsächlich einaxial gerichteter Spannungs- und Verformungszustand ein. Nach allgemeiner bodenmechanischer Modellvorstellung bestehen die Gesamtverformungen der weichen Schicht, in der Zeitfolge gesehen, anteilig aus Sofortsetzungen s_0 sowie primären Setzungen s_1 und sekundären Setzungen s_2 :

$$s = \alpha_0 \cdot s_0 + \alpha_1 \cdot s_1 + s_2$$

(α_0, α_1 = Korrekturbeiwerte).

Die Sofortsetzungen entstehen unmittelbar bei Lastaufnahme als Folge von volumenkonstanten Schubverformungen. Die nachfolgenden primären Setzungen charakterisieren die Konsolidationsphase, in der das Porenwasser unter Druckanstieg aus der Schicht ausströmt. Die Theorie der nichtstationären linearen Porenwasserströmung ermöglicht es, Größe und Zeitablauf dieser Konsolidierung zu ermitteln. Die sich anschließenden sekundären Setzungen kennzeichnen Kriechverformungen, da sie mit geringen Zuwachsraten über lange Zeit ablaufen und aus visko-plastischen Fließzuständen resultieren.

Die Setzungsanteile s_0 und s_1 lassen sich nach Größe und Zeitablauf mit Hilfe von Verfahren gemäß DIN 4019 näherungsweise ermitteln. Der Setzungsanteil s_2 , der nicht von der Schichtdicke d abhängt, läßt sich nur empirisch oder aus experimentellen Druck-Setzungslinien (Neigung $\tan \beta$) als zeitabhängige Größe $s_2 = f(t) = \tan \beta \cdot \log t$ abschätzen.

Empirische Setzungsanalysen (s_0, s_1, s_2) auf der Basis von Meßbeobachtungen an Dämmen liegen vor (u.a. Floss 1971). Die Gesamtsetzungen s können 10 bis 35 % betragen, bezogen auf die Dicke der weichen Schicht d für Steifemoduln $E_{su} < 1,0 \text{ N/mm}^2$ und je nach Verhältnis der Dammhöhe zur Schichtdicke h/d . Die Horizontalverformungen machen etwa bis zu 15 % der vertikalen Setzungen aus.

Aus Messungen und Analysen mit finiten Elementen läßt sich schließen, daß die geotextile Sohlbewehrung die Spreizspannungen in der Dammaufstandsfläche vergleichmäßigen und dadurch die Horizontalverformungen reduzieren kann, jedoch die vertikalen Verformungen nur bei sehr dehnsteifer Einlage etwas geringer ausfallen.

Die Kenntnisse über Art und Ablauf der Bruchvorgänge stützen sich auf Feld- und Modellbeobachtungen sowie auf FE-Studien. Erste lokale Plastifizierungen können in extrem weichen Untergrundschichten bereits kurz nach Beginn der Schüttphase in geringer Tiefe unter dem Schüttkörper und seinen Böschungsfüßen entstehen. Mit zunehmender Auflast weiten sich diese Zonen zu immer größer plastifizierten Feldern aus, bis sich schließlich im Bereich der Böschungsfüße ziemlich sprunghaft Bruchzonen ausbilden, die auch die außerhalb der Schüttränder liegenden passiven Erdkörper mit erfassen. Die Plastifizierung des Bodens bis zum Bruch des Systems erfolgt somit als progressiver, von der Größe und Geschwindigkeit der Belastung abhängiger Vorgang.

Die in der Praxis üblichen Stabilitätsnachweise für solche Bruchvorgänge stützen sich auf die für plastisches Stoffverhalten eingeführten Bruchkriterien, wobei die Stabilität für die Anfangsphase (nicht entwässerte Randbedingungen) und für die Endphase (konsolidierte Randbedingungen) gesonderter Nachweise bedarf (DIN 4084). Es gilt als allgemein anerkannte Regel, den jeweiligen Konsolidationszustand des Bodens und die mittlere Hauptspannung in ihrem Einfluß auf die Scherfestigkeitsparameter zu berücksichtigen sowie den Sohlbewehrungseffekt beim Nachweis der Anfangsstandsicherheit einzubeziehen.

3.2 Kinematische Stabilitätsmodelle

Für die Bruchkinematik stehen Scheibenmodelle, die aus einem oder mehreren gegenseitig verschieblichen Elementen bestehen, zur Disposition. Die damit verknüpften mechanischen Ansätze unterscheiden sich grundlegend

darin, daß die Relativbewegungen des Bodens längs der Bewehrung in dem einen Modellfall berücksichtigt werden (globaler Verschiebungsansatz) und im anderen nicht (lokaler Zugkraftansatz):

(1) Lokaler Zugkraftansatz

Dieser Ansatz basiert gemäß Bild 5 auf einer scheibenförmigen Bruchfigur, die nur aus einem kinematischen Element besteht und bei der die Zugkraft der Bewehrungseinlage analog wie eine Ankerkraft in der Schnittstelle mit der Bruchfuge wirkt. Die Kraftrichtung läßt sich tangential zur Bruchfuge, horizontal oder in dazwischenliegender Position vorstellen:

- (a) Die tangentiale Richtung kommt zwar der Kinematik der Bruchfigur nahe, könnte aber infolge der starken Umlenkung der Bewehrungsebene einen lokalen Bruchzustand im Boden induzieren. Aufgrund von Spannungsumlagerungen an dieser Schnittstelle dürften sich daher eher geneigte oder horizontale Kraftrichtungen einstellen, die sich beim Stabilitätsnachweis nach der sicheren Seite auswirken.
- (b) Eine andere Betrachtungsweise nach Jewell (1982) sieht vor, die Zugkraft an der Schnittstelle in eine Normal- und eine Tangentialkomponente aufzuteilen. Die Normalkomponente erhöht den Schubwiderstand des Bodens normal zur Bewehrungsebene. Plausibel erscheint dieser Ansatz nur für Beanspruchungszustände, bei denen noch kein Bruch des Systems vorliegt.

(2) Globaler Verschiebungsansatz

Gemäß Bild 6 besteht das Scheibenmodell aus mehreren gegenseitig verschieblichen Elementen, wobei die Bewehrungseinlage das System für die rechnerische Analyse in zwei Teilbereiche (Scheibe 1 und 2) trennt. Die wirksamen aktiven und reaktiven Kräfte dieses Systems lassen sich in geschlossenen Gleichungssystemen lösen, wobei folgende Annahmen zugrunde liegen: (a) Die Bewehrungseinlage befinde sich gegenüber dem angrenzenden Boden in relativer Ruhelage. (b) Die Vertikalkomponenten der oberhalb und unterhalb der Einlage wirkenden resultierenden Randkräfte seien im Gleichgewicht. (c) Ihre horizon-

talen Komponenten tragen sich als Zugkräfte in die Bewehrung ein.

Eine einfache Lösung für den Stabilitätsnachweis besteht alternativ darin, in Analogie zum konventionellen Traglastverfahren beim Grundbruch die beiden resultierenden Randkräfte der oberen und unteren Scheibe zu berechnen und miteinander zu vergleichen und daraus die zulässige Traglast zu ermitteln (z. B. nach Vollenweider 1970, Pregl 1983).

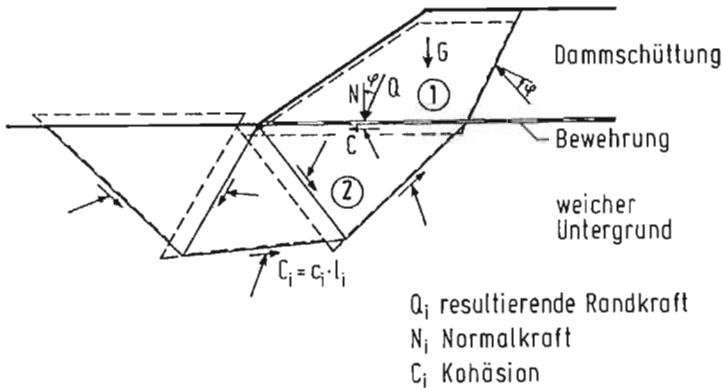


Bild 6: Blockmodell aus mehreren verschieblichen Elementen für Böschungsgrundbruch mit globalem Verschiebungsansatz

Die bisherigen Erfahrungen im Umgang mit den dargelegten Modellen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

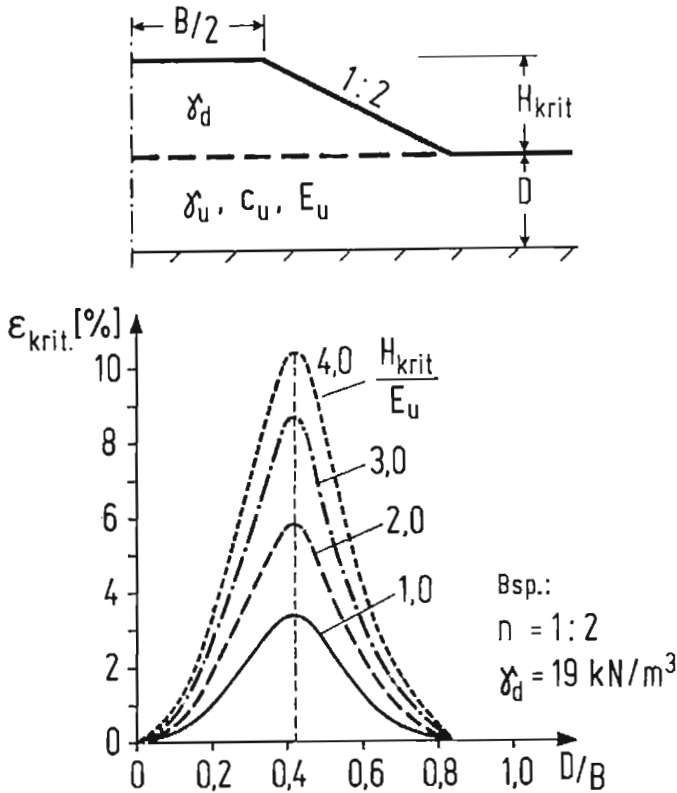
1. Das aus verschieblichen Elementblöcken zusammengesetzte Modell (Bild 6) trägt dem kinematischen Kräftefluß Rechnung und berücksichtigt die Verschiebungen des Bodens längs der Bewehrungsebene. Seine Anwendung empfiehlt sich sowohl in Fällen, bei denen der wenig tragfähige Untergrund bis weit unter die potentielle Bruchfuge reicht,

als auch bei seicht liegender Schichtgrenze. Erreicht die Bruchfuge die untere Grenze der weichen Schicht, so bildet diese Schichtgrenze eine Zwangsgleitfuge. Das System versagt dann hauptsächlich durch seitliches Auspressen des weichen Bodens.

Der einfache grundbruchanaloge Traglastnachweis (Bild 5) läßt sich seiner Art nach nur auf Fälle mit tiefreichendem weichen Untergrund anwenden, wo sich die Grundbruchfigur frei entwickeln kann.

2. Bei den lokalen Zugkraftansätzen (Bild 5) bleiben die sich durch die Systemverschiebung ändernden Kraftrichtungen und die sich geometrisch ändernde Bruchfigur unberücksichtigt. Die Lösung verschiebt das Ergebnis aber nach der sicheren Seite. Die zulässige Zugkraft muß entsprechend der Sicherheitsvorgabe ausreichend groß bemessen sein.
3. Für die Dimensionierung der Steifigkeit und der Zugdehnung der Bewehrungseinlage gilt, daß diese steifer als der angrenzende Boden sein muß, um auf diese Weise bereits bei kleinen oder mittleren Schubverformungen des Bodens kraftschlüssig reagieren zu können. Aus der Annahme, daß die Bruchverformungen des bewehrten und des unbewehrten Bodens näherungsweise gleiche Größe haben, ergibt sich als Postulat, daß die Zugdehnungen der Bewehrungseinlagen bei Aktivierung der in Rechnung gestellten Zugkräfte kleiner als die Bruchverformungen des Bodens sein müssen.

Die Größenordnung dieser kritischen Verformungen ϵ_{krit} läßt sich z. B. für unbewehrte Dämme aus den FE-Serienuntersuchungen von Rowe (1984) abschätzen (Bild 7). Das Bild zeigt die kritischen Verformungen ϵ_{krit} in der Dammsohle für das Regelfallbeispiel eines Dammes ($n = 1:2$, $\gamma_d = 19 \text{ kN/m}^3$) mit der Breite B auf weichem Untergrund mit der begrenzten Schichtdicke D : Zunahme der kritischen ϵ -Werte mit dem Verhältnis der kritischen Dammhöhe zum Steifemodul des Untergrundes ($\epsilon_{krit} H/D$) für undrained Randbedingungen. Maximale Verformungen stellen sich für $D/B \sim 0,4$ ein.



$E_u \text{ [MN/m}^2\text{]} = \text{Steifemodul des Untergrundes}$

$H_{krit} \text{ [m]} = \text{Versagenshöhe des unbewehrten Dammes}$

$\epsilon_{krit} \text{ [\%]} = \text{Kritische Verzerrung in der Dammsohle}$

Bild 7: Kritische Verformungen (krit. ϵ) in der Sohle eines nicht bewehrten Dammes (Auswertung von FE-Analyseergebnissen von Rowe/Soderman, 1984)

4. Die bisher für den praktischen Fall gebräuchliche Stabilitätsanalyse umfaßt folgende rechnerische Nachweise:

- (a) Sicherheit gegen Böschungsbruch einschließlich Böschungsgrundbruch entweder mittels Gleitkreis-Verfahren (z. B. Krey/Bishop) und lokalem Zugkraftansatz für die Bewehrung oder (2) mittels kinematischer Blockelemente.
- (b) Gleitbruchsicherheit des Dammes in Bewehrungsebene sowie Aufnahme der Spreizspannungen beidseits der Bewehrungsebene.
- (c) Sicherheit gegen Herausziehen der Bewehrung beidseits der Bruchfuge.
- (d) Sicherheit gegen Zugbruch der Bewehrung.

Für alle interaktiven Kraftwirkungen zwischen Boden und geotextiler Bewehrung bedarf es abgeminderter Scherparameter. Für Fall (a) gelten die Sicherheitsbeiwerte gemäß DIN 4084 ($\eta = 1,4$ bis $1,1$ je nach Lastfall und Rechenverfahren); für die Fälle (b) und (c) empfehlen sich Sicherheitsbeiwerte $\eta > 1,2$, für Fall (d) $\eta > 3,0$ als Richtgrößen.

4. Tragschicht mit Sohlbewehrung auf wenig tragfähigem Untergrund

4.1 Verformungs- und Bruchvorgang

Betrachtet wird ein statisch belastetes Zweischichtensystem, bestehend aus einer oberen, lastverteilenden Tragschicht (Reibungsmaterial) mit einer Sohlbewehrung auf einem wassergesättigten, normalkonsolidierten Untergrundboden mit ideal-kohäsiven Eigenschaften und sehr geringer Tragfähigkeit. Der Lastfall schließt Fundamentlasten und quasi-statisch wirkende Verkehrslasten ein (Bild 8).

Der weiche Untergrundboden konsolidiert als Folge der äußeren Last und des Eigengewichts der Tragschicht. Hohe Porenwasserüberdrücke in der

Anfangsphase der Belastung und zeitlicher Ausgleich dieses Überdrucks bis hin zum vollkonsolidierten Zustand des Bodens kennzeichnen den Lastfall, wobei der Untergrundboden einseitig nach oben in die Tragschicht oder zusätzlich nach unten entwässert.

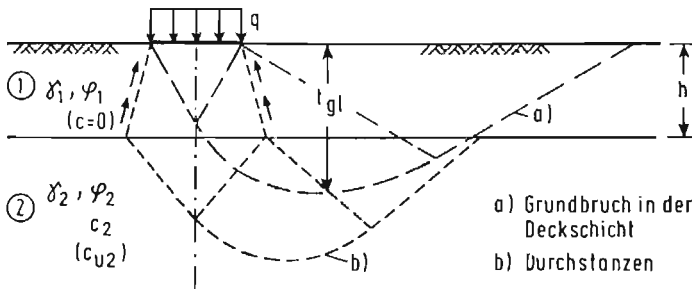


Bild 8: Versagensmechanismen eines Zweischichten-Systems für (a) Grundbruch und (b) Durchstanzen

Soweit vor dem Bruch nur Konsolidierungsvorgänge mit ebenen Randbedingungen vorherrschen, lassen sich die daraus resultierenden Verformungen prinzipiell so berechnen bzw. abschätzen, wie in Abschn. 3.1 ausgeführt. Die Tragschicht bildet dabei aufgrund ihrer lastverteilenden Wirkung für den Untergrundboden näherungsweise die Randbedingungen einer unendlich ausgedehnten Auflast.

Betrachtet man das System im Grenzzustand, so wird die Bruchkinematik im wesentlichen durch das Verhältnis der Steifigkeiten von Tragschicht zu Untergrund und das Verhältnis der Tragschichtdicke h zur Lastflächenbreite b beeinflusst. Bei sehr steifer Tragschicht auf sehr weichem Untergrund kann sich ein Durchstanzbruch der Tragschicht aufgrund zu hoher Lastkonzentration einstellen. Diese Bruchfigur weicht von der Grundbruchfigur, wie sie sich bei weniger großen Steifigkeitsunterschie-

den ergibt, wesentlich ab und erfordert ein spezifisches Eigenmodell. Die Gefahr des Durchstanzens der Tragschicht wächst allgemein auch dann, wenn das Verhältnis h/b kleiner 1,5 wird (Gudehus 1985). Im Fall der Überlastung vollzieht sich der Bruch des Systems so, daß zunächst die Tragschicht voll plastifiziert und ihre lastverteilende Wirkung verliert. Die zugleich progressiv zunehmende Beanspruchung des Untergrundes führt seine Plastifizierung bis hin zum Grenzzustand herbei. Schließlich bildet sich ein einsinkförmiger Bruch mit einem aktiven Bruchkeil und steilen Rändern der Bruchfigur aus.

Eine membranförmig wirkende Sohlbewehrung an der Unterseite der Tragschicht verbessert deren lastverteilende Wirkung und erhöht damit das Traglastvermögen des Systems. Das Grenztragvermögen des bewehrten Systems erschöpft sich aber in jedem Fall dann, wenn der Untergrund voll plastifiziert, wobei die Sohlbewehrung entweder reißt oder herausgezogen wird.

4.2 Kinematische Stabilitätsmodelle

Die kinematische Analyse stützt sich entweder auf Membranmodelle oder Blockmodelle, die aus mehreren verschieblichen Elementen bestehen.

(1) Membranmodell (Bild 9)

Die Aktivierung von Membranzugkräften setzt ein muldenförmig verformtes System voraus. Die Verformungsmulde richtet sich nach verschiedenen Tragschicht- und Untergrundreaktionen: Die anfängliche Konsolidation wird von einer elastischen Bettungsreaktion und mit fortschreitender Verformung von einer zunehmenden plastischen Reaktion begleitet.

Die elastische Bettungsreaktion, die weit unterhalb des Bruchzustandes wirkt, läßt sich mittels einer Differentialgleichung für jeden

Punkt längs der Membran aus dem Gleichgewicht zwischen Bettungs- und Membrankräften herleiten (Nievenhuis 1977, Bordeaux 1982). Jedem Lastfall läßt sich auf diese Weise ein Verformungszustand zuordnen.

Die Grundbruchreaktion kennzeichnet die progressive Plastifizierung von Tragschicht und Untergrund. Die Krümmungsparameter der Verformungsmulde - nämlich Breite und maximale Einsenkung - können entweder durch Festlegungen (Giroud 1981, Gourc 1982) variiert oder nach dem Minimalprinzip ermittelt werden. Im zweiten Fall wird das Minimum der Summe von Membrankraft und Bodentraglast gesucht. Die Traglast des Bodens wird prinzipiell mittels bekannter konventioneller Grundbruchansätze berechnet und der resultierenden Membrankraft vergleichend gegenübergestellt.

(2) Verformtes Blockmodell aus verschieblichen Elementen (Bild 10)

Die Berechnung der Traglast geht von einem verformten System (Theorie 2. Ordnung) aus. An den Knotenpunkten der gegenseitig verschiebbaren Elemente lassen sich sowohl Membran- als auch Zugkraftanteile aus Schubspannungen im Boden berücksichtigen. Ob die Berechnung von verformten Systemen allerdings gegenüber dem Membranmodell ein grundsätzlich anderes Tragverhalten des Systems ergibt, bleibt als Frage noch offen.

Für die Dimensionierung der Bewehrungseinlagen und die abgeminderten Scherparameter für interaktive Kraftwirkungen gelten die in Abschn.3.2 ausgeführten Grundsätze sinngemäß. Die bisher im praktischen Fall gebräuchliche Stabilitätsanalyse bedarf folgender rechnerischer Sicherheitsnachweise:

- (a) Durchstanz- und Grundbruchsicherheit mittels Traglastnachweis für die Tragschicht und für das Zweischichten-System unter Berücksichtigung der Membranrückhaltekräfte.
- (b) Gleitbruchsicherheit in Höhe OK Tragschicht (z. B. Fundamentsohle) und im Bereich der Bewehrungsebene (UK Tragschicht).

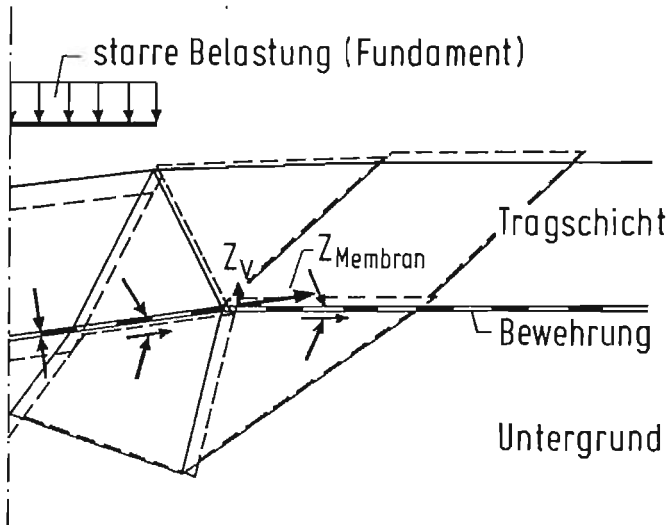


Bild 10: Verformtes Blockmodell aus Verschiebungselementen für Zweischichten-Systeme (Tragschicht/Untergrund).

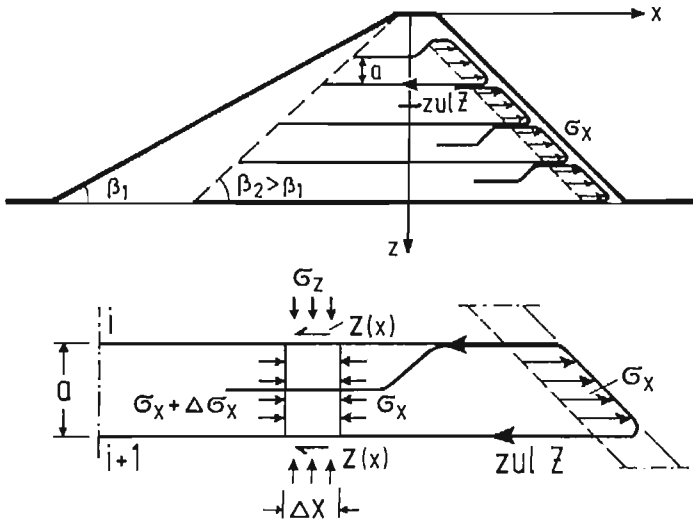
5. Übersteil geböschte Schütt- und Stützkörper mit Bewehrungseinlagen

5.1 Allgemeine Verformungs- und Bruchmechanismen

Betrachtet seien übersteil geböschte Schüttkörper sowie Erdstützkörper mit steiler bis vertikaler Stirnfläche, deren Stabilität durch systematisch angeordnete Bewehrungseinlagen sichergestellt wird (Bild 11).

Folgende Grundvarianten lassen sich unterscheiden:

- (1) Erdstützkörper mit Wandelementen als Verkleidung der Stirnfläche und konstruktiv angeschlossener Bewehrung, analog zur Bauweise "Terre Armee".



Gleichungssystem für Grenzzustand ($\Delta\tau = 0$)

(1) Boden: $\sigma_1 = \sigma_z = \gamma \cdot Z$

$$\sigma_3 = \sigma_x + \Delta\sigma_x = \frac{1}{\lambda_\varphi} \cdot \sigma_1 \quad \frac{1}{\lambda_\varphi} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi}$$

(2) Bewehrung: $\Delta\sigma_x = 2 \cdot Z(x) \cdot \Delta x / a$

$$a = 2 \cdot \text{zul } Z \cdot \Delta x / \Delta\sigma_x$$

(3) Verbund Boden - Bewehrung:

$$Z(x) = \text{zul } Z = \sigma_z \cdot \tan \varphi_R$$

Bild 11: Interaktive Kräfte für den Grenzzustand einer nach dem Prinzip des "Polsterdammes" bewehrten steilen Dammböschung

- (2) Variante wie (1), mit vorgesetzten Gabionen
- (3) Schüttkörper mit Bewehrungsmatten (Gewebe, zugfeste Vliese), an der Stirnfläche umgeschlagen, so daß der Boden nicht abböschen kann, ausgeführt (a) als sog. Polsterdamm oder (b) als Sicherung übersteiler Dammböschungen und Geländeauffüllungen.

Der Aufbau der Erdstützkörper erfolgt in der Regel mit Reibungsböden, die keine eigenen Kriechverformungen erleiden und zugleich gut dränieren; für Damm- und Geländeaufschüttungen können allerdings kohäsive Böden zum Einbau kommen.

Zum Bruch- und Verformungsverhalten dieser Verbundkörper liegen bisher keine gesicherten Erfahrungen und Meßergebnisse vor, so daß hierzu noch Fragen offenbleiben; zudem können sich die Konstruktionsvarianten wesentlich unterscheiden und für den Einzelfall maßgebende Randbedingungen Einfluß nehmen. Die bisherigen Beobachtungen und Meßaufnahmen an Polsterdämmen verzeichnen keine unverhältnismäßigen Verschiebungen, Kriechdehnungen oder sonstige Schäden an den Geweben und Vliesen im Stirnfeldbereich, normale Randbedingungen und hohe Verdichtung des Reibungsbodens vorausgesetzt. Das Traglastvermögen liegt zum Teil weit über den konventionell ermittelten Bruchlasten. Aufgrund dieser Indizien läßt sich durchaus annehmen, daß der flächige Bewehrungseffekt und die vollflächig im Reibungsboden aktivierten Schubspannungen bei diesen Polsterdämmen einen wirksameren Abbau der Erddruckkräfte erzeugen kann als bei Systemen mit Bandbewehrung.

Nach allgemeiner bodenmechanischer Auffassung wirken solche Boden-Verbund-Systeme als schlaaffe Reibungskörper, wobei sich die Bewehrungslagen wie eine anisotrope Kohäsion auswirken. In gewisser Weise besteht eine Analogie zum Prinzip des Fangedammes, da dieser ebenfalls als schlaffer Reibungskörper wirkt, wobei die äußeren Kräfte über die Eigenreibung des eingefüllten Bodens und über die Wandreibung in die Sohlfläche und weiter in den Untergrund abgetragen werden.

Der schlaff bewehrte Verbundkörper zeichnet sich im Vergleich zu einem monolithischen Starrkörper durch ein grundsätzlich anderes Setzungs-, Erddruck- und Bruchverhalten aus (Bild 12):

- (a) Was das Setzungsverhalten betrifft, so reagiert der bewehrte Verbundkörper wegen seiner relativ geringen Eigensteifigkeit wenig empfindlich auf Setzungsdifferenzen und Horizontalverformungen. Im Querschnitt gesehen bilden sich die Setzungen unter dem Verbundkörper muldenförmig aus; d.h. die maximalen Setzungen liegen nicht in der Stirnflächenflucht, sondern zurückversetzt unter dem Körper, sofern gleichmäßige Untergrundverhältnisse vorliegen.

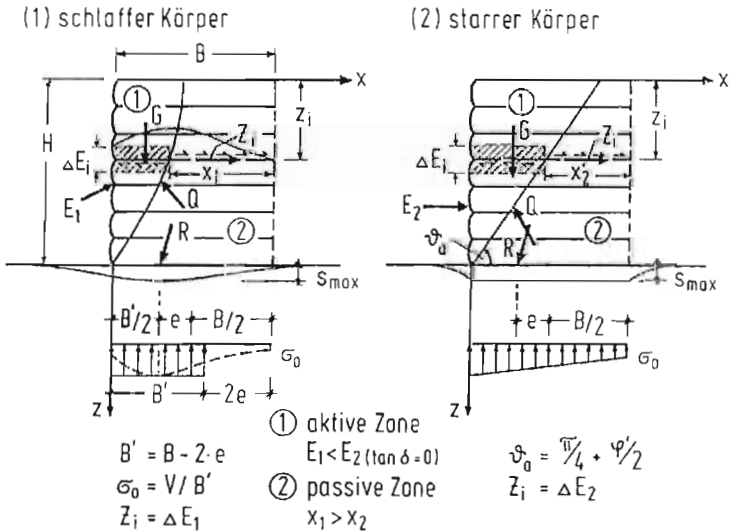


Bild 12: Modellvergleich zwischen (1) schlaffem Reibungskörper und (2) quasi-monolithischem Erdkörper bezüglich Setzung s , Sohldruck σ_0 , Erddruck E und Zugkraft der Bewehrung z_i .

- (b) Die in der Sohlfläche schräg ausmittig wirkende Kraftresultierende aus Eigengewicht des Verbundkörpers und Erddruck bildet einen Sohl-
druck σ_0 aus, der im Unterschied zum monolithischen Starrkörper nach
der Außenseite zu abnimmt.
- (c) Die Erddruckkräfte wirken nicht wie beim monolithischen Körper an
der Rückseite, sondern werden innerhalb des Verbundkörpers durch
Schubspannungen und Gewölbewirkungen längs der Bewehrungselemente
so abgetragen, daß nur noch ein Restteil im Bereich unmittelbar
hinter der Stirnfläche ankommt. Meßergebnisse von Untersuchungen an
Stützkörpern der Bauweise "Terre Armee" belegen dies. Die Begren-
zungslinie der aktiven Erddruckzone folgt etwa den geometrischen
Orten der Zugkraftmaxima der Bewehrungslagen; das ist eine gekrümmte
Linie, die einen wesentlich kleineren aktiven Bereich einschließt,
als er sich mit dem ebenen Gleitkreis gemäß Coulombscher Erddruck-
theorie abgrenzt.
- (d) Im Vordergrund der Stabilitätsanalyse steht die Sicherheit gegen
Grundbruch und Gleiten des Verbundkörpers sowie nach Böschungs- bzw.
Geländebruch. Der schlaffe Verbundkörper kann vergleichsweise zum
Starrkörper nicht kippen, da er sich bei einem wirksamen Kippmoment
auseinanderschleiben würde.
Nachrechnungen zeigen, daß der ohne Auflast für sich betrachtete
Verbundkörper über ausreichende innere Bruchsicherheit verfügt, wenn
der von der Bewehrung aufnehmbare Zugkraftanteil mit eingerechnet
wird und bestimmte geometrische Abmessungen (Verhältnis Breite b /
Höhe h und Gründungstiefe) eingehalten werden. Unter diesen Voraus-
setzungen und bei ausreichender Grundbruchsicherheit des Baukörpers
würde es genügen, nur potentielle Bruchfugen für den Nachweis der
Böschungs- bzw. Geländebruchsicherheit zu untersuchen. Wenn aller-
dings $b \gg h$, dann kann das sehr schlaffe Lastverhalten eines sol-
chen breiten Körpers auch zu inneren Bruchzuständen führen, die sich
lokal oder lagenweise beginnend ausbilden und bis zur vollen Plasti-
fizierung fortentwickeln. Solche Zustände bedürfen der speziellen
Untersuchung.

Wie ausgeführt, ergibt sich aus bisher bekannten Untersuchungen, daß die maximale Traglast des Verbundkörpers wesentlich über der konventionell rechnerisch ermittelten Bruchlast liegen kann. Folgende Phänomene mögen zu diesem Verhalten beitragen:

1. Die Bewehrungslagen bewirken im Reibungsboden globale und lokale Vorspanneffekte.
2. Jede neue Bewehrungseinlage ändert beim Einbau die resultierende Hauptspannungsrichtung und damit auch die Geometrie der potentiellen Bruchfigur.
3. Der Boden wird infolge der Einspannung zwischen den Bewehrungslagen außergewöhnlich stark verdichtet.
4. Die Bewehrungslagen und die Verdichtungseffekte bewirken gewölbeartig gerichtete Kraftübertragungsbrücken im Reibungsboden und außerdem hochscherfeste Kontaktzonen längs der Bewehrungslagen, so daß zusätzlich rückhaltende Horizontalspannungen σ_x induziert werden.

Die genannten Effekte dürften besonders bei geotextilen Bewehrungseinlagen von Einfluß sein, da ihre Dehnung vollflächige Reibung und adhäsiven Haftverbund bewirkt; außerdem kann der Boden infolge allseitiger Einspannung nicht ausweichen. Die lagenweise mit fortschreitendem Aufbau des Verbundkörpers sich verstärkenden Gewölbebrücken dürften in gewissen Grenzen sogar allein tragen können bzw. die Bewehrung entlasten. Entsteht lokal ein Grenzzustand, so bilden sich diese Kräftebrücken infolge der dadurch neu induzierten σ_x -Spannungen um bzw. geben einen Teil der Last wieder an die Bewehrung ab, so daß die Progression der Plastifizierung aufgehalten wird. Diese Vorgänge setzen allerdings voraus, daß der Verbundkörper nicht überlastet bzw. nicht durch hohe σ_z -Spannungen überdrückt wird.

Die vorgenannten Phänomene bedürfen des Beweises durch zukünftige in situ Untersuchungen und Modellierungen. Sie bilden Hypothesen, die aber aufgrund der Beobachtungen recht wahrscheinlich sein dürften. Ohne Zweifel steht als technische und sicherheitsrelevante Anforderung fest, daß der Verbundkörper mit gleichmäßiger und hoher Dichte herzustellen ist.

5.2 Konservatives Berechnungsmodell

Aus Sicherheitsgründen und wegen der bisher nicht gesicherten Erfahrungen finden die in Abschn. 5.1 dargelegten Wirkungsmechanismen noch keinen Niederschlag in der praktischen Stabilitätsanalyse. Hilfsweise werden Berechnungsmodelle zugrunde gelegt, die von einem quasi-monolithischen Verbundkörper ausgehen (Bild 12), und zwar für den Regelfall mit folgenden auf der sicheren Seite liegenden Bemessungsregeln: (a) Ansatz des Coulombschen Erddrucks auf die Rückseite des Verbundblocks, zugleich aber (im Widerspruch zur monolithischen Vorbedingung) ein unter $\vartheta_a = \pi/4 + \varphi/2$ eben begrenzter aktiver Bruchkeil innerhalb des Verbundkörpers, (b) Ansatz der rückhaltenden Bewehrungszugkräfte hinter der Bruchfuge, (c) trapezförmig verteilter Sohldruck analog zum ausmittig schräg belasteten Starrkörper, (d) Aufnahme der resultierenden horizontalen Erddruckkomponente im Fußauflager des Verbundkörpers, (e) im Fall einer Außenverkleidung Bemessung der Wandelemente auf vollen Erddruck.

Die konventionelle Stabilitätsanalyse umfaßt den Nachweis der äußeren und inneren Standsicherheit des Verbundkörpers.

(1) Zur äußeren Stabilität gehören je nachdem, ob es sich um eine übersteile Böschung oder um einen Erdstützkörper handelt, folgende Sicherheitsnachweise:

(a) Gleitsicherheit im Sohlbereich des Verbundkörpers gemäß DIN 1054, für Stützkörper mit festen Bewehrungseinlagen (z. B. Geo-

- grids) auch für die Bewehrungsfugen; Sicherheitsbeiwerte $\eta_g > 1,2 \dots 1,5$ je nach Lastfall.
- (b) Begrenzte Ausmittigkeit der Lastresultierenden in der Sohlfuge
 - (c) Grundbruchsicherheit gemäß DIN 4017; Sicherheitsbeiwerte $\eta_p > 1,3 \dots 2,0$ je nach Lastfall.
 - (d) Geländebruch bzw. Böschungsbruch gemäß DIN 4084; Sicherheitsbeiwerte $\eta > 1,1 \dots 1,4$ je nach Lastfall und Berechnungsverfahren, auch für Teilbereiche des bewehrten Erdkörpers (insbesondere bei Systemen mit Auflasten oder Verkehrslasten).

Zum Gegenstand der Untersuchungen gehören auch Zwischen- und Bauzustände. Bei Nachrechnungen mit niedrigem Sicherheitsbeiwert besteht zwar rechnerisch noch ausreichende Sicherheit, was jedoch nicht ausschließt, daß bereits starke Verformungen des Systems entstehen können. Mit Verfahren gemäß DIN 4084 nachgerechnete Gelände- und Böschungsbrüche gelten nur für ebene Verformungszustände; allerdings bringen diese Verfahren, auf räumliche Fälle angewendet, auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse. Beim Aufbau des Verbundkörpers können erhöhte Erddrücke aus der lagenweisen Verdichtung des Bodens entstehen, die rechnerisch mit in Ansatz zu bringen sind.

- (2) Zur inneren Stabilität gehören folgende Sicherheitsnachweise:
 - (a) Sicherheit gegen Zugbruch der Bewehrung ($\eta > \text{zul } Z/Z_j$).
 - (b) Sicherheit gegen Herausziehen der Bewehrung: Sicherheitsnachweis für den gesamten Verbundblock und für einzelne Bewehrungslagen mit den Rückhaltekräften für die hinter dem aktiven Gleitkeil verbleibenden Einbindelängen der Bewehrung und mit abgeminderten Reibungsbeiwerten für die interaktiven Kräfte zwischen Bewehrung und Boden.
 - (c) Gleitsicherheit in horizontalen Bewehrungsebenen innerhalb des Verbundblocks mit Reibungsbeiwerten je nach Bodenart
 - (d) Aufnahme der Zugkräfte an den Bewehrungsanschlüssen mit der Außenverkleidung ($Z_j \geq 0,85 \max Z_j$).

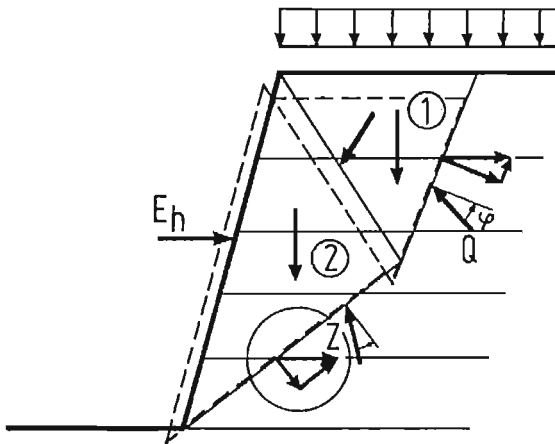
Für den Gebrauchszustand bedarf es der Festlegung der zulässigen Zugkraft (zul Z) für die jeweilige Bewehrung; diese Gebrauchszugkraft richtet sich nach der Gebrauchsdauer sowie nach der Dehnsteifigkeit der Bewehrung und deren Dauerbeständigkeit (Alterung, temperaturabhängige Degradation u.a.). Aufgrund des bisher begrenzten Erfahrungsstandes empfehlen sich für geotextile Bewehrungen folgende Richtwerte für den Gebrauchszustand je nach vorgeplanter Dauer des wirksamen Bewehrungseffektes:

- (a) Permanenter Bewehrungseffekt: Zugkraftaufnahme 20 bis 25% der Zugbruchlast bei 5% zulässiger Dehnung.
- (b) Temporärer Bewehrungseffekt: Zugkraftaufnahme 30% der Zugbruchlast bei 10% zulässiger Dehnung.

5.3 Modifizierte Stabilitätsmodelle

Es gibt eine Reihe von modifizierten Vorschlägen, die hier nur in ihren Grundsätzen zusammengefaßt seien, aber alle darauf abzielen, eine gegenüber dem konventionellen Ansatz erhöhte Traglast des Verbundkörpers nachzurechnen:

- (1) Modifizierung der Geometrie der aktiven Bruchzone: (a) Annahme einer gebrochenen Begrenzungslinie für den aktiven Gleitkörper als bessere Anpassung an den tatsächlichen Verlauf. Die ungünstigste Bruchfuge wird durch Variation der beiden Gleitflächenwinkel aufgefunden. (b) Annahme von fest definierten Gleitkörperbegrenzungen, die näherungsweise den geometrischen Orten der Zugkraftmaxima folgen (z. B. Berg 1986, John 1986). (c) Ansatz eines Blockmodells aus zwei gegenseitig verschiebbaren Elementen mit Zugkraftansatz in den Schnittstellen der Bewehrungseinlagen (Bild 13). Dabei wird nicht nur die Tangentialkomponente der Zugkraft T_1 als rückhaltende Kraftwirkung berücksichtigt, sondern zusätzlich mit der Komponente T_2 dem durch die Bewehrung in den Bruchfugen erhöhten Normalspannungsanteil Rechnung getragen.



Kräfte in der Bruchfuge

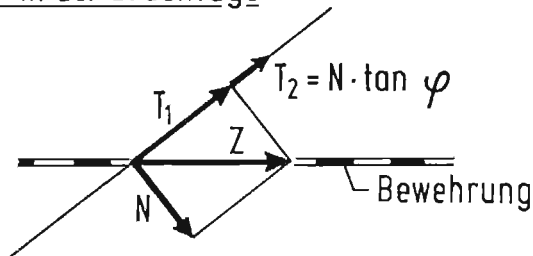


Bild 13: Blockmodell aus zwei Verschiebungselementen mit Zugkraftansatz für die Bewehrung bei übersteil geböschtem Erdkörper

- (2) Annahme eines reduzierten Erddrucks auf die Stirnfläche, womit dem Abbau der Erddruckkräfte innerhalb des schlaffen Reibungskörpers Rechnung getragen wird.

- (3) Ansatz erhöhter Scherfestigkeitsparameter $\bar{\varphi}$ und $\bar{c}$ bei der Ermittlung der Traglast des Verbundkörpers (z. B. IngoId/Miller 1982).
- (4) Modifizierung des Versagensmechanismus, ausgehend von der erläuterten Gewölbetheorie. Statt der Annahme einer aktiven Gleitzone für den gesamten Verbundkörper wird davon ausgegangen, daß das System lagenweise versagt, d.h. daß der Bruch in einer unteren Lage beginnt und sich lagenweise progressiv nach oben durchbildet (Werner/Resl 1986),

6. Sicherheitstheorie

Die dargelegten Modelle und Verfahren für die Berechnung bewehrter Boden-Verbundsysteme bedürfen - um das Thema abzurunden - noch einiger sicherheitstheoretischer Betrachtungen. Der allgemeine bodenmechanische Sicherheitsbegriff stützt sich - soweit es um praktische Regelfälle geht - auf das Mohr-Coulombsche Bruchkriterium in der von Terzaghi (1954) durch die effektiven Spannungsbegriffe erweiterten Form

$$\tau \leq \frac{1}{\eta} (\bar{c} + (\sigma - u) \tan \bar{\varphi})$$

mit τ als Schubspannung, σ als Normalspannung, u als Porenwasserdruck, $\bar{c}$, $\bar{\varphi}$ als Scherparameter des Bodens (dränierte Randbedingungen) und als globalem Sicherheitsbeiwert. Die Sicherheit erhöht sich diesem Ansatz zufolge mit der Konsolidierung des Bodens in dem Maß, wie mit dem Abbau von Porenwasserüberdrücken Δu die effektiven Normalspannungen $(\sigma - u)$ im Korngerüst des Bodens wirksam werden.

Die Unsicherheiten, die dieser Sicherheitsansatz in sich birgt, ergeben sich neben der ungenauen Kenntnis der Lastparameter daraus, daß die Schubspannungen τ längs der Bruchfuge rechnerisch nur als Mittelwert bekannt sind und die Scherfestigkeit des Bodens τ_f keine konstante, sondern eine spannungs-, verformungs- und zeitabhängige Festigkeitsgröße

darstellt. Ihre Größe wird sowohl vom Spannungspfad während der Vorgeschiebung des Bodens als auch von den durch Belastungsänderungen verursachten Konsolidierungs- und Schubverformungen maßgeblich beeinflusst. Die in der Praxis eingeführten Sicherheitsbeiwerte stellen daher nur deterministische Größen dar.

Der allgemeine Sicherheitsansatz läßt sich dahingehend modifizieren, daß für den Bauwerksentwurf anstelle des globalen Sicherheitsfaktors partielle Sicherheitsfaktoren für charakteristische Lastwirkungen und voneinander abweichende Rechnungsverfahren sowie für die Scherfestigkeitsparameter eingeführt werden (Brinch Hansen 1956). Es gilt als allgemein bekannt, daß sich damit konsistentere Lösungen für die unterschiedlichen und bauwerksspezifischen Sicherheitsbereiche sowie für die Unsicherheiten der streuenden Bodeneigenschaften erzielen lassen.

Weiterführende Überlegungen bestehen darin, für charakteristische Lastwirkungen (Tot- und Lebendlasten, Wind, Erdbeben, Wasserdruck) partielle Lastfaktoren und für charakteristische Materialfestigkeiten (z. B. Reibung, Kohäsion) partielle Widerstandsfaktoren zu verwenden (Meyerhoff 1982).

Die Anwendung von bodenspezifisch partiellen Sicherheitsbeiwerten bzw. partiellen Last- und Widerstandsfaktoren gewinnt in mehrfacher Hinsicht grundlegende Bedeutung, und zwar

- (a) im Zusammenhang mit der Sicherheitsanalyse für bewehrte Boden-Verbundsysteme. Erdstoff und Zugelement dieser Verbundsysteme unterliegen sowohl unterschiedlichen Lastwirkungen als auch anderen Streuungen in den Festigkeits- und Verformungseigenschaften, so daß sich die Anwendung partieller Sicherheitsfaktoren besonders anbietet.
- (b) Im Zusammenhang mit der sich im Bauwesen einführenden Zuverlässigkeitstheorie, die statt der deterministischen eine probabilistische Sicherheitsbeurteilung für Stabilitätsfälle möglich macht.

Gerade wegen dieser prädestinierten Bedeutung der partiellen, statistischen Sicherheitstheorie für bewehrte Bodensysteme seien hier deren Grundzüge kurz und allgemein in den zu vollziehenden Schritten zusammengefaßt:

- (1) Ausgehend von den geometrischen und bodenmechanischen Größen des jeweiligen Problems müssen die Anforderungen an die Konstruktion definiert werden, z. B. für den Gebrauchszustand die Grenzwerte der zulässigen Verformungen oder für den Versagensfall die potentiell möglichen Bruchvorgänge. Aus diesen Definitionen entsteht dann die sog. Grenzzustandsfunktion g , die für Werte $g \geq 0$ die Sicherheitsanforderungen erfüllt.
- (2) Diese Grenzzustandsfunktion verknüpft Einwirkungen, wie Lasten, Erddruck u.a. über geometrische und physikalische Beziehungen mit konstruktionsspezifischen Widerständen, wie Festigkeit und Steifigkeit von Boden und Bewehrung sowie geometrische Abmessungen. Die Größenordnungen dieser Einwirkungen und Widerstände sowie deren Streuungen müssen ermittelt oder abschätzend festgelegt werden. Daraus resultiert, welche Größen als streuende Zufallsvariable in die Berechnung eingehen und später mit Partialsicherheiten belegt werden und welche wegen ihres geringen Einflusses oder wegen ihrer geringen Streuung als Konstante betrachtet werden können.
- (3) Für die streuenden Größen werden im weiteren deren theoretische Verteilungen einschließlich ihrer Parameter, wie Mittelwert, Standardabweichung und Korrelationen untereinander, ermittelt oder geschätzt. Hierbei sollen auch Unsicherheiten, die sich auf mangelnde Information gründen, berücksichtigt werden. Dies betrifft z. B. besonders solche Bodenkenngrößen, deren Mittelwerte in der Regel nie exakt angegeben werden können und die daher auch als streuende Größen formuliert werden müssen.

Üblicherweise können für die Mittelwerte und für die Eigenschaften synthetischer Materialien Normalverteilungen angenommen werden, für

Bodenkennwerte evtl. verschobene Lognormalverteilungen und z. B. für Verkehrslasten oder Grundwasserstandshöhen Extremwertverteilungen. Bei zeitlich veränderlichen Eigenschaften oder zeitabhängigen Größen ist dieser Einfluß - sofern streuend - ebenfalls als Zufallsvariable zu berücksichtigen. Die zu ermittelnde Standardabweichung von Bodenkennwerten setzt voraus, daß die flächige bzw. räumliche Streuung berücksichtigt wird, z. B. beim Grundbruch längs der Bruchfuge oder bei der Zugkraftverteilung längs der Bewehrung.

- (4) Die nachzuweisende zulässige Versagenswahrscheinlichkeit bedarf der Vorschrift oder einer ähnlichen Verlautbarung. Üblicherweise liegt sie für Gebrauchszustände bei etwa $5 \cdot 10^{-3}$ bis 10^{-4} und für Bruchzustände bei etwa 10^{-5} bis 10^{-7} .
- (5) Sollen die Partialsicherheiten nur für eine spezielle Problemstellung, z. B. für eine gegebene Geometrie, für bestimmte Materialien oder Lasten, berechnet werden, so braucht nur mit Hilfe des sog. β -Algorithmus der Bemessungspunkt als derjenige Punkt der Grenzzustandsfunktion ermittelt werden, dessen Häufigkeit am größten ist. Aus den zugehörigen Werten der einzelnen Einfluß- und Widerstandsgrößen können die Partialsicherheitsbeiwerte einfach aus dem Verhältnis von Bemessungswert zu Mittelwert oder zu anderen charakteristischen Werten bestimmt werden.

Wenn dagegen der Nachweis allgemein mit Partialsicherheitsbeiwerten geführt werden soll, z. B. für den Grundbruch, dann müssen alle möglichen Variationen der Zufallsgrößen, wie Geometrie, Boden, Bewehrung und Lasten, nachgerechnet und die Partialsicherheitsbeiwerte auf der sicheren Seite liegend abgeschätzt werden.

Die genaue Vorgehensweise bei der hier nur in den allgemeinen Grundzügen geschilderten Berechnung richtet sich nach dem Modelcode Band 1 Giant Committee on Structural Safety, CEB Bulletin No. 116/125 sowie nach den Grundlagen für die Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, DIN (1977).

7. Schlußanmerkungen

Die aufgezeigten Berechnungsmodelle bedürfen der weiteren Untersuchung mit dem Ziel, das Systemverhalten real und orientiert an den im Bauwesen üblichen Sicherheitsregeln zu erfassen und die Dimensionierung wirtschaftlich zu gestalten. Hierzu sind auch in größerem Umfang und mit verbesserter Systematik Messungen an realen Modellen und an Ausführungskonstruktionen notwendig. Für die Zukunft wäre außerdem dringend noch mehr Grundlagenforschung zu wünschen, um weiteren Antrieb für die technologische Weiterentwicklung zu gewinnen. Dieser Aufruf mag gleichermaßen an die öffentlichen Forschungsförderer wie auch an die produzierende Industrie gerichtet sein.

Es ist dem Autor schließlich ein Anliegen, seinen Mitarbeitern, den Herren D. Alber, A. Bauer, G. Bräu und B. Peintinger zu danken, die bei der Vorbereitung des Beitrags geholfen haben.

Literatur

1. Berg R.R., Bonaparte R. et al (1986): Design, Construction and Performance of Two Geogrid Reinforced soil Retaining walls. 3rd Int. Geotextil-Kongreß Wien, Vol. II, p. 401 - 406
2. Brinch Hansen J. (1956): Limit design and partial safety factors in soil mechanics. Danish Geotechnical Institute. Bull. 1, 4 p.
3. Bordeaux P.L., Hurr M.E., Holtz R.D. (1982): Soil Fabric Interaction - An analytical Model. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, Vol. II, pp 387-391
4. Drucker D.C., Greenberg H.J., Prager W. (1952): Extended limit design theorems for continuous media. Q.Appl. Math. 9

5. Floss R. (1971): Dämme auf weichem Untergrund. Straßen- und Tiefbau, H. 2, S. 67-74
6. Giroud J.-P., Noiray L. (1981): Geotextile Reinforced unpaved Road Design. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE Vol. 107, No. GI 9, p. 1233 - 1254
7. Gourc J.P., Matichard Y., Perrier H., Delmas I. (1982): Bearing Capacity of a Soft Subgrade System with Geotextile. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, Vol. II, p 411-416
8. Graf B., Gudehus G., Vardoulakis I. (1985): Grundbruchlast von Rechteckfundamenten auf einem geschichteten Boden. Bauingenieur 60, H. 1, S. 29 - 37
9. Ingold T.S., Miller K.S. (1982): Analytical and Laboratory Investigations of Reinforced Clay. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, Vol. III, p. 587 - 592
10. Jewell R.A. (1982): A Limit Equilibrium Design Method for Reinforced Embankments on Soft Foundations. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, Vol. III, pp 671 - 676
11. John N.W.M. (1986): Geotextile reinforced soil walls in a tidal environment. 3rd Int. Geotextil-Kongreß, Wien, Vol. II, p. 331 - 336
12. Meyerhoff G.G. (1982): Limit states design in geotechnical engineering. Structural Safety 1, pp 67-71
13. Nieuvenhuis J. (1977): Membranes and the bearing capacity of road-bases. Int. Conf. on the Use of Fabrics in Geotechnics. Paris, Vol. I, pp 3 - 8
14. Pregl O. (1983): Kontinuumsmechanik / Statische Randwertaufgaben.

Mitteilungen des Instituts für Geotechnik und Verkehrswesen, Universität für Bodenkultur Wien, Reihe Geotechnik, H.4

15. Rowe R.K., Soderman K.L. (1984): An Approximate Method for Estimating the Stability of Geotextile Reinforced Embankments. The University of Western Ontario, London, Ontario
16. Vollenweider U.-G. (1970): Beitrag zur Behandlung bodenmechanischer Grenzwertprobleme nach der Plastizitätstheorie. Diss. ETH Zürich (Nr. 4333)
17. Werner G., Resl S. (1986): Stabilitätsmechanismen in geotextilverstärkten Erdstützkonstruktionen. 3rd Int. Geotextil-Kongreß Wien, Vol. II, p. 465 - 469

EINSATZ VON GEOTEXTILIEN IM VERKEHRSWEGEBAU
BEI INTENSIVER DYNAMISCHER BEANSPRUCHUNG

H. Laier, G. Bräu

- Kurzfassung -

Geotextilien werden im Verkehrswegebau unter anderem als Trenn- und Filterlage zwischen Tragschichten und weichem Untergrund eingesetzt. Im Rahmen eines Forschungsprogrammes wird das Verhalten verschiedener Geotextilien (Vliese, Gewebe, Verbundstoffe) bei nicht oder nur schwach befestigten, in der Höhe begrenzten Oberbauten unter intensiver dynamischer Beanspruchung (z.B. Baustraßen) untersucht. Die Untersuchungen erfolgen großmaßstäblich (M=1:1) sowohl im praktischen Baustellenverkehr, als auch in einem eigens konstruierten Versuchsstand.

Aus den bisherigen Untersuchungen ergeben sich wesentliche Unterschiede im Verhalten der Geotextiltypen und -fabrikate. Die Filter- und Trennwirkung bei dynamischer Belastung kann nicht nach schematischen Regeln beurteilt werden, sondern hängt vom Geotextiltyp, der Beschaffenheit des Untergrundes und der Konstruktion des Oberbaues (insbesondere der Dicke) ab.

1. Einleitung

Seit geraumer Zeit werden Geotextilien im Verkehrswegebau mit großem Erfolg eingesetzt. Das Spektrum der praktischen Anwendung reicht von Verkehrswegen begrenzter Lebensdauer bzw. einfacher und billiger Herstellungsweise, wie z.B. Baustraßen, über hochwertige Straßen mit gebundenem Oberbau (Beton, Asphalt) bis hin zum hochbeanspruchten Schienenweg auf Schotterbett mit besonderen Anforderungen an die Erhaltung der Gleislage. In diesem Zusammenhang ist die Wirkungsweise von Vliesen, Geweben und Verbundstoffen als Trenn- und Filterlage zwischen Tragschichten und weichem Untergrund bei hohen Verkehrsbeanspruchungen und begrenzten Oberbaustärken von besonderem Interesse und steht im Mittelpunkt dieser Arbeit. Die bewehrende Wirkung wird im Rahmen der komplexen Vorgänge als Phänomen mit beobachtet, bleibt jedoch quantitativ einer gleichzeitig am Lehrstuhl und Prüfamf für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universität München laufenden Grundlagenuntersuchung über das bewehrte Zweischichtensystem zugeordnet.

Die Fragestellung läßt sich mit bislang bekannten Verfahren zur Filterbemessung, die für statische Belastungen bzw. "dynamische" Beanspruchungen im Wasserbau ausgelegt sind, nicht beantworten. Aus diesem Grunde werden in einem eigenen Forschungsprogramm die Wirkungsweisen verschiedener Geotextilien bei unterschiedlichen Oberbauweisen und Untergrundverhältnissen untersucht. Es wird nicht der Weg über kleinmaßstäbliche Laborversuche beschritten, sondern die Lösung in wirklichkeitsnahen, großmaßstäblichen Versuchen ($M=1:1$) gesucht. Die Arbeit beschränkt sich bis jetzt auf die Untersuchung unbefestigter Straßen und Fahrwege (Baustraßen, ungebundene Frost- und Tragschichten). Durch die intensive dynamische Beanspruchung, wie sie allgemein bei der Herstellung von Verkehrsflächen, besonders auch während der Einbauphase, in Form von Walkarbeit und "Pumpwirkung" auftritt, ist vor allem bei minimierten Oberbaustärken z.T. ein Versagen bestimmter Geotextiltypen als Trennlage zu erwarten.

Für die Durchführung der Aufgabe bot sich eine Großbaustelle an, bei der ca. 7 Mio. m³ Bodenmaterial auf Baustraßen bewegt werden. Das Prüfamts überwacht den Bodenaustausch und verfügt über ein vollständig ausgerüstetes Erdbaulabor auf der Baustelle. Die zur Verfügung stehenden Bodenarten (Schluff, Kies, etc.) und die baubetrieblichen Gegebenheiten (z.B. großer Fuhrpark mit unterschiedlichen Belastungsfahrzeugen) bieten gute Voraussetzungen für gezielte Parameterstudien auf Versuchsstrecken. An den im Betrieb befindlichen Baustraßen können die Randbedingungen und Auswirkungen unter echtem Fahrbetrieb studiert und mit den Vorgaben bzw. Ergebnissen auf den Versuchsfeldern verglichen werden.

2. Vorgehensweise

Bei der Durchführung der Forschungsarbeit wurden parallel laufend zwei Versuchsserien durchgeführt:

- Freifeldversuche unter Baustellenbedingungen
- Freifeldversuche unter einer Überdachung mit eigens konstruierter fahrbarer Belastungseinrichtung.

Bei den Freifeldversuchen werden Abschnitte von Baustraßen mit verschiedenen Geotextilien bestückt und laufend kontrolliert. Verschiedene Strecken sind mit Geräten zur Schwingungs- und Erddruckmessung ausgerüstet. Nachdem unter fast allen Baustraßen Geotextilien eingelegt waren, können die bestehenden Fahrwege insgesamt begutachtet und an interessanten Stellen geöffnet werden. Bei allen Untersuchungen ist zunächst die Erfassung äußerer Einflüsse, wie z.B. Witterung, Belastung, Anzahl der Überfahrten, von Bedeutung. Bei den in Betrieb befindlichen Baustraßen kann man verschiedene dieser Parameter nur qualitativ erfassen.

Aus diesem Grund wurde eine Belastungseinrichtung konstruiert, die den Baustellenverkehr simuliert. Mit Hilfe dieser Maschine, die unter einer Überdachung installiert wurde, konnten Versuche gefahren werden, bei denen die Randbedingungen gut kontrolliert werden konnten. Die Homogeni-

sierung der einzubauenden Materialien konnte mit großer Sorgfalt betrieben werden. Ebenso sind die Anzahl der Überfahrten, die Lage der Fahrspuren und die auftretenden Lasten genau bekannt.

Bei den bislang durchgeführten Versuchen wurden folgende Einflußgrößen variiert:

- Oberbaumaterial
- Dicke und Verdichtung des Oberbaues
- Geotextil
- Beschaffenheit des Untergrundes

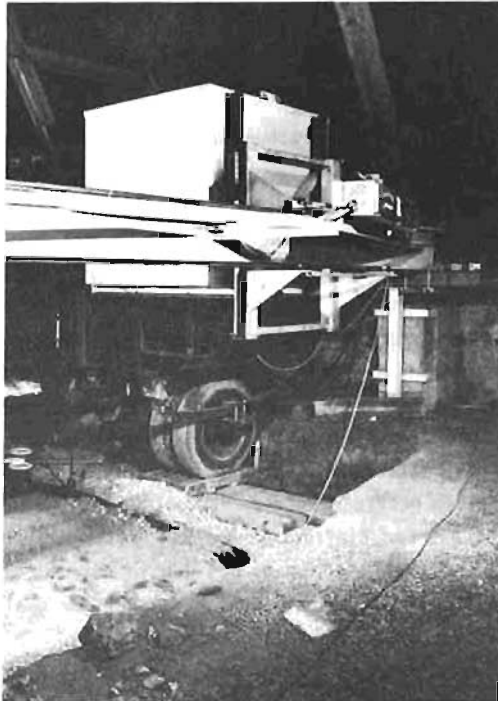


Bild 1: Belastungsmaschine; Blick auf die vertikale und horizontale Führung

3. Belastungseinrichtungen

Auf der Baustelle waren als Transportfahrzeuge Muldenkipper (Gesamtlast beladen: 60 t, leer: 30 t, Radlasten: 3 - 10 t), Dumper (Gesamtlast beladen: 50 t, leer: 25 t, Radlasten: 2 - 9 t) sowie verschiedene Sattelzüge und LKW's eingesetzt, die somit bei den Freifeldversuchsstrecken als Belastungsgeräte dienten und für große Walkarbeit und zyklische Belastungen des Systems Oberbau/Geotextil/Untergrund sorgten. Beim Einbau des Oberbaues auf den Baustraßen kamen Plattenrüttler und 10-t-Walzenzüge zum Einsatz, die den Straßenkörper vibrierend beanspruchten.

Die Belastungseinrichtung der überdachten Versuchsstrecke besteht aus einer Führungs- und Zugkonstruktion mit kontinuierlicher Höhenanpassung, an der ein Ballastkörper mit darunter befindlichem Fahrwerk im Dauerbetrieb hin- und herbewegt werden kann. Als Fahrwerk dienen Zwillingssreifen ($d = 95 \text{ cm}$, $b = 2 \times 15 \text{ cm}$, Betriebsdruck: 6 - 9 bar), deren Achse auf Blattfedern gelagert ist. Es sind auch Einzelradkonstruktionen und unterschiedliche Reifengrößen verwendet worden. Es können Belastungen bis zu 8 t aufgebracht werden, die bisherigen Versuche wurden meist mit 3 t gefahren.

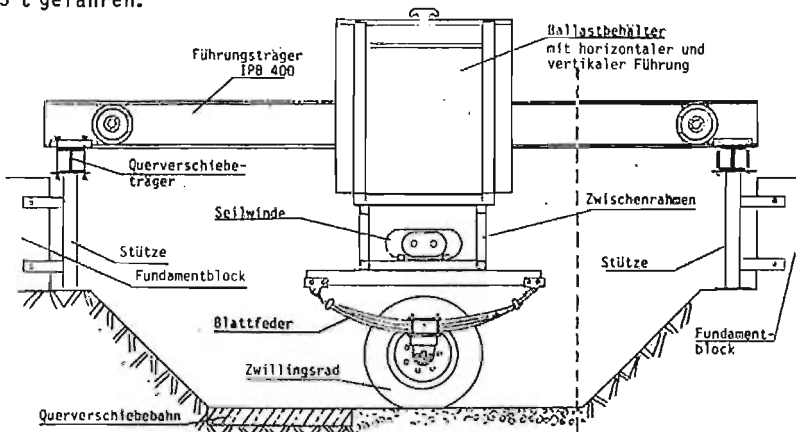


Bild 2: Skizze der Belastungseinrichtung

4. Beschreibung des Versuchsfeldes in der Halle und der verwendeten natürlichen Materialien

Als Versuchsfeld dient ein $8 \times 8 \text{ m}^2$ großer Bereich in einer Halle. Der dort anstehende Boden wurde bis zu einer Tiefe von 2 m ausgehoben und durch den Versuchsboden ersetzt. Hierbei handelt es sich um einen tonigen Schluff (geologische Bezeichnung: "Löß") der Gruppe TL nach DIN 18196 mit folgenden bodenmechanischen Kenngrößen:

Fließgrenze: $w_l = 30 \%$

Ausrollgrenze: $w_p = 20 \%$

Plastizitätszahl: $I_p = 10$

Proctordichte: $\rho_{pr} = 1.9 \text{ t/m}^3$ bei $w_{pr} = 13.5 \%$

Korndichte: $\rho_s = 2.73 \text{ t/m}^3$

Der Einbauwassergehalt sowie die Dichte werden variiert.

Als Oberbaumaterialien wurde rundkörniges und gebrochenes Material verwendet und mit verschiedenen Dicken eingebaut.

Bei dem rundkörnigen Material handelt es sich um sandige Kiese (GW) aus alten Flußablagerungen, die praktisch kohäsionslos sind.

Als gebrochenes Material wurde ein Dolomitschotter der Körnung 0 - 45 mm (Mineralbeton) verwendet.

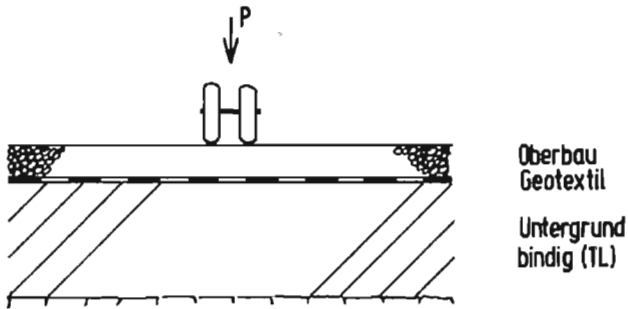


Bild 3: Schematischer Versuchsaufbau

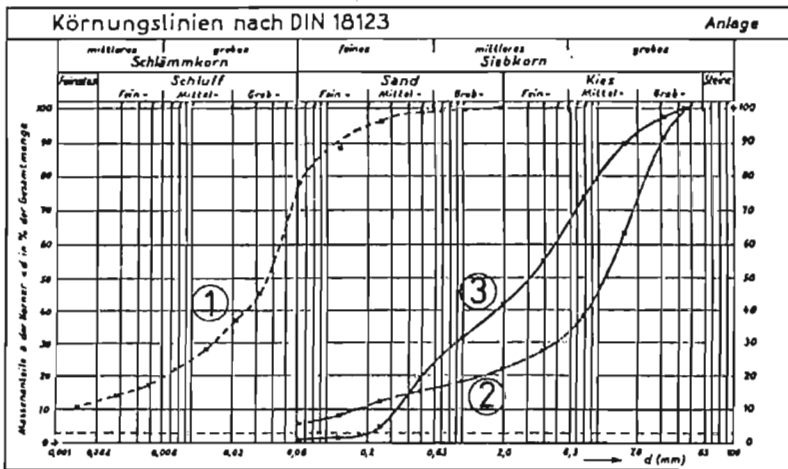


Bild 4: Körnungslinien der verwendeten natürlichen Materialien

1) Löss 2) Dolomit 3) Kies

6. Versuchsablauf

Der für den jeweiligen Versuch gewünschte Einbauzustand des Untergrundes (Konsistenzen von breiig bis steif) wird vor der Belastung durch Dichte- und Wassergehaltsmessungen, sowie durch Messungen mit einer Flügelsonde auf Gleichmäßigkeit kontrolliert. Ferner werden die üblichen Feldversuche (Lastplattenversuche, Sondierungen und CBR-Versuche) durchgeführt.

Die Schüttdicke des Oberbaues wird in Abstimmung mit den verwendeten Geotextilien und der Konsistenz des Untergrundes festgelegt, der Einbauzustand wird mit einer Isotopensonde und Plattendruckversuchen überprüft.

Die Einbauhöhe, sowie die jeweiligen Veränderungen werden bei jenen Versuchen durch Nivellements festgestellt, bei denen sich Deformationsmesser und Setzungspegel wegen zu großer Verformungen nicht eignen. Es werden in jedem Feld Querschnitte festgelegt, in denen, bezogen auf den Einbauzustand, die Veränderungen an den Geotextilien und an der Oberfläche des Untergrundes festgestellt bzw. gemessen werden können. Dies gilt für die Ausbauphase nach Abschluß des Versuches ebenso wie für die Zwischenaufgrabungen in Fahrpausen. Letztere müssen allerdings wegen der unvermeidlichen Störungen für den weiteren Versuchsablauf auf einzelne sporadische Eingriffe begrenzt bleiben.

Während der Fahrten wird die erforderliche Zugkraft des Wagens (Rollwiderstand) mit einer Meßdose festgestellt. Auftretende Bodendrucke werden soweit möglich mit Erddruckdosen an verschiedenen Höhen im Versuchsaufbau gemessen.

Geometrische Veränderungen der Spurrillenausbildung werden zusätzlich zu den Nivellements mit dem Benkelmannbalken verfolgt (siehe Bild 6).

Die plastischen Verformungen werden nach dem Aufgraben durch Ausmessen eines vor dem Versuch auf dem Geotextil aufgezeichneten 10-cm-Rasters dokumentiert.

Eine kontinuierliche Beobachtung des Verlaufes der elastischen und plastischen Verformungen der Geotextilien ist bisher mit Hilfe von Dehnmessvorrichtungen nur dann gelungen, wenn es sich um ein dehnsteifes Produkt handelte bzw. die Verformungen im möglichen Meßbereich blieben. Derartige Versuchsanordnungen werden im bevorstehenden Programmabschnitt des Forschungsvorhabens in verstärktem Maße eingesetzt.

Die Anzahl der möglichen Überfahrten richtet sich nach dem Versuchsaufbau, den auftretenden Verformungen und dem Zustand der Geotextilien.

Nach dem Versuch werden aus dem Oberbau direkt über dem Geotextil Proben entnommen und labormäßig untersucht. Außerdem werden Plattendruckversuche auf der Tragschicht vorgenommen, was jedoch nur bei geringen Spurrillentiefen möglich ist.

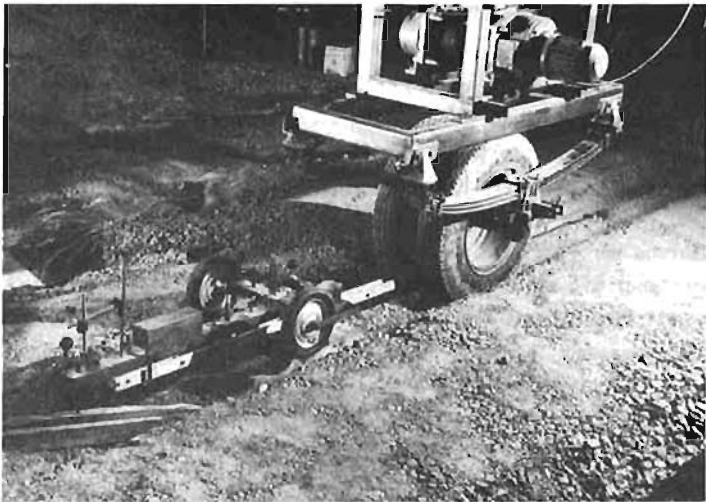


Bild 6: Beobachtung der Einsenkung (elastisch und plastisch) mittels Benkelmannbalken

Nach Versuchsende wird an den freigelegten Geotextilien zwischen belasteten und unbelasteten Bereichen unterschieden. Repräsentative Proben werden im Labor auf Veränderungen der wirksamen Öffnungsweite, der Durchlässigkeit, der Aufnahme von Bodenmaterial, des Zugdehnungsverhaltens bzw. der auftretenden Zerstörungen untersucht. Mikroskopische Aufnahmen begleiten die Versuche.

Der Untergrund wird bezüglich Wassergehalts- und Dichteveränderungen untersucht. Ferner werden Flügelsonden-, Penetrometer-, Lastplatten- und CBR-Versuche durchgeführt.

Im Labor werden die Korngrößenverteilungen am Oberbaumaterial nach den Fahrversuchen ermittelt. Anreicherungen von Feinanteilen direkt über dem Geotextil und Wassergehaltsbestimmungen des Oberbaumaterials sollen Veränderungen im Spurbereich aufzeigen. Die Wassergehalte im Untergrund werden durch Probenahmen unter dem Geotextil bestimmt.

7. Bisher gewonnene Erkenntnisse

Im folgenden kann gemäß dem derzeitigen Zwischenstand des laufenden Forschungsprogrammes schwerpunktmäßig nur über einige Untersuchungsergebnisse aus dem überdachten Versuchsfeld berichtet werden. Die Aussagen beziehen sich bezüglich des Oberbaues nur auf den Mineralbeton 0-45 aus gebrochenem Dolomitmaterial, da dies in der Mehrzahl zum Einsatz kam.

Die Versuche können in folgende Gruppen unterteilt werden:

- a) weicher Untergrund, 20 cm Oberbau
- b) steifer Untergrund, 40 cm Oberbau
- c) breifiger Untergrund, 30 cm Oberbau
- d) breifiger Untergrund, 50 cm Oberbau

(jeweils Variation der Geotextilien unter Einschaltung einer "Null"-Strecke)

zu a) weicher Untergrund, 20 cm Oberbau

Die durchgeführten Versuche können als Bezug zum Einbauzustand verstanden werden. Es sollten auch die Grenzen der Minimierung der Oberbaustärke gesucht werden.

Beobachtung während der Fahrt:

In der Spur ist eine große elastische vertikale Verformung festzustellen, die z.T. erst ca. 1.5 m hinter dem Rad abklingt. Eine quantitative Auswertung erfolgt mittels Videotechnik.

Mechanische Beanspruchung:

Als entscheidend für die Wirkungsweise eines Geotextils ist die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung anzusehen. Manche Geotextilien hielten nur sehr wenigen Überfahrten stand, bevor sie z.T. auf gesamte Länge gerissen sind. Im besonderen waren dies leichte thermisch und mechanisch verfestigte Vliese und ein leichter Verbundstoff, mit nahezu unwirksamer Zugeinlage. In solchen Fällen kann das Geotextil natürlich keine Trennfunktion mehr wahrnehmen. Es erfolgt eine starke Durchmischung von Untergrund und Oberbau - der Fahrweg wird bereits nach wenigen Übergängen unbrauchbar.

Bei manchen Geotextilien waren nach dem Ausbau vereinzelt Löcher in der Fahrspur zu erkennen. Insbesondere war dies bei mittleren thermisch verfestigten Vliesen und bei leichteren Geweben festzustellen. Bei den Geweben war auffallend, daß sich die Löcher teils nur durch ein Verschieben der Fäden ausbildeten, teils aber auch Kette und Schuß gerissen waren.

Bei thermisch verfestigten Vliesen zeigte sich ein starker Abrieb der oberen Schichten des Geotextils.

Verformungen des Untergrundes:

Es zeigt sich, daß bei geringen Dicken des aus kantigem Material beste-

henden Oberbaues sich schon bei einer geringen Anzahl von Überfahrten mehr oder weniger tiefe Spurrillen ausbilden (siehe Bild 7). Diese Spurrillen entstehen vor allem durch Deformationen des Untergrundes (= Eintiefung in der Spur und Aufwerfen eines Wulstes auf beiden Seiten). Die Tiefe der Spurrinne im Untergrund und die Steilheit der Flanken hängen vom verwendeten Geotextil ab. Zum Beispiel zeigt sich bei Geweben eine deutlich flachere Neigung der Flanken als bei Vliesen. Speziell leichtere Nadelvliese und thermisch verfestigte Vliese bringen vor einer Kraftaufnahme große Wege und liefern somit tiefe Rillen und steile Flanken. Bild 8 und 9 verdeutlichen den Verlauf von Spurrillen im Oberbau (Zwillingsreifen) und die Ausbildung der Spurrinne im Untergrund bei eingelegtem schwererem Nadelvlies (siehe auch Bild 10).

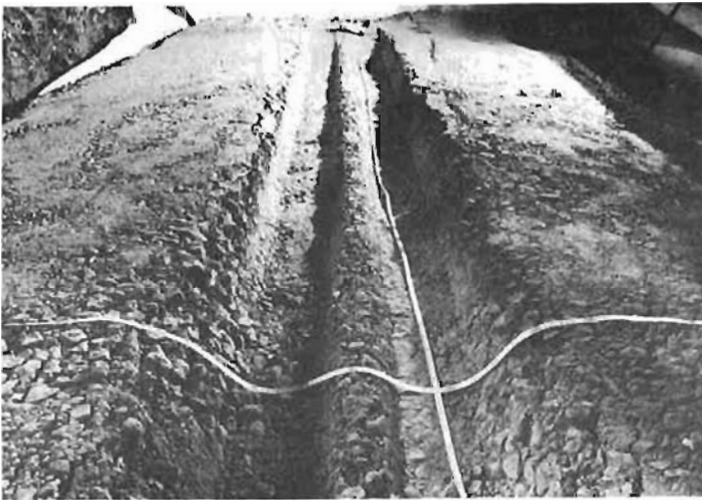


Bild 7: Ausbildung der Spurrille längs der Fahrspur, Oberfläche Dolomit

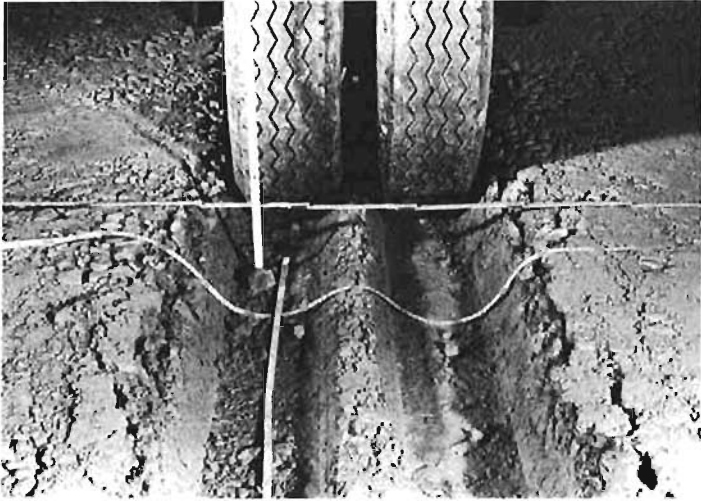


Bild 8: Beispiel einer Spurrille im Oberbau bei Verwendung eines mechanisch verfestigten Vlieses



Bild 9: Spurrille im Oberbau (Zwillingsreifen, Oberbau: Oolomit), Ausbildung der Spurrinne auf LÖB bei Verwendung eines mechanisch verfestigten Vlieses

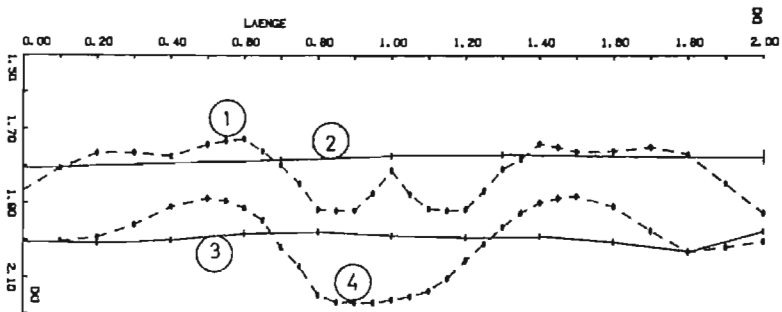


Bild 10: Beispiel einer Querschnittsaufnahme (verwendetes Geotextil: Nadelvlies)

- (1) OK Dolomit nach Versuch
- (2) OK Dolomit vor Versuch
- (3) OK LÖB vor Versuch
- (4) OK LÖB nach Versuch

Verformungen der Geotextilien:

Als plastische Verformungen wurden z.B. nach 200 Fahrten bei schwereren Nadelvliesen 10 - 15 %, bei einem Produkt bis 40 % festgestellt.

Die Einsenkungen des Untergrundes in der Mitte der Spurrinne sind größenordnungsmäßig den aufgetretenen Spurrillentiefen äquivalent. Die Geotextilien zeigten nach der Freilegung - soweit sie nicht zerstört waren - vielfach elastische Rückfederungen und damit Hohllagen gegenüber dem Untergrund.

Trennwirkung:

Bei den eingebauten mittleren Geweben war eine deutliche Feinteilwanderung durch das Geotextil nach oben festzustellen. Dies war besonders

auffallend in den Überlappungsbereichen von verschiedenartigen Geotextilien, bei denen sich das durchgetretene Feinmaterial an der Unterseite des darüberliegenden Vlieses angesammelt hatte.

In Geweben waren nur relativ geringe Einlagerungen zwischen Kett- und Schußfäden möglich.

Bei einigen Vliesstoffen mit besonders homogener Struktur und meist größerer Dicke war im unteren Teil ein Horizont (ca. 1-2 mm) mit eingelagertem Feinmaterial zu erkennen. Darüber waren die Geotextilien in der Regel sauber. Diese Geotextilien zeigen deutliche Sperrwirkung und im Grenzbereich zum Untergrund Filterkuchenbildung.

Bei dünnen Vliesen war ein relativ starker Feinteiltransport z.T. auch bei Einbau von 3 Lagen festzustellen. Zwischen den Lagen war keine Materialansammlung zu beobachten, der Aufbau eines Filters ist hier nur im Gesamtsystem Untergrund - Geotextil -Oberbau möglich.

zu b) steifer Untergrund, 40 cm Oberbau

Bei steifem Untergrund und 40 cm Oberbau konnten selbst nach 300 Überfahrten keine entscheidenden Verformungen auf den mit verschiedenen Geotextilien bestückten Teilstrecken festgestellt werden. Es war kein Unterschied zwischen Geweben, Vliesen und einem Abschnitt ohne Geotextil (sog. "Nullstrecke") zu erkennen.

zu c) breiiger Untergrund, 30 cm Oberbau

Der Schichtaufbau mit 30 cm Mineralbeton und breiigem Untergrund war auch mit schweren Geotextilien nicht tragfähig. Schon nach 3-4 Überfahrten stellte sich eine bis zu 20 cm tiefe Spurrille ein, die ständig tiefer wurde. Der Versuch mußte abgebrochen werden.

zu d) breiiger Untergrund, 50 cm Oberbau

Der Aufbau mit 50 cm Einbaudicke des Mineralbetons hielt der aufgetragenen Beanspruchung stand. Nach 1000 Überfahrten hat sich eine Spurrinne ausgebildet, in der sich freies Wasser über dem Geotextil angesammelt hatte, welches beim Konsolidierungsprozess in der Spur aus dem Löß ausgepreßt wurde. Die bislang getesteten Geotextilien (schwerere Nadelvliese und Gewebe) hielten der Beanspruchung ohne Beschädigung stand - keine erkennbare Perforation.

Bei einem schwereren thermisch verfestigten Vlies waren deutliche Steinabdrücke und vereinzelt ausgedünnte bis gerissene Stellen zu erkennen. Die Oberfläche war teils abgerieben.

8. Erkenntnisstand

Endgültige qualitative Aussagen sind derzeit wegen der noch in entscheidenden Phasen laufenden Forschungsarbeiten, deren Fortgang durch die z. T. überraschenden Erkenntnisse bezüglich der mitunter mangelhaften Widerstandsfähigkeit von Geotextilien gegen intensive mechanische Beanspruchungen verzögert wurde, nicht möglich. Es zeichnen sich jedoch deutliche Trends ab, die erwarten lassen, daß man Bemessungsansätze für den gezielten Einsatz von Geotextilien sowie für die Optimierung von Verkehrswegebauten je nach Anforderung finden wird. Das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten von Geotextilien erweist sich je nach Oberbauart, Beanspruchung und Untergrundverhältnissen als außerordentlich breit gestreut und kann nur durch differenzierte Parameterstudien geordnet werden.

Die jeweiligen Ausgangsbedingungen und Anforderungskriterien müssen genau erfaßt werden, wobei es vor allem darum geht, die zeitlichen Entwicklungen und Beanspruchungen des Geotextils vom Einbau bis zur

Dauerbelastung einschließlich der dabei entstehenden Veränderungen in Untergrund und Oberbau möglichst lückenlos zu beschreiben.

Bei Verkehrswegen mit ungebundenen Tragschichten ist deren Zusammensetzung vor allem bezüglich der Korngrößenverteilung, Kornform und kohäsiven Bindung von besonderer Bedeutung für die Funktion des Geotextils. Die großmaßstäblichen Untersuchungen sollen deshalb in weiteren Abschnitten auch auf schwach gebundene Tragschichten erweitert werden, um einer Optimierung der Bemessung des Gesamtsystems unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Rechnung zu tragen. Die Aufstellung von neuen Kategorien bezüglich der Anforderungen an Verkehrswege auf schlechtem Untergrund ist deshalb erforderlich.

Bezüglich der Eignung von Geotextiltypen bei ungebundenen Tragschichten ist aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse folgendes anzumerken:

8.1 Nadelvliese

Je nach Herstellungsart erweisen sich diese Stoffe als grundsätzlich geeignet. Sie führen jedoch bei besonders weichem Untergrund wegen ihrer hohen Dehnbarkeit zu erheblichen Einsenkungen mit der Folge von Nachbesserungsarbeiten. In einzelnen Fällen kann die zu strenge Ausrichtung auf filtertechnische Sperrbedingungen zu Filterkuchenbildung (z. B. auch bei Vibrationsverdichtung im Oberbau) unter der Geotextillage führen, was eine verminderte Scherkraftübertragung (stark geneigtes Planum!) zur Folge haben kann. Auch bei offeneren Strukturen wird eine ähnliche Schicht angetroffen, die auf den Beginn einer Konsolidierung des Untergrundes durch Wasserabzug in den Oberbau hindeutet. Die Auswirkungen können nur im Einzelfall bewertet werden. Die Verletzbarkeit ist bei kantigem Oberbaumaterial solange unbedenklich, wie sich dessen Korngerüst kinematisch stabilisieren kann. Ist dies nicht der Fall, so ergeben sich an den durchlöcherten bzw. überdehnten Stellen auch auf Dauer

gesehen Durchtrittsmöglichkeiten für das Feinmaterial aus dem Untergrund infolge ständiger aufweitender Grobkornbewegung. Die Filter- und Trennwirkung ist nicht von vornherein gesichert. Je nach Herstellungsweise der Nadelvliese ergeben sich unterschiedliche Effekte. Herstellungsweise, Struktur und Rohstoff der Nadelvliese sind von Einfluß auf die Wahl der Dicke des Geotextils insbesondere bei intensiver dynamischer Beanspruchung.

8.2 Thermisch verfestigte Vliese

Es gilt bezüglich der allgemeinen Anwendungen für thermisch verfestigte Vliese ähnliches wie sinngemäß unter Pkt. 8.1 angeführt. Vergleichsweise besitzen die thermisch gebundenen Vliese jedoch eine größere Dehnsteifigkeit, was sich günstig auswirkt, solange nicht durch zu große Deformationen die Bruchgrenze erreicht wird. Dies ist allerdings bei sehr schlechtem Untergrund und zu geringer Oberbaudicke rasch der Fall. Außerdem sind die relativ schwachen und spröden Bindungspunkte der Fäden anfällig gegenüber intensiver Reibbeanspruchung, wie sie bei ungebundenen Tragschichten zu geringer Dicke auftritt. Dem kann durch Wahl einer dickeren Qualität entgegengewirkt werden, was sich auch filtertechnisch als vorteilhaft erweist.

8.3 Gewebe

Bisher wurden nur relativ preiswerte Bändchen- und Spleißgarngewebe aus dem Marktangebot untersucht. Gewebe zeigen deutlich den Vorteil einer hohen Zugkraftaufnahme bei geringen Dehnungen und beeinflussen deshalb von vornherein das Zusammenspiel im Gesamtsystem günstig. Bei den Geweben sollte man sich allerdings in Anbetracht der sehr unterschiedlichen Produkte vor einer Verallgemeinerung des Gesamtbegriffes im Geotextilsektor hüten. Leicht verschiebbliche Gewebe neigen dazu, ohne Bildung von

durchgehenden Rissen in Kett- oder Schußrichtung eindringenden Bodenpartikeln durch Ausweichen nachzugeben, wobei vielfach die Beschädigungen nach Art und Umfang begrenzt bleiben. Die Trennfunktion ist demnach zusammen mit der deutlichen Verbesserung der tragfähigkeitserhöhenden Wirkung von vornherein gegenüber Vliesstoffen nicht vollständig abzuqualifizieren, wenn auch von keiner eigenständigen Filterwirkung im strengen Sinne gesprochen werden kann. (Dies ist allerdings bei den Geotextilien vom Dehnungs- und Verletzungsgrad abhängig.) Bei intensiven Beanspruchungen ergeben sich jedoch sehr rasch Grenzen bezüglich der Widerstandsfähigkeit bei allzu leichten Geweben. Man sollte das Augenmerk im Anwendungsbereich auf zumindest mittlere Qualitäten richten.

8.4 Verbundstoffe

Die Kombination von filterwirksamen Vliesstoffen mit zugfesten Einlagen (Gewebe, Gitter) erscheint bei besonders hohen Anforderungen an die Geotextilien wegen der in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Vor- und Nachteile als günstigste Lösung. Derartige Stoffe wurden in den bisherigen Versuchsreihen z. T. als Spezialanfertigungen mit besonders gutem Erfolg eingesetzt. (Allerdings können Produkte mit einer ganz schwachen gitterartigen Einlage nicht dazugezählt werden.) Gute Filterwirkung von Nadelvliesen bei nicht allzu strenger Auslegung der Sperrbedingung und hoher Dehnsteifigkeit des zwischenliegenden Gewebes sorgen auch bei intensiver Beanspruchung sowohl für eine sichere Trennwirkung als auch für eine deutliche Verbesserung der Tragfähigkeit.

9. Zusammenfassende Beurteilung

Aus den bisherigen Untersuchungen ergaben sich wesentliche Unterschiede im Verhalten der Geotextiltypen und -fabrikate bei intensiver Verkehrsbeanspruchung. Die Filter- und Trennwirkung kann nicht allgemein nach

schematischen Regeln beurteilt werden, sondern hängt von zahlreichen Parametern ab, die im einzelnen noch bezüglich ihrer Bedeutung näher untersucht werden müssen. Neben dem Geotextiltyp und der Beschaffenheit des Untergrundes hat die Zusammensetzung und die Konstruktion des Oberbaus, vornehmlich aber dessen Dicke (dies insbesondere bei nicht kohäsiven Tragschichten) entscheidenden Einfluß auf die Brauchbarkeit des Fahrweges. Zu geringe Oberbaustärken können bei schlechten Untergrundverhältnissen auch durch schwerere Geotextilien nicht ausgeglichen werden. Aus den weiteren Untersuchungen werden Auswahlkriterien und Bemessungsansätze erwartet. Dabei dürfte es für die Zukunft vor allem darauf ankommen, die komplexen Vorgänge in den zeitlichen Entwicklungsphasen des Zusammenwirkens von Untergrund, Geotextil und Oberbau von der Herstellung bis zur Dauernutzung des Fahrweges näher beurteilen zu können.

A. BAUER, H. PREISSNER

STABILITÄTSUNTERSUCHUNGEN AM GEOTEXTILBEWEHRTEM ZWEISCHICHTENSYSTEM

Geotextilien werden seit vielen Jahren erfolgreich als trennendes und bewehrendes Glied in der Grenze zwischen Tragschichten (aus rolligem Material) und einem darunter anstehenden weichen Untergrund eingebaut.

Anhand von Modellversuchen wird die Wirkung einer geotextilen Bewehrung auf das Trag- bzw. Verformungsverhalten eines bewehrten Zweischichtensystems untersucht.

Für die rechnerische Behandlung des Stabilitätsproblems wird ein kombinierter Ansatz mit getrennter Berücksichtigung von Membrantragwirkung und bewehrungsbedingter Schubkraftabtragung vorgeschlagen.

1 EINLEITUNG

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens werden seit Ende 1984 das Trag- und Verformungsverhalten des einfach bewehrten Zweischichtensystems untersucht. Schwerpunkte der bisherigen Arbeit waren dabei

- (a) Durchführung von Modellversuchen an einem Teilsystem im Bereich unterhalb der Last, hier als Tragschichtmodell bezeichnet;
- (b) Anwendung der kinematischen Elemente-Methode (nach Gussmann) auf das Stabilitätsproblem des bewehrten und unbewehrten Zweischichtensystems.

Im Rahmen des vorliegenden Berichtes werden die ersten Ergebnisse der Tragschichtmodellversuche und die daraus abzuleitenden Tendenzen für die analytische Untersuchung mitgeteilt.

2 TRAGSCHICHTMODELLVERSUCHE

2.1 Versuchsaufbau

Zum Zwecke der Analyse des Trag- und Verformungsverhaltens der geotextilbewehrten Tragschicht auf weichem Untergrund wurden Modellversuche ausgeführt.

Das Modell wurde als ebener Verzerrungszustand aufgebaut und mit Meßeinrichtungen für Spannungsmessung (pneumatische Kraftmeßdosen), Dehnungsmessung am Geotextil (Dehnungsmeßstreifen), Porenwasserdruckmessung und Verformungsmessung ausgestattet.

Versuchsaufbau des Tragschichtmodelles

Versuchskastenabmessungen	1,0 x 0,5 x 0,5 m
Belastungsbalkenbreite	0,20 m
Mächtigkeit des weichen Untergrundes	0,30 m
Tragschichtdicke	0,05 - 0,15 m
Anzahl der Kraftmeßdosen (System Glötzl)	20 St
Anzahl der Dehnungsmeßstreifen (System Hottinger)	5 St
Anzahl der Porenwasserdruckgeber (System Sensym)	2 St
Anzahl der Verformungsgeber	5 St

Zwischen Glasscheibe und Boden wurden Streifen aus Paragummi, welche mit Schmierseife eingestrichen wurden, zur Ausschaltung von Randreibungseinflüssen eingebaut.

2.2 Untergrund und Tragschicht

Als Untergrund kam ein mittelplastischer Seeton (Ziegeleiton) quartären Ursprungs aus dem Rosenheimer Becken zum Einsatz. Für jeden einzelnen Versuch wurde die Konsistenz (weich bis steif) des Bodenmaterials er-

neut aufbereitet. Bei Versuchseinbau und nach Versuchsende wurden Wassergehalt und undrainierte Kohäsion (Flügelsondenversuch) bestimmt.

Die Tragschicht bestand entweder aus Mittelsand oder einem Splittmaterial. Die Einbaudichte war jeweils mitteldicht.

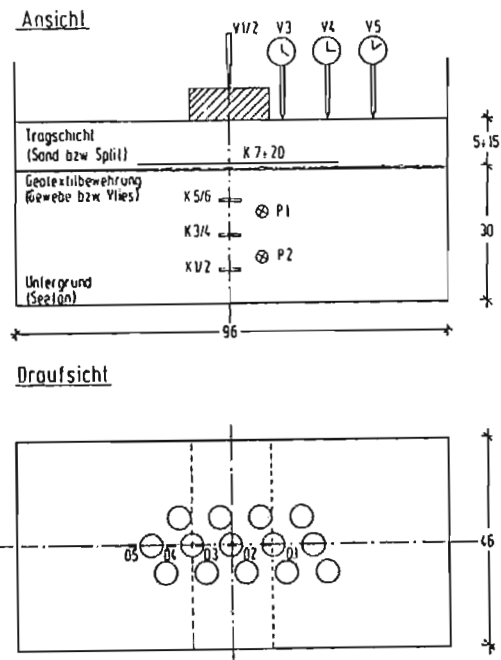


Bild 1: Versuchsaufbau (Tragschichtmodell)

K = Kraftmeßdosen
 D = Dehnmeßstreifen
 P = Porenwasserdruckgeber
 V = Verformungsgeber

Kenngrößen der Böden von Untergrund und Tragschicht

Untergrund:

Wichte	18	kN/m ³
Feinstkornanteil	30 - 50	%
Schlammkornanteil	90 - 100	%
natürlicher Wassergehalt	30 - 35	%
Fließgrenze	30 - 45	%
Plastizitätszahl	10 - 20	%
Konsistenzzahl	ca. 0,5	
Kohäsion (Laborflügelsonde)	10	kN/m ²
(Rahmenscherversuch)	7,5	kN/m ²
Reibungswinkel (Rahmenscherversuch)		
- drainiert	18	Grad
- undrainiert (rechn. Anfangswert)	5	Grad
- undrainiert (rechn. Endwert)	12,5	Grad
Steifemodul (Oedometer)	0,3 - 1,0	MN/m ²

Tragschicht:	Mittel- sand	Split	
Wichte	19	19	kN/cm ³
Schlammkornanteil	11,5	0	%
Sandkornanteil	88,5	57	%
Kieskornanteil (30 - 40 mm)	0	43	%
Einbaudichte	0,35	0,30	
Reibungswinkel	32,5	35	Grad

2.3 Geotextile Bewehrungseinlage

Als bewehrende Einlagen wurde eine leichte Gewebematte bzw. ein thermisch verfestigtes Vlies verwendet.

Geotextil-Daten

Art/Polymer	Gewebe/ PES	Vlies/PES/ thermisch verfestigt
Flächengewicht	240	140 g/m ²
Dicke	0,5	0,9 mm
Anfangssteifigkeit	350	27 kN/m
Zugfestigkeit	140	70 kN/m
Bruchdehnung	20	53,7 %
Reibungsbeiwert	0,8	0,9
Kohäsionsbeiwert	0,6	0,7

2.4 Belastung

Die Last wird über einen Balken in Lastschritten von 4 kN/m² mit Hilfe eines elektronisch gesteuerten Hydraulikstempels (kraftgesteuert) aufgebracht. Um eine Abhängigkeit der Konsolidationsverformungen von der Zeit auszuschließen, wurde der Zeitraum zwischen den Laststeigerungen mit sechs Stunden konstant festgelegt.

3 VERSUCHSERGEBNISSE

3.1 Verformungsverhalten

Bei der oben genannten Art der Lastaufbringung traten plastische Verformungen primär als Konsolidationssetzungen auf. Zwischen den Porenwasserdrücken und den plastischen Verformungen wurde ein proportionaler Zusammenhang festgestellt (Bilder 2 und 3).

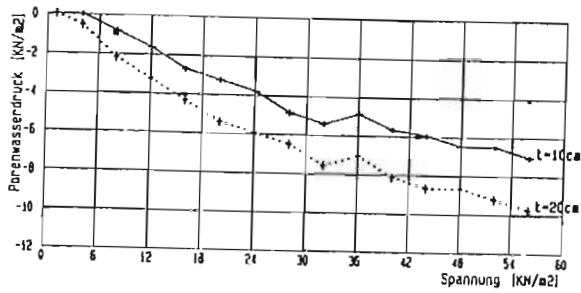


Bild 2: Verlauf der Porenwasserüberdrücke als Funktion der Belastung
 t = Tiefe unterhalb der Schichtgrenze

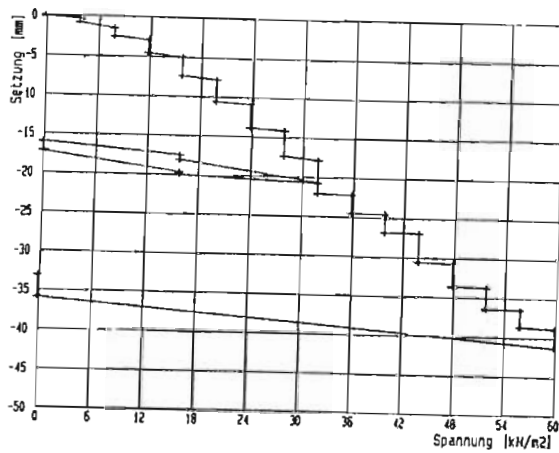


Bild 3: Last-Verformungsverlauf

Verformungsanteile	Versuch mit $h_t = 10 \text{ cm}$		
	ohne Bew.	Gewebe	Vlies
Gesamtverformung (mm)	51,0	41,2	49,6
Konsolidations- setzung (mm)	47,0	33,5	42,6
Anteil (%)	92,2	81,3	85,9
Elastische Verformung (mm)	4,0	7,7	7,0
Anteil (%)	7,8	18,6	14,1

Die elastischen Verformungen bei Maximallast entsprechen dem Gesamtbeitrag der Hebungen (siehe Bild 3) nach der Entlastung. Die elastischen Verformungen sind proportional zum Betrag der Belastung.

Bei den bruchbedingten elastoplastischen bzw. plastischen Verformungen ist von Fließerscheinungen des Systems auszugehen, die eine Kraftumlagerung von überbelasteten Bereichen auf die Bewehrung bzw. auf wenig belastete Bereiche des Untergrundes bewirken. Derartige plastische Verformungen traten bei den Laststufen der bisherigen Versuche nicht auf.

3.2 Spannungszustände

Trotz einer erwarteten Entlastung des Untergrundes infolge Membrantragwirkung weisen die Spannungsgeber bei Verwendung von Bewehrungen eine Erhöhung der Spannungen unterhalb des Lastbalkens aus. Dies deutet darauf hin, daß durch eine geotextile Bewehrung Kraftumlagerungen induziert werden. Die Spannungserhöhung infolge Kraftumlagerung ist dabei größer als die Spannungsreduktion aus Membrantragwirkung (Bild 4a und 4b).

Die Setzung ist bei bewehrten Systemen nur bei Verwendung steifer Membranen reduziert (Bild 5). Setzungsminderungen infolge reduzierter Spannungen in weichem Untergrund zeigen sich bei Erhöhung der Tragschicht.

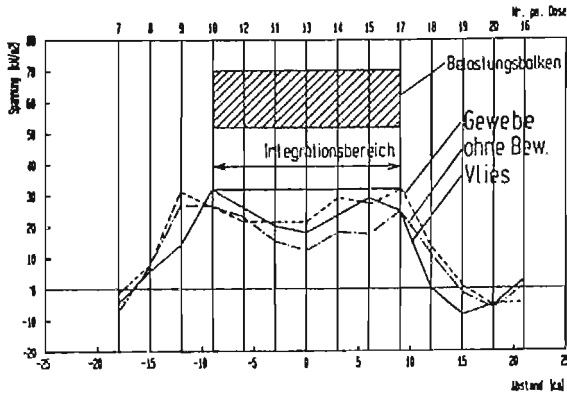


Bild 4a: Spannungsverlauf als Funktion der Geometrie (horizontal)

Spannungsintegrale (horizontal)

Erhöhungsfaktor $f = \int \sigma_i \text{ (bew.)} / \int \sigma_i \text{ (unbew.)}$

Integral der Spannungen im Lastbereich (kN/m) (horizontal)	Versuche mit $h_t = 15 \text{ cm}$		
	ohne Bew.	Gewebe	Vlies
Laststufe 12	0,74	1,00	0,61
Faktor	1,0	1,36	0,83
Laststufe 24	1,87	2,66	2,56
Faktor	1,0	1,42	1,37
Laststufe 48	3,24	4,42	4,19
Faktor	1,0	1,36	1,29

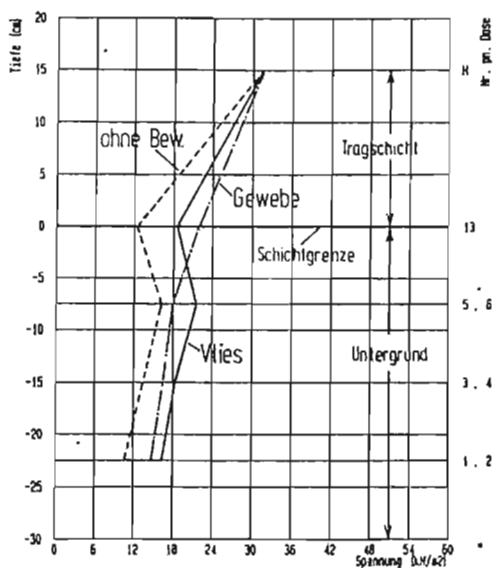


Bild 4b: Spannungsverläufe (vertikal)

Spannungsintegrale (vertikal)

Integral der Spannungen im Lastbereich (kN/m) (vertikal)	Versuche mit $h_t = 15 \text{ cm}$		
	ohne Bew.	Gewebe	Vlies
Laststufe 12	0,61	0,94	0,74
Faktor	1,0	1,54	1,21
Laststufe 24	1,72	2,54	2,91
Faktor	1,0	1,47	1,69
Laststufe 48	3,06	3,75	4,24
Faktor	1,0	1,23	1,38

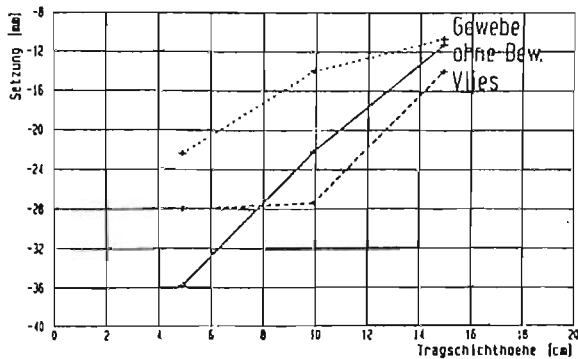


Bild 5: Verformungen bei Laststufe 24 kN/m^2

3.3 Geotextildehnungen

In den o. g. Betrachtungen zum Setzungsverhalten wurde aufgezeigt, daß nach Entlastung elastische Hebungen mit einer Größenordnung von 10 - 20 % und somit bleibende Verformungen von 80 - 90 % auftraten. Die Geotextildehnungen (Geotextilzugkräfte) gingen im Zuge der Entlastung beim Gewebe um 40 % und beim Vlies um 60 % zurück. Dies zeigt, daß sowohl vom Gewebe als auch vom Vlies Schubkräfte aus Tragschicht und Untergrund übernommen werden.

Verformungsanteile (%)	Versuche mit $h_t = 15 \text{ cm}$	
	Vlies	Gewebe
Verformungsbedingter Anteil	14,3	42,7
Schubkraftbedingter Anteil	85,7	57,3

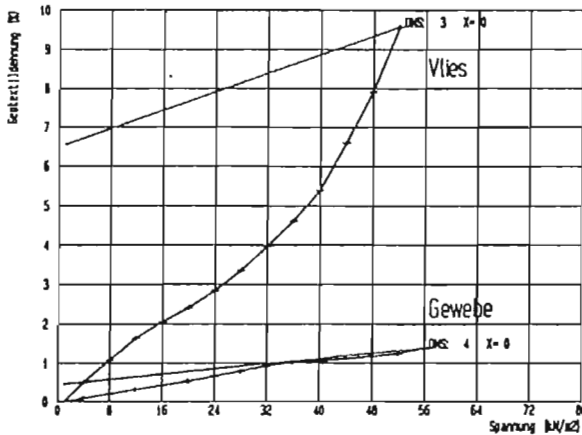


Bild 6: Geotextil deformierungen als Funktion der Belastung

3.4 Tragschichtbruch

Beim Bruch einer bewehrten Tragschicht auf weichem Untergrund handelt es sich um einen Einsinkbruch. Auch nach Erreichen der Grenztragfähigkeit des Untergrundes sind noch weitere Laststeigerungen bei entsprechendem Einsinken möglich. Der Bruch verläuft bei bewehrten Systemen in drei Stufen.

Stufe 1: Bruch der Tragschicht

Stufe 2: Erreichen der Grenztragfähigkeit des Untergrundes

Stufe 3: Einsinken bis zum Bruch der geotextilen Bewehrung

Im Rahmen der hier beschriebenen Versuchsserie wurden bei der gewählten Systemgeometrie aus konstruktiven Gründen keine Brüche der Stufe 2 realisiert (erforderliche Einsenkung $\cong 70$ mm, erforderliche Belastung > 85 kN/m²).

Detailliert studiert werden konnten Grenzlast und Bruchgeometrie bei Bruchstufe 1 "Tragschichtbruch".

Aus der nach Versuchsabschluß eingemessenen Geometrie der Schichtgrenze ergab sich, daß bei unbewehrten Systemen generell ein Durchstanzversagen stattfand, nicht jedoch bei bewehrten Systemen (Bild 7).

Die Grenzlasten des Tragschichtversagens sind aus dem Verlauf der Verformungsgeschwindigkeiten bzw. den Spannungsverläufen erkennbar. Bezüglich der Höhe dieser Grenzlast konnte eine weitgehende Übereinstimmung für unbewehrte und bewehrte Systeme festgestellt werden (Bild 8).

Wie oben erwähnt, erfolgt der Bruch in zwei Stufen bei unbewehrten Systemen bzw. drei Stufen bei bewehrten Systemen. Für die rechnerische Behandlung ist eine eindeutige Festlegung des "Bruchpunktes" nötig. Es wird deshalb in den nachfolgenden rechnerischen Untersuchungen der Bruch mit dem Versagen der Stufe 2 gleichgesetzt.

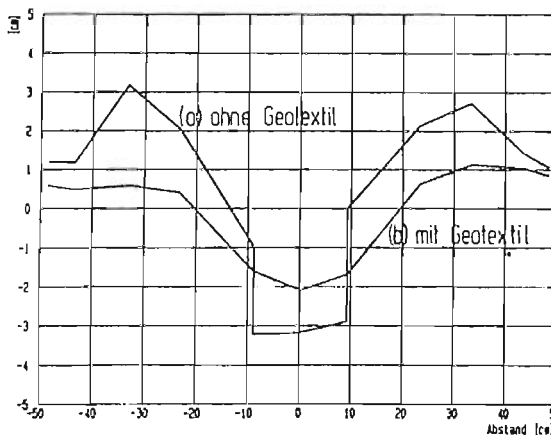


Bild 7: Verformung nach Versuchsende, in der Schichtgrenze gemessen

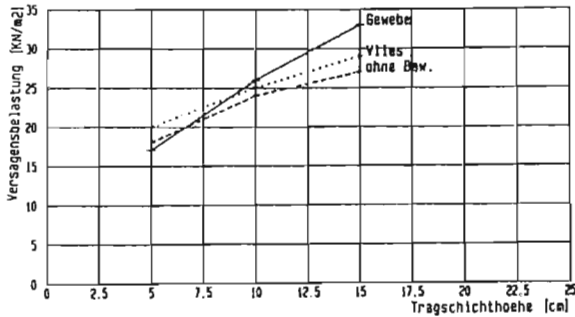


Bild 8: Belastungen beim Versagen der Tragschicht

4 RECHNERISCHE BEHANDLUNG DER AUFGABENSTELLUNG

Für die rechnerische Untersuchung des Standsicherheitsproblems erweisen sich Verfahren, welche Kräftegleichgewicht und Plastizitätsbedingung erfüllen, wie z. B. die FE-Methode, als wenig geeignet, da die Ausbildung von Bruchflächen nicht berücksichtigt wird. Bei mehrstufigen Bruchvorgängen ist dies kritisch.

Es müssen deshalb kinematische Modellansätze gefunden werden sowohl zur Beschreibung der Membrantragwirkung als auch für die Traglaststeigerung aus geotextiler Schubkraftübernahme.

Zur Beschreibung der veränderten Kraftabtragung des Systems im Bruchzustand erweist sich ein Starrkörpermodell im Sinne der Kinematischen Element-Methode (KEM nach Gussmann (1)) als zweckmäßig. Um die setzungsbedingte Tragwirkung zu beschreiben, kann ein geometrisches Membranmodell verwendet werden.

Der Bruchzustand des geotextilbewehrten Zweischichtensystems kann somit durch ein kinematisches Elemente-Modell mit integrierter Membran be-

schrrieben werden. Zur Veranschaulichung der Größenordnung der Einzeltragwirkungen aus Schubkraftübernahme bzw. Membranwirkung werden diese im Folgenden zunächst getrennt untersucht.

4.1 Tragwirkung durch Schubkraftübernahme der Bewehrung

Analog dem seit Ende des 18. Jahrhunderts bekannten Starrkörperverfahren nach Coulomb wird durch die Kinematische Elemente-Methode ein Verfahren zur Behandlung bodenmechanischer Stabilitätsfälle bereitgestellt.

Für ein aufgestelltes Elemente-Modell wird der Verschiebungszustand (Relativverschiebungen der Elemente zueinander bzw. Absolutverschiebungen der Elemente) und der Kräftezustand bei vorgegebener Verschiebung des belasteten Elements bestimmt.

Dabei gilt für die Kinematik, daß die Vektorsumme der Relativverschiebungen an einem inneren Elementknoten gleich 0 ist.

In der Statik, welche die sog. Zielfunktion in Form der äußeren Kraft bestimmt, wird für jedes Element das Gleichgewicht der Kräfte in horizontaler und vertikaler Richtung erfüllt. Der Verschiebungszustand wird dabei über das Vorzeichen der Kohäsions- bzw. Reibungskräfte berücksichtigt.

Unter Anwendung eines geeigneten mathematischen Optimierungsverfahrens (z. B. Gradientenmethode, Evolutionsstrategie oder komplexe Strategie) wird durch Veränderung der Lage der Knotenpunkte das kritische System gefunden, welches den Bruch bei minimaler Arbeit (minimaler aufgebrachter äußerer Kraft) herbeiführt.

Zur Berücksichtigung der Wirkung der Bewehrung wird die Annahme zugrunde gelegt, daß sich das Geotextil gegenüber den angrenzenden, sich im Bruchzustand verschiebenden Bodenteilen in einer relativen Ruhe befindet. Diese Annahme setzt eine Mindeststeifigkeit der geotextilen Bewehrung voraus.

rungslage in Abhängigkeit von der Bodensteifigkeit voraus, welche z. B. durch FEM-Berechnungen gesondert festzulegen ist.

Wie erwähnt, basiert das Verfahren der Kinematischen Elemente auf der Annahme von Starrkörpern, an deren Ränder für den jeweiligen kinematischen Zustand die Normal- und Scherkräfte bestimmt werden. Die Plastizitätsbedingung für das Innere der Elemente wird zunächst nicht berücksichtigt. Bei Systemen mit stark unterschiedlicher Festigkeit der Bodenschichten erweist sich jedoch, insbesondere für die "aktiven" Elemente unter der Last, die Einhaltung der Plastizitätsbedingung als notwendig. Um dies zu erfüllen, sind die inneren Spannungen und Hauptspannungen zu errechnen und die Mohr/Coulomb'sche Fließbedingung nachzuweisen.

Ohne Berücksichtigung der Verformungen in der Schichtgrenze werden bei Verwendung dieser Methode die in Bild 10 angegebenen Tragfähigkeitsanteile erzielt. Die Werte liegen infolge der Annahme einer nichtverformten Schichtfuge auf der unsicheren Seite. Untersuchungen an verformten Systemen werden durchgeführt.

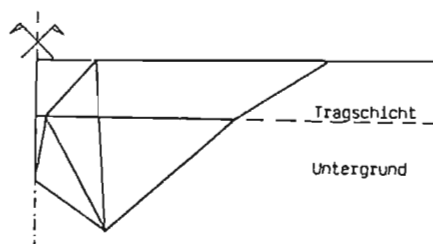


Bild 9: Kritische Geometrie eines unbewehrten Systems

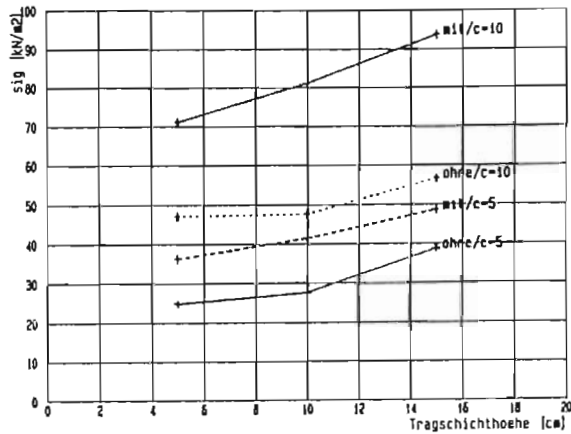


Bild 10: Grenzbelastbarkeiten unbewehrter und bewehrter Systeme unter Berücksichtigung veränderter Lastabtragungsbedingungen

4.2 Membrantragwirkung

Zur Untersuchung der Tragwirkung infolge Vertikalverformungen bietet sich ein geometrischer Membranansatz an. Die Verformungsfigur des Bruchsystems ist dabei zunächst unbekannt. Das System fließt in einen Zustand, bei dem die Summe der Tragwirkungen von Membran und Untergrund ein Minimum ist.

Bei der Behandlung dieses Vorgangs ist die Geometrie des Tragschichtbruchs (1. Versagensstufe) relevant. Um diesbezüglich geometrische Aussagen ableiten zu können, kann davon ausgegangen werden, daß sich unter der Last ein aktiver Druckkörper (Verdichtungskeil) ausbildet, dessen Berandungen bei bewehrten Systemen etwa unter $\alpha_a = 45 + \phi/2$ geneigt sind. Allgemein wird die Geometrie des passiven Elementes, welches im Bruch die Eintragung von Vertikalkräften auf den Untergrund begrenzt, so ermittelt, daß die Vektorsumme der Randkraft am Geotextil

und des Erdwiderstandes der Tragschicht mit der aktiven Kraft im Gleichgewicht stehen.

Bei großen Systemverformungen stellt sich die Lastabtragung in vielen Fällen (für $\alpha'_{a1} > \alpha_p$) so ein, daß die gesamte aktive Kraft über die Randkraft am Geotextil abgetragen wird, und der Vektor des Erdwiderstandes 0 wird.

Für diese Fälle (a) und (b) ist die Richtung der Begrenzung des passiven Elementes parallel zur maßgeblichen Kraftrichtung.

$$\text{- Fall (a)} \quad \alpha_p < \alpha'_{a1} < \alpha_{gn} \rightarrow \alpha_{gr} = \alpha_{a1} \quad (1)$$

$$\text{- Fall (b)} \quad \alpha'_{a1} > \alpha_{gn} \rightarrow \alpha_{gr} = \alpha_{gn} \quad (2)$$

$$\text{mit:} \quad \alpha_p = \alpha_g + 90 - \phi \quad (3)$$

$$\alpha'_{a1} = \alpha_{a1} + 180$$

$$\alpha_{gn} = \alpha_g + 90$$

Für die Betrachtung der Grenzmembrantragwirkung folgt, daß die Muldenbreite b' , welche das Minimum aus Untergrundtragkraft und Geotextilmembrankraft liefert, gleich der Lastabtragungsbreite der Tragschicht im Bruchzustand

$$b_t = b_0 + 2 \cdot h_t \cdot \cot \alpha_{gr} \quad (4)$$

sein muß.

Für die Verformungsfunktion wird eine quadratische Form zugrunde gelegt. Der Verzerrungszustand der Membrane ergibt sich damit wie folgt:

$$\epsilon = \frac{\bar{b} - b'}{b'} \quad (5)$$

mit

$$\bar{b} = 2 \cdot s \cdot \sqrt{\frac{b'}{4 \cdot s} + 1} + \frac{b'^2}{8 \cdot s} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot s}{b'} + \sqrt{\left(\frac{4 \cdot s}{b'}\right)^2 + 1}\right) \quad (6)$$

Für einen Neigungswinkel der Zugkraft im Wendepunkt von

$$\alpha = a \cdot \tan\left(\frac{4 \cdot s}{b \cdot I}\right) \quad (7)$$

errechnet sich der Traganteil aus Membranwirkung zu

$$2 \cdot Z_v = 2 \cdot \sin \alpha \cdot K \cdot \varepsilon \quad (8)$$

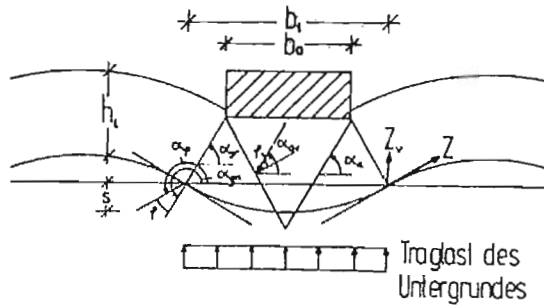


Bild 11: Membranmodell

Für vereinfachten Ansatz der Untergrundtragwirkung gemäß den üblichen Grundbruchansätzen können nachfolgende Tragwirkungen der Membran ermittelt werden (Bild 12):

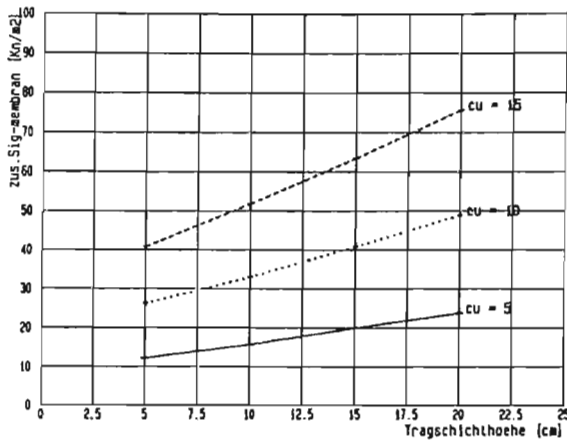


Bild 12: Zusätzliche maximale Grenzbelastbarkeit aus Membrantragwirkung

5 SCHLUSSBEMERKUNGEN

Im Rahmen von Versuchen konnte gezeigt werden, daß sich die Tragwirkung des Geotextils zusammensetzt aus Anteilen infolge Membrantragwirkung und Schubkraftübernahme.

Für beide Formen der Tragwirkung wurden rechnerische Ansätze untersucht. Beide Ansätze ergaben die Möglichkeit von Tragfähigkeitssteigerungen. Der Membranansatz ergab für Vliese Tragfähigkeitssteigerungen in gleicher Höhe wie für Gewebe, jedoch bei erheblich größeren Vertikalverformungen.

Im Rahmen der zukünftigen Arbeit gilt es, die tatsächliche Tragfähigkeitssteigerung durch einen gekoppelten Ansatz innerhalb der kinematischen Elemente-Methode zu ermitteln. Die Stabilitäten werden sich für verformte Systeme ergeben.

6 REFERENZEN

- (1) Gussmann, P. 1982 "Application of the Kinematical Element Method to Collapse-Problems of Earth Structures", International Union of Theoretical and Applied Mechanics Symposium on Deformation and Failure of Granular Materials, Delft 1982, Proceedings Paper pp 545 - 550.

FESTIGKEITSPROFUNG AN GEOTEXTILIEN

H. Laier, K. Lang

<u>I n h a l t</u>	Seite
1. <u>Aufgabenstellung</u>	87
2. <u>Voraussetzungen für die Durchführung der Arbeiten</u>	87
2.1 Technische Voraussetzungen	
2.2 Sonstige Voraussetzungen	
3. <u>Planung und Ablauf der Arbeiten</u>	88
3.1 Allgemeine Vorbereitungen	
3.2 Probenbehandlung	
3.3 Zusammenstellung der eingelieferten Proben	
3.4 Durchführung der Arbeiten	
4. <u>Durchführung der Reihenuntersuchungen im einzelnen</u>	95
4.1 Prüfnormen	
4.2 Versuchsdurchführung	
4.2.1 Flächengewicht	
4.2.2 Dicke	
4.2.3 Stempeldurchdruckversuche	
4.2.4 Einfache Streifenzugversuche	
5. <u>Auswertung der Ergebnisse</u>	100
5.1 Auswertung der Versuchsgrößen	
5.1.1 Numerische Auswertung	
5.1.1.1 Streubreite der einzelnen Serien	
5.1.1.2 Streubreite von Produktgruppen	
5.1.2 Korrelation zum Flächengewicht m_A	
5.1.3 Korrelation zwischen Stempeldurchdruckversuch und Streifenzugversuch	
5.1.4 Untersuchungen mit geringen Probenbreiten	
5.2 Verformungsarbeit	
5.2.1 Numerische Auswertung	
5.2.1.1 Streubreite der einzelnen Serien	
5.2.1.2 Streubreite bei Produktgruppen	
5.2.2 Korrelation zum Flächengewicht m_A	
5.2.3 Korrelation zwischen Stempeldurchdruckversuch und Streifenzugversuch	
5.2.4 Untersuchungen mit geringen Probenbreiten	
5.3 Anmerkungen zu den Anlagen	
6. Folgerungen	122
7. Sonderversuche	124
8. Literaturangaben	126

1. Aufgabenstellung

Das im Auftrag des Bundesministers für Verkehr unter dem Kurzthema "Festigkeitsprüfung an Geotextilien" durchgeführte Forschungsvorhaben hatte vergleichende Untersuchungen der Zug- und Durchdrückfestigkeit von Geotextilien zum Gegenstand. An verschiedenen Industrieprodukten, von Vliesen bis zu Geweben waren Streifenzugversuche in Anlehnung an die DIN 53 857, Teil 1 und 2 und Stempeldurchdrückversuche nach DIN 54 307 durchzuführen. Es sollte überprüft werden, ob und in welcher Weise Korrelationen zwischen den Ergebnissen dieser beiden Prüfmethoden bestehen. Dabei galt es vor allem, den vom Geräteaufwand her einfacher durchzuführenden Stempeldurchdrückversuch zu werten und seine Bedeutung im Rahmen der Güteüberwachung zu beurteilen. Die genannten Versuche liegen an der Schnittstelle der textilen Prüfungen (z.B. DIN 53 857) und der aus Anwendungsbereichen im Erd-, Straßen- und Wasserbau kommenden Bezüge (z.B. DIN 54 307). Außerdem wurden Homogenitätsprüfungen (Dicke und Flächengewicht) in großem Ausmaße durchgeführt.

2. Voraussetzungen für die Durchführung der Arbeiten

2.1 Technische Voraussetzungen

Die Forschungsarbeiten wurden ausschließlich unter labormäßigen Bedingungen unter Einsatz der an der Technischen Universität München vorhandenen Prüfeinrichtungen durchgeführt. Die zu untersuchenden Materialien wurden auf Anforderung von verschiedenen Herstellern aus der laufenden Produktion zur Verfügung gestellt.

Wegen des großen Angebots auf nationalem und internationalem Sektor war es nicht möglich, alle auf dem Markt befindlichen Fabrikate in die Untersuchungen einzubeziehen. Es wurden jedoch die gängigen Produktgruppen in ausreichendem Maße erfaßt.

Die Abstimmung der Vorgehensweise erfolgte jeweils mit dem Betreuungsausschuß Arbeitsausschuß 5.15 "Anwendung von Geotextilien im Straßenbau" der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Besonderer Wert wurde auf möglichst zahlreiche Einzelergebnisse gelegt, um eine gute Grundlage für statistische Auswertungen zu erhalten. Aufgrund einer Empfehlung des Betreuungsausschusses wurden von den ursprünglich geplanten 3 Versuchsreihen je Produkt nur 2 durchgeführt, diese jedoch um zusätzliche Untersuchungen erweitert.

2.2 Sonstige Voraussetzungen

Die Forschungsarbeiten wurden unter Wahrung absoluter Neutralität an der Technischen Universität München vorgenommen. Finanzielle Grundlage des Forschungsprogrammes waren die Finanzierungsmittel des Bundesministers für Verkehr sowie die Eigenleistungen des Prüfamtes durch Bereitstellung der Grundausrüstung und durch zusätzliche Leistungen.

3. Planung und Ablauf der Arbeiten

3.1 Allgemeine Vorbereitungen

Planung und Ablauf der Arbeiten folgten weitgehend dem im FE-Antrag angegebenen Arbeitsplan. Zunächst wurden

die Hersteller angeschrieben und um Überlassung von Probenmaterial für die Untersuchungen gebeten. Dem Schreiben lag ein Fragebogen (Anlage 1) bei, der nach den Vorstellungen des Arbeitsausschusses 5.15 gestaltet war und Aufschluß über Rohstoff, Herstellungsweise usw. geben sollte. Von 13 angeschriebenen Herstellern bzw. Lieferanten antworteten 10, die auch Probenstücke aus ihrem Lieferprogramm (zum Teil über die gesamte Produktionspalette, überwiegend jedoch nur einzelne Typen) für die Untersuchungen zur Verfügung stellten. Die Muster eines Herstellers (Probe Nr. K 38 bis 41) kamen bereits in beschädigtem Zustand an und wurden deshalb nicht untersucht. Den für die spätere Versuchsdurchführung, insbesondere aber für die Auswertung und Ausdeutung der Untersuchungsergebnisse wichtigen Fragebogen füllten die meisten Firmen nur sehr unvollständig aus, zum Teil blieb er sogar ganz ohne Reaktion. In einem Fall wurden die Fragebogen mit dem Vermerk zurückgesandt, daß es sich um fabrikgeheime "Sondervorrichtungen" handle, so daß keine näheren Angaben erfolgen können.

Diese Verhaltensweise ist aus der angespannten Markt- und Konkurrenzsituation zu erklären und beschränkt die Wertung der Festigkeitsprüfungen auf phänomenologische Beobachtungen und Zahlenvergleiche. Eine bessere Deutung der verschiedentlich auftretenden besonderen Verhaltensweisen, Abweichungen bzw. besonders guten oder schlechten Korrelationen waren damit erschwert, da rohstoffbedingte, textiltechnische und sonstige im Rahmen des Herstellungsprozesses liegende Einwirkungen unbekannt blieben. Aufgrund der Untersuchungen besteht Grund zur Annahme, daß z. B. die Vorbehandlung der Fasern, Garne, Bändchen usw. sowie die Bindung und vieles mehr, die Meßwerte im einzelnen beeinflussen.

3.2 Probenbehandlung

Die eingelieferten Probenstücke entstammten jeweils der laufenden Produktion und trafen bis auf ein Fabrikat ohne erkennbare Beschädigungen ein. Sie wurden bis zur Prüfung in dunklen, kühlen Probenlagerräumen geschützt aufbewahrt. Zwei Hersteller teilten mit, daß sie sich gerade in einer Umstellung der Produktion befänden und lieferten nachträglich neue Typen nach, die wunschgemäß in das Untersuchungsprogramm aufgenommen wurden.

3.3 Zusammenstellung der eingelieferten Proben

In der Tabelle 1 sind alle eingelieferten Proben mit den wichtigsten Daten (Rohstoff, Faser- und Verfestigungsart, Flächengewicht) zusammengestellt. Die Hersteller wurden über den Verwendungszweck der Proben informiert. Es wurde jedoch nicht ausdrücklich um die Zustimmung zur Veröffentlichung der Ergebnisse im Rahmen eines Forschungsprogramms nachgesucht. Aus diesem Grund sind die Angaben der Hersteller und die Produktbezeichnungen verschlüsselt, um möglichen Einsprüchen vorzubeugen.

3.4 Durchführung der Arbeiten

Der weitere Ablauf der Arbeiten war zunächst durch Vorversuchsreihen an einem mechanisch verfestigten Vlies und einem Gewebe bestimmt, um die gerätemäßige Ausstattung den unterschiedlichen Anforderungen vom Schneiden und Einspannen der Proben bis zur Abzugsgeschwindigkeit der Versuche anzupassen bzw. um die Versuchseinrichtungen ergänzen zu können.

Dabei wurden auch Untersuchungen über die zweckmäßige Art der Dickenmessung (Bild 1) vorgenommen. Das verwendete Gerät arbeitet bei verschiedenen, genau kontrollierbaren Meßdrücken mit Hilfe eines Magnetstabes auf 1/1000 mm genau. Die Vorauswertungen ergaben, daß es bei den Geotextilien zu besseren Zuordnungen kommt, wenn man statt der Messungen an zahlreichen separaten Einzelproben die Homogenitätsprüfungen gleich an jenen Probenstücken durchführt, die anschließend für die Festigkeitsprüfungen verwendet werden. Der dadurch bewirkte Einfluß der Probengröße kann bei der Endaussage im allgemeinen vernachlässigt werden. Durch die große Probenanzahl ist den statistischen Auswertungsgrundregeln Rechnung getragen.



Bild 1

Die Bestimmung des Flächengewichts (Masse pro Flächeneinheit) wurde entsprechend dem obigen Vorgehen nach vergleichenden Voruntersuchungen bei den endgültigen Reihenuntersuchungen ebenfalls an jenen Teilproben vorgenommen, die für die Festigkeitsuntersuchungen vorgesehen waren.

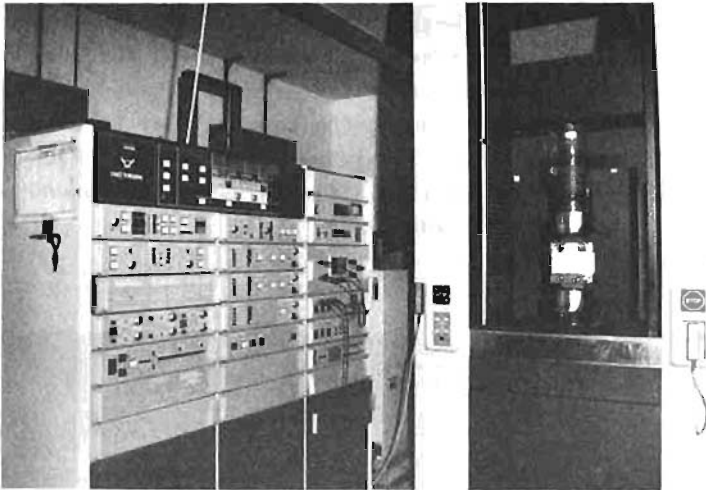


Bild 2

Nach Herstellung von speziellen Klemmbacken für Probenbreiten über 5 cm (Einspannungsprofilierung ähnlich dem Spannring beim Stempeldurchdruckversuch) für die Universalprüfmaschine Instron Modell 1255 (Bild 2) wurden einzelne Streifenzugversuche (Vorversuche) mit Geotextilproben verschiedener Abmessungen mit unterschiedlichen Abzugsgeschwindigkeiten durchgeführt. Dabei ergaben sich ähnliche Erkenntnisse, wie bei den vergleichbaren Untersuchungen anderer Prüfstellen. Deshalb wurde bei den Reihenuntersuchungen von einer weiteren Variation dieser

Parameter abgesehen und für den einfachen Streifenzugversuch die für Vliese als zweckmäßig gefundene Probengröße von $b_0/h_0 = 200/100$ mm gewählt. Bei leichten Geweben wurden Probengrößen von $b_0/h_0 = 50/100$ und $200/100$ mm miteinander verglichen.

Der Stempeldurchdruckversuch wurde in einer durch periphere Meß- und Registriereinrichtungen erweiterten Prüfpressenanlage Losenhausen (Bild 3 und 4) ohne Abweichungen vom eingeführten Prüfverfahren durchgeführt. Sowohl beim einfachen Streifenzugversuch als auch beim Stempeldurchdruckversuch wurden die Meßergebnisse unmittelbar als kontinuierliche Kraft-Dehnungs-Diagramme aufgezeichnet (Bild 5) und für weitere Auswertungen in einer EDV-Anlage digitalisiert.

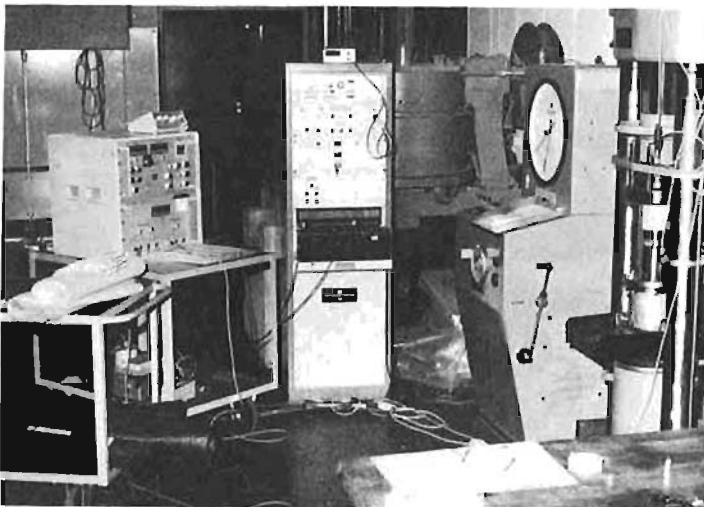


Bild 3

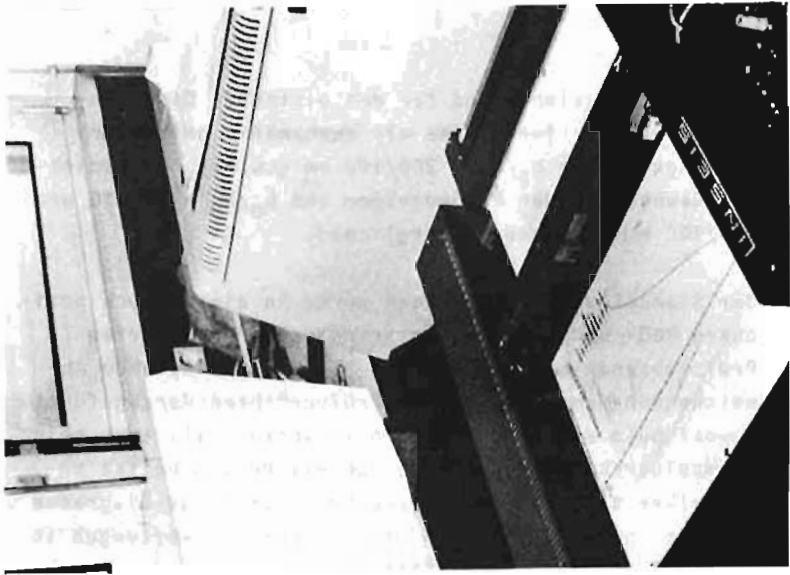


Bild 5

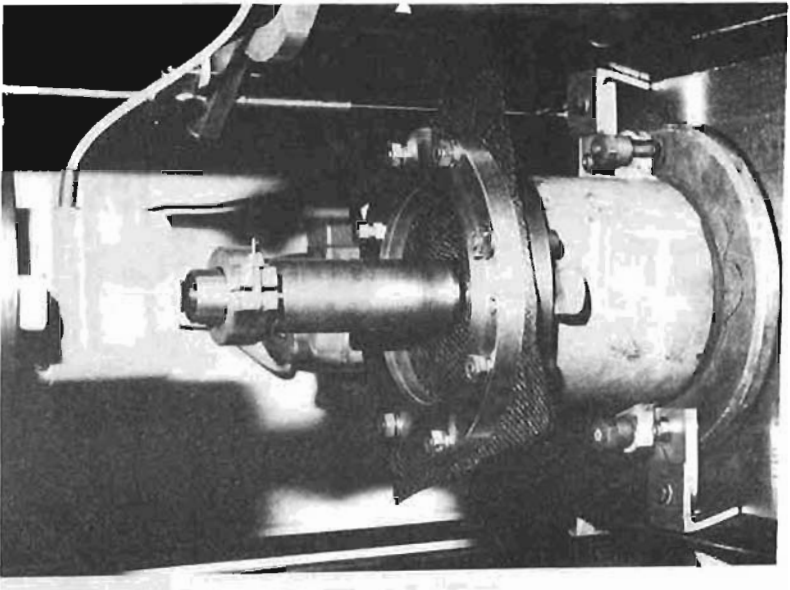


Bild 4

4. Durchführung der Reihenuntersuchungen im einzelnen

4.1 Prüfnormen

Bei den Untersuchungen wurde von folgenden Prüfnormen ausgegangen. Zum Teil erfolgte die Versuchsdurchführung entsprechend den Empfehlungen der Normen. Zum Teil wurden die Versuchsbedingungen gemäß der Aufgabenstellung in Anlehnung an die Normung festgelegt:

DIN 53 802	Prüfung von Textilien Angleichen der Proben an das Normalklima
DIN 53 803	Teil 1 und Teil 2 Prüfung von Textilien Probenahme
DIN 53 804	Teil 1 und Teil 3 Statistische Auswertung an Stichproben
DIN 53 815	Prüfung von Textilien Begriffe für den einfachen Zugversuch
DIN 53 851	Prüfung von Textilien Bestimmung der Länge und Breite von textilen Flächengebilden
DIN 53 854	Prüfung von Textilien Gewichtsbestimmungen an textilen Flächengebilden
DIN 53 855	Teil 1 und Teil 2 Prüfung von Textilien Bestimmung der Dicke textiler Flächengebilde
DIN 53 857	Teil 1 und Teil 2 Prüfung von Textilien Einfacher Streifen-Zugversuch an textilen Flächengebilden
DIN 54 307	Prüfung von Textilien Stempeldurchdruckversuch

4.2 Versuchsdurchführung

Insgesamt wurden 37 Einzelprodukte (Proben Nr. 1 bis 37) von 9 Herstellern (A bis I) untersucht. An allen Proben wurde zur Überprüfung der Homogenität das Flächengewicht m_A bei verschiedenen Probenabmessungen und die Materialdicke a bestimmt. Zur Untersuchung der Festigkeitseigenschaften und der Verformung wurden Stempeldurchdruckversuche und einfache Streifenzugversuche durchgeführt. Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an die einschlägigen Prüfnormen. Verschiedene Versuchsbedingungen wurden zusammen mit dem Betreuungsausschuß festgelegt. Im einzelnen ist die Versuchsdurchführung in den folgenden Abschnitten dargestellt.

4.2.1 Flächengewicht

Das Flächengewicht m_A wurde an insgesamt 1810 Teilproben bestimmt. Die Versuche teilten sich wie folgt auf:

- je 2 Serien zu 10 Versuchen an allen Produkten an Proben mit Anmessungen von 25 x 25 cm (740 Einzelversuche). Es handelt sich dabei um Probenstücke, die für die Stempeldurchdruckversuche gemäß den Empfehlungen der DIN 54 307 ausgeschnitten wurden.
- je 2 Serien zu 10 Versuchen an allen Produkten an Rundproben mit einem Durchmesser von 11,3 cm ($F = 100\text{cm}^2$) gemäß DIN 53 854 (740 Einzelversuche)
- nach einer Vorauswertung der bereits vorliegenden Ergebnisse, bei der eine befriedigende Korrelation zwischen dem Flächengewicht und den Festigkeitseigen-

schaften besonders dann festgestellt werden konnte, wenn die Untersuchungen an den gleichen Proben erfolgten, wurden an den 18 noch nicht untersuchten Produkten 1 bzw. 2 Serien zu je 10 Versuchen an Proben mit Abmessungen von 20 x 22 cm durchgeführt (330 Einzelversuche). Es handelt sich dabei um Probenstücke, die für den einfachen Streifenzugversuch gemäß den Empfehlungen der DIN 53 857 ausgeschnitten wurden.

An den Probenstücken wurde jeweils die Masse (Gewicht) durch Wägung, die Fläche durch Ausmessen bestimmt. Das Flächengewicht errechnet sich nach der Beziehung

$$m_A = \frac{m}{A} \quad (g/m^2).$$

4.2.2 Dicke

Die Materialdicke a wurde an allen Proben an insgesamt 690 Einzelproben ermittelt. An 5 Produkten wurde jeweils 1 Serie, an den übrigen Materialien 2 Serien zu je 10 Versuchen durchgeführt. Die Versuche wurden an den Probenstücken vorgenommen, die für die Stempeldruckversuche gemäß den Empfehlungen der DIN 54 307 ausgeschnitten wurden. Die Versuchsdurchführung erfolgte in Anlehnung an die DIN 53 855. Der Durchmesser der Prüffläche betrug 56,4 mm ($F = 25 \text{ cm}^2$), der Meßdruck wurde auf Empfehlung des Betreuungsausschusses zu 20 cN/cm^2 (Belastung 5 N) festgelegt. Die Belastungsdauer betrug im allgemeinen 30 Sekunden. Bei einigen Materialien war nach 30 Sekunden der Zusammendrückungsvorgang noch nicht abgeschlossen. In diesen Fällen wurde

50 mm bei sonst unveränderten Versuchsbedingungen durchgeführt. Die Versuchsergebnisse wurden kontinuierlich als Kraft-Verformungs-Kurven (Zugkraft in Abhängigkeit von der Längenänderung) aufgezeichnet.

5. Auswertung der Ergebnisse

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte in zwei Abschnitten. Dabei wurden zwischen den aus den Versuchen unmittelbar zu entnehmenden Parametern (z.B. Durchdrückkraft, Höchstzugkraft, Probendehnung usw.) und den abgeleiteten Größen (aufzuwendende Verformungsarbeit) unterschieden. Jeder Abschnitt ist in mehrere Schritte (numerische Auswertung, Korrelation zwischen einzelnen Größen) unterteilt.

5.1 Auswertung der Versuchsgrößen

5.1.1 Numerische Auswertung

In einem ersten Schritt erfolgte eine numerische Auswertung der Untersuchungsergebnisse der einzelnen Versuchsserien. Sie erstreckte sich über folgende Kennwerte:

- Flächengewicht m_A
- Materialdicke a
- Durchdrückkraft D des Stempeldurchdrückversuchs (entnommen aus den Kraft-Verformungs-Kurven)
- Bruchverformung V des Stempeldurchdrückversuchs (entnommen aus den Kraft-Verformungs-Kurven)
- Höchstzugkraft F_H des einfachen Streifenzugversuchs (entnommen aus den Kraft-Verformungs-Kurven)

- Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H des einfachen Streifenzugversuchs (entnommen aus den Kraft-Verformungs-Kurven).

Für diese Kennwerte wurde jeweils
 der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$
 die Standardabweichung s
 und der Variationskoeffizient v (%)
 errechnet. Die ermittelten Werte sind für die einzelnen Produkte und Versuchsserien getrennt in der Tabelle auf den Blättern der Anlage 2 zusammengestellt. Zusätzlich sind jeweils die Versuchsbedingungen (Beanspruchungsrichtung und Verformungsgeschwindigkeit beim Streifenzugversuch, Vorschubgeschwindigkeit beim Stempeldrückenversuch, Probengröße beim Flächengewicht und Prüfdruck bei der Materialdicke) angegeben.

Anschließend wurden die Einzelserien produktweise zusammengefaßt und für die genannten Kennwerte
 der Gesamtmittelwert $\bar{x}_m$
 die Standardabweichung s_m vom Gesamtmittelwert
 und der dazugehörige Variationskoeffizient v_m (%)
 ermittelt. Diese Werte sind ebenfalls in der Tabelle auf den Blättern der Anlage 2 eingetragen.

5.1.1.1 Streubreite der einzelnen Serien

In der Tabelle 2 ist der Streubereich der produktbezogenen Variationskoeffizienten v bzw. v_m (Spalte 2) und deren Verteilung (Spalten 3 bis 9) angegeben. Insgesamt ist die Tendenz von abnehmenden Variationskoeffizienten bei zunehmendem Flächengewicht zu erkennen, wenn dies auch nicht bei allen Produkten deutlich ausgeprägt ist. Zum Teil sind die Ergebnisse durch allgemeine Inhomogenitäten, zum Teil auch durch größere flächen-

hafte Ungleichmäßigkeiten bedingt, die sich in erheblichen Unterschieden zwischen den zugeordneten Untersuchungsserien auswirken.

Bezüglich der Größenordnung und Verteilung der Variationskoeffizienten sind deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Kennwerten zu erkennen. Die niedrigsten Werte v_m wurden beim Flächengewicht m_A , bei der Materialdicke a und der Bruchverformung V (Stempeldrückenversuch) festgestellt. Bei der Mehrzahl der Versuchsserien liegt v_m zwischen 0 und 10%. Im Vergleich dazu wurden bei der Durchdruckkraft D (Stempeldrückenversuch) deutlich höhere Variationskoeffizienten errechnet, die meist zwischen 5 und 15% liegen.

Beim Flächengewicht m_A nimmt die Größenordnung der Variationskoeffizienten mit zunehmender Probengröße ab. Dies ist einmal darauf zurückzuführen, daß bei kleineren Probenflächen örtlich begrenzte Inhomogenitäten deutlicher erfaßt werden, während bei größeren Probenflächen bereits bei den Untersuchungen ein gewisser Ausgleich örtlicher Unstetigkeiten stattfindet. Dazu kommt noch der Einfluß von Störungen beim Ausschneiden der Probenstücke, der bei kleineren Proben im Hinblick auf das Verhältnis Umfang zur Fläche größer ist, als bei größeren. Kleinere Proben sind dann vorzuziehen, wenn Homogenitätsprüfungen im Vordergrund stehen, vorausgesetzt, Störungen beim Ausschneidevorgang können weitgehend ausgeschaltet werden. Wenn jedoch Korrelationen zwischen dem Flächengewicht und anderen Kenngrößen (z.B. Durchdruckkraft oder Höchstzugkraft) abgeleitet werden sollen, dann ist es zweckmäßig, das Flächengewicht wegen der teilweise großen Streuungen an den Proben zu bestimmen, die für die weiteren Untersuchungen vorgesehen sind

(s. Abschnitt 5.1.2).

Beim Stempeldurchdrückversuch erfolgt die Lasteintragung und Verformung der Probenstücke zentralsymmetrisch, wobei bereits während der Versuchsdurchführung ein Ausgleich bezüglich des meist richtungsabhängigen Verformungsverhaltens der Proben stattfindet. Aus diesem Grunde ist die Streubreite von v_m im Vergleich zum Streifenzugversuch geringer. Ein Zusammenhang zwischen der Richtung des Bruchbeginns und dem richtungsabhängigen Verformungsverhalten der Proben konnte augenscheinlich nicht gefunden werden. Der Ort des beginnenden Bruchs dürfte weitgehend durch örtliche Inhomogenitäten der Proben bestimmt werden.

Bei den Streifenzugversuchen wurde zwischen dem Variationskoeffizienten v der richtungsbezogenen Untersuchungsserien und den daraus errechneten Gesamtwerten v_m für alle an einem Produkt durchgeführten Versuche unterschieden. Bei den richtungsbezogenen Versuchen liegen sowohl bei der Höchstzugkraft F_H als auch bei der Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H die Variationskoeffizienten v überwiegend zwischen 0 und 10% (78 bzw. 86% der Versuchsserien). Bei den Produkten, die ein weitgehend isotropes Verhalten zeigten, unterscheiden sich die produktbezogenen Gesamtvariationskoeffizienten v_m von den Serienwerten v nur wenig. Bei den Produkten mit deutlich ausgeprägtem anisotropen Verhalten ergeben sich dagegen deutlich höhere Gesamtvariationskoeffizienten v_m . Bei der Mehrzahl der Versuchsserien liegen diese zwischen 5 und 15%, bei ca. 1/4 der Produkte wurden dagegen Werte zwischen 15% und maximal 31% ermittelt.

Bezüglich der bevorzugten Richtung lassen sich allgemein gültige Aussagen nur in sehr eingeschränktem Maße ableiten. Die Richtung mit der größten Höchstzugkraft bzw. Höchstzugkraft-Dehnung ist bei den einzelnen Produkten unterschiedlich und kann selbst innerhalb von Produktreihen variieren. Diese ist wahrscheinlich weitgehend vom Herstellungsprozeß, insbesondere wohl von der Ablagerung der Fasern abhängig. Bei der Höchstzugkraft F_H war etwa bei 1/4 der Produkte keine bevorzugte Richtung zu erkennen. Etwa bei 55% der Produkte wurde quer zur Herstellungsrichtung der Größtwert und parallel zur Herstellungsrichtung der Kleinstwert der Höchstzugkraft ermittelt, während die Ergebnisse in Diagonalrichtung dazwischen lagen. Ca. 20% der Produkte zeigten dagegen ein sehr unterschiedliches Verhalten, wobei gelegentlich der Maximalwert der Höchstzugkraft bei einer Beanspruchung in Diagonalrichtung auftrat.

Bei der Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H war bei 60% der Produkte keine bevorzugte Richtung festzustellen. Bei den übrigen Proben zeigte sich eine zufällige Bevorzugung der Längs-, Quer- und Diagonalrichtung.

Bei den Produkten, an denen Versuche nur in Längs- und Querrichtung vorgenommen wurden (Vliese C 8 und 9, Gewebe H 31 bis H 35 und die Gitter bzw. Verbundstoffe I 36 und 37) wurde sowohl bei der Höchstzugkraft F_H als auch bei der Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H der Größtwert jeweils etwa zur Hälfte in Längs- und in Querrichtung festgestellt.

5.1.1.2 Streubreite von Produktgruppen

In der Tabelle 3 sind die Produkte herstellerunabhängig gruppenweise nach Rohstoff und Verfestigungsart zusammengefaßt. Aus der Zusammenstellung ist kein Zusammenhang zwischen den einzelnen Produktgruppen und der Streubreite der Variationskoeffizienten v bzw. v_m zu erkennen, sieht man von der teilweise deutlich größeren Homogenität der untersuchten Gewebe (H) ab. Der überwiegend verhältnismäßig große Streubereich bei den Vliesen ist möglicherweise durch die vielfach nicht exakt steuerbare Ablage der Fasern beim Herstellungsprozeß bedingt. Dazu kommen fallweise noch Sonderverfahren bei der Produktion, zum Teil auch innerhalb von Produktreihen, über die von den Herstellern keine Auskünfte erteilt wurden, so daß deren Einfluß nicht abgeschätzt werden kann. Eine allgemeine zusammenfassende Beurteilung der Produktgruppen ist deshalb nicht möglich. Die Bewertung kann nur produktbezogen erfolgen, wobei teilweise auch innerhalb zusammengehörender Produktreihen deutliche Abweichungen vorkommen können.

Auffallend große Variationskoeffizienten v_m bei nahezu allen Kennwerten wurden bei den Produkten Nr. B 4, E 14, E 17, G 25, G 27 und G 28 festgestellt. Dazu kommen noch 13 Produkte, bei denen höhere Variationskoeffizienten bei einem oder zwei Kennwerten ermittelt wurden.

5.1.2 Korrelation zum Flächengewicht m_A

In einem zweiten Schritt wurde untersucht, inwieweit Korrelationen zwischen den ermittelten Kennwerten abgeleitet werden können. Dabei wurde die Materialdicke a

nicht gesondert berücksichtigt, da diese weitgehend mit dem Flächengewicht m_A korrespondiert und die abgeleiteten Beziehungen für beide Größen sehr ähnlich sind. Als Grundgröße wurde das Flächengewicht gewählt, da in der praktischen Anwendung darauf mehr Bezug genommen wird, als auf die Dicke. Es wurden folgende Beziehungen untersucht:

- Flächengewicht m_A - Durchdruckkraft D
- Flächengewicht m_A - Höchstzugkraft F_H
- Flächengewicht m_A - Bruchverformung V
- Flächengewicht m_A - Höchstzugkraft-Dehnung H

Dabei wurden getrennt nach Herstellern bzw. Produktreihen jeweils die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Versuchsserien - beim einfachen Streifenzugversuch gesondert nach den Beanspruchungsrichtungen (parallel, unter 45° , 90° und 135° zur Herstellungsrichtung) - in Abhängigkeit vom Flächengewicht in Diagramme eingetragen.

Die einzelnen Kenngrößen zeigen deutliche Abhängigkeiten vom Flächengewicht m_A . Dies ist insbesondere bei den Produkten zu erkennen, bei denen die parallel untersuchten Versuchsserien größere Unterschiede zeigen (z.B. Probe Nr. B 4, C 9, D 13, G 25, G 27 und G 28). Durch diese Ergebnisse wird die Aussage bestätigt, daß es zweckmäßig ist, das Flächengewicht an den Proben zu bestimmen, die für weitere Untersuchungen vorgesehen sind, wenn Korrelationen zwischen den Kenngrößen abgeleitet werden sollen.

Die Durchdrückkraft D und die Höchstzugkraft F_H nimmt bei allen Produktreihen mit dem Flächengewicht zu. Merkbliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Rohstoffen und Verfestigungsarten sind nicht festzustellen, sieht man von den untersuchten Geweben (H) ab.

Die Bruchverformung V und die Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H ändern sich im Vergleich zu den Kräften (D und F_H) mit der Zunahme des Flächengewichts wenig, ausgenommen die Produktreihe G, die eine stärkere Zunahme zeigt. Bei den Produkten aus Polypropylen (D, E, G und H) aber auch bei einem Produkt aus Polyester (C) nehmen die Verformungen mit dem Flächengewicht m_A zu, bei den übrigen Produkten aus Polyester (A, B und F) dagegen ab. Eine Abhängigkeit von der Verfestigungsart konnte dagegen nicht festgestellt werden.

Im Zuge der weiteren Auswertung wurden für alle Produktreihen bei den dargestellten Kenngrößen Ausgleichsgeraden nach statistischen Verfahren berechnet und in den Diagrammen mit abgebildet. Bei den Kennwerten aus dem einfachen Streifenzugversuch wurde dabei - soweit die Proben ein deutliches anisotropes Verhalten zeigten - nach den jeweiligen Belastungsrichtungen unterschieden. Aus der Tabelle 4 ist zu ersehen, wie sich die Ergebnisse des Streifenzugversuchs bei den verschiedenen Produkten darstellen lassen.

Die Produktreihen A und F zeigten ein weitgehend isotropes Verhalten, die Reihe D nur bei der Höchstzugkraft F_H , die Reihe E bei den Höchstzugkraft-Dehnungen ϵ_H . Außerdem ist noch anzumerken, daß zwischen den beiden

Diagonalrichtungen (unter 45° und 135° zur Herstellungsrichtung) nicht unterschieden werden konnte. Wenn überhaupt Unterschiede im Verformungsverhalten auftraten, war keine signifikante Richtung zu erkennen, so daß beide Diagonalrichtungen bei der Auswertung zusammengefaßt wurden.

Zur Ergänzung wurden außerdem bei allen Produkten die Mittelwerte aller Streifenzugversuche (Gesamtauswertung unabhängig von der Beanspruchungsrichtung) in die Diagramme eingetragen und ebenfalls die Ausgleichsgeraden berechnet und in den Diagrammen dargestellt.

Bei verschiedenen Produktreihen (F und H, zum Teil auch A und D) lassen sich die Korrelationen genauer durch Kurven 2. Ordnung beschreiben, die in den Diagrammen gestrichelt eingetragen sind. Ein Zusammenhang mit den Rohstoffen und Verfestigungsarten ist nicht zu erkennen, die Abweichungen sind vermutlich herstellungsbedingt.

Insgesamt ist festzustellen, daß bei den gewählten Probenabmessungen ($b_0/h_0 = 200/100$ mm) bei allen Produktreihen die Durchdrückkraft D geringere Werte zeigt, als die Höchstzugkraft F_H . Bei den Proben mit einem mehr oder weniger anisotropen Verhalten wurde die größere Höchstzugkraft meist in Querrichtung, die kleinere in Längsrichtung festgestellt (Ausnahme: Produktreihe C und einzelne Proben innerhalb von Produktreihen). Soweit die Versuche an Diagonalproben überhaupt ein abweichendes Ergebnis zeigten (B und G), liegen die Werte zwischen denen der Längs- und Querrichtung.

Im Gegensatz zu den Kräften zeigen die Verformungen kein so einheitliches Bild. Bei den meisten Produktreihen weisen die Stempeldurchdruckversuche geringere Verformungen auf, als die Streifenzugversuche, es gibt aber auch Ausnahmen (z.B. E und H). Das anisotrope Verhalten der Proben ist bei den Verformungen deutlicher ausgeprägt als bei den Kräften. Dabei wurden die größeren Höchstzugkraft-Dehnungen ϵ_H überall in Richtung der kleineren Höchstzugkraft F_H und umgekehrt festgestellt. Die Dehnungen in Diagonalrichtung liegen wiederum zwischen den Extremwerten.

Eine Besonderheit ergab sich bei der Produktreihe G. Sie ist in 2 Serien (Probe Nr. 25-26-27-29 bzw. 25-28-30) mit einem deutlich unterschiedlichen Verformungsverhalten sowohl beim Stempeldurchdruckversuch, als auch beim Streifenzugversuch aufgespalten. Die Ursachen für dieses Ergebnis lassen sich anhand der vom Hersteller zur Verfügung gestellten unvollständigen Angaben und Auskünfte nicht feststellen. Sie sind vermutlich in den spezifischen Herstellungsverfahren zu suchen.

Auf den Blättern der Anlagen 3 und 4 sind die ausgleichenden Linien für die Durchdruckkraft D , die richtungsabhängige Höchstzugkraft F_H und deren richtungsunabhängige Mittelwerte sowie die Bruchverformung V , die richtungsabhängigen Höchstzug-Dehnungen ϵ_H , und deren richtungsunabhängigen Mittelwerte jeweils für die verschiedenen Produktreihen gemeinsam als Geraden- oder Kurvenscharen in Diagrammen dargestellt. Bei den Kräften (Anlage 3) - sowohl beim Stempeldurchdruckversuch als auch beim einfachen Streifenzugversuch - konzentrieren

sich die Ausgleichsgeraden und -kurven in einem verhältnismäßig schmalen, vom Koordinatennullpunkt ausgehenden und sich mit zunehmendem Flächengewicht verbreiternden Bereich, wobei die untersuchten Gewebe (H) nicht berücksichtigt wurden. Bei den Mittelwerten der Streifenzugversuche (Anlage 3, Bl. 3) ist dies naturgemäß ausgeprägter, als bei den richtungsabhängigen Werten (Anlage 3, Bl. 2). Weitgehend unabhängig vom Flächengewicht liegen die Ausgleichsgeraden und -kurven für die Bruchverformung V (Anlage 4, Bl. 1), etwa zwischen 20 und 80%, für die Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H (Anlage 4, Bl. 2 und 3) zwischen 10 und teilweise über 100%. Die untersuchten leichten Gewebe (H) zeigen zwar jeweils die geringsten Verformungen, unterscheiden sich jedoch nur wenig von den Vliesen.

5.1.3 Korrelation zwischen Stempeldurchdruckversuch und Streifenzugversuch

Anschließend wurden die Korrelationen zwischen

Durchdruckkraft D	und	Höchstzugkraft F_H
Bruchverformung V	und	Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H

untersucht. Eine direkte Zuordnung der Versuchswerte war dabei nicht möglich. Da weder der Stempeldurchdruckversuch noch der Streifenzugversuch zerstörungsfrei und damit an den gleichen Probenstücken durchgeführt werden konnte. Infolge der Inhomogenität der Vliese und der dadurch bedingten teilweise großen Streuung der Versuchsergebnisse hätte jede willkürliche Zuordnung weitgehend Zufallscharakter gehabt. Aus diesem Grunde wurde von der

Zuordnung von Einzelwerten abgesehen. Stattdessen wurde von den bereits bekannten Korrelationen zum Flächengewicht m_A ausgegangen und indirekt eine Beziehung zwischen den jeweils entsprechenden Ausgleichsgeraden bzw. -kurven gesucht. Dabei wurden beim Streifenzugversuch sowohl die richtungsbezogenen Versuchsergebnisse als auch die richtungsunabhängigen Mittelwerte berücksichtigt.

Es ergaben sich in den meisten Fällen weitgehend lineare, nur teilweise auch schwach gekrümmte Beziehungen zwischen dem Stempeldurchdruckversuch und dem Streifenzugversuch. Mit zunehmender Durchdruckkraft D bzw. Bruchverformung V steigt auch die Höchstzugkraft F_H bzw. die Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H an. Die Verlängerung der so gefundenen Geraden schneidet in den meisten Fällen die Koordinatenachsen in der Nähe des Ursprungs. Bei den Kräften ist dies allerdings deutlicher ausgeprägt, als bei den Verformungen.

Es wurde bereits ausgeführt, daß sich sowohl beim Stempeldurchdruckversuch als auch beim Streifenzugversuch die Kräfte in Abhängigkeit vom Flächengewicht deutlich, die Verformungen dagegen nur wenig ändern. Dies hat zur Folge, daß die gefundenen Korrelationen zwischen der Durchdruckkraft D und der Höchstzugkraft F_H überwiegend über größere Bereiche, zwischen der Bruchverformung V und der Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H dagegen nur über vergleichsweise kleine Bereiche definiert sind. Extrapolationen sind dabei nicht immer zulässig.

Auf den Blättern der Anlagen 5 und 6 sind die gefundenen Beziehungen zwischen der Durchdruckkraft D und der

Höchstzugkraft F_H bzw. zwischen der Bruchverformung V und der Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H jeweils für alle Produktreihen gemeinsam als Geraden- oder Kurvenscharen in Diagrammen dargestellt. Dabei wurden sowohl bei den lastabhängigen als auch bei den verformungsabhängigen Korrelationen folgende Fälle unterschieden:

- alle richtungsabhängigen Beziehungen gemeinsam (Bl. 1)
- Korrelationen in Richtung der kleinsten Höchstzugkraft F_H (Bl. 2)
- richtungsunabhängige Mittelwerte (Bl. 3).

Die verschiedenen Darstellungen zeigen ein relativ einheitliches Bild. Sowohl bei den lastabhängigen als auch bei den verformungsabhängigen Beziehungen konzentrieren sich die Geraden- bzw. Kurvenscharen in einem verhältnismäßig schmalen Band, wobei dies bei den richtungsunabhängigen Mittelwerten (Bl. 3) sowie den Korrelationen in Richtung der kleinsten Höchstzugkraft F_H (Bl. 2) deutlicher ausgeprägt ist, als bei den richtungsabhängigen Beziehungen (Bl. 1). Bei den lastabhängigen Korrelationen (Anlage 5) beginnt dieser Bereich etwa beim Koordinatennullpunkt und verbreitert sich mit zunehmender Durchdrückkraft bzw. Höchstzugkraft. Bei den verformungsabhängigen Beziehungen (Anlage 6) lassen sich dagegen die Geraden- bzw. Kurvenscharen besser durch eine rechteckige Fläche umschreiben, die die Abszisse (Bruchverformung V) etwa zwischen 10 und 30% schneidet. Insgesamt ist eine deutliche Korrelation zwischen den Ergebnissen der Stempeldurchdruckversuche und der Streifenzugversuche festzustellen. Ergänzend wurde für alle Korrelationen jeweils die Ausgleichsgerade für sämtliche Versuchsergebnisse berechnet und in den Diagrammen mit

dargestellt.

Grundlegende Unterschiede zwischen den untersuchten Vliesen und Geweben (H) sind bei den gewählten Proben-
größen (beim Streifenzugversuch $b_0/h_0 = 200/100$ mm) nicht
zu erkennen. Die für die Gewebe gefundenen Beziehungen
liegen zwar am oberen (Kräfte) bzw. unteren Rand (Ver-
formung) der Geraden- bzw. Kurvenscharen, schließen aber
unmittelbar an diese an, so daß sie in die gemeinsame
Bewertung eingeschlossen werden können, ohne das Ergeb-
nis wesentlich zu beeinflussen. Dabei ist anzumerken,
daß aufgrund der meist hohen Materialfestigkeit und den
daraus resultierenden Problemen bei der Einspannung der
Proben nur leichte Gewebe untersucht werden konnten.

5.1.4 Untersuchungen mit geringen Probenbreiten

Bei den untersuchten Geweben (Produktreihe H) zeigen
beim Streifenzugversuch die Proben mit einer Breite von
50 mm im wesentlichen ein ähnliches Verhalten wie die
Normalproben ($b_0 = 200$ mm). Das Verhältnis der Höchst-
zugkräfte F_H beträgt im allgemeinen 1:4,2 bis 1:4,9, bei
der Probe Nr. H 31 mit dem geringsten Flächengewicht
dagegen 1:6,6. Dabei dürften Randstörungen eine wesent-
liche Rolle spielen. Die Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H er-
höht sich dagegen nur wenig, im Mittel um ca. 1 bis 2%.
Es wurden jedoch deutlich höhere Variationskoeffizien-
ten ermittelt. Bereichsweise Inhomogenitäten wirken sich
bei geringen Probenbreiten deutlicher aus.

5.2 Verformungsarbeit

5.2.1 Numerische Auswertung

Im zweiten Abschnitt der Auswertung wurde sowohl beim Stempeldurchdruckversuch als auch beim Streifenzugversuch die aufgewendete Arbeit aus der von Kraft-Verformungs-Kurve und Abszisse eingeschlossenen Fläche berechnet, die zur Verformung der untersuchten Teilproben erforderlich war. Dabei wurden jeweils folgende Fälle unterschieden:

- W 30 = Arbeit bis zum Erreichen von 30% von
D bzw. F_H
- W 50 = Arbeit bis zum Erreichen von 50% von
D bzw. F_H
- W 100 = Arbeit bis zum Erreichen der Durchdruck-
kraft D bzw. der Höchstzugkraft F_H .

Für die so ermittelten Werte wurde wieder jeweils
der arithmetische Mittelwert $\bar{x}$
die Standardabweichung s
und der Variationskoeffizient v (%)

berechnet. Die ermittelten Werte sind für die einzelnen Produkte und Versuchsserien getrennt in der Tabelle auf den Blättern der Anlage 7 zusammengestellt. Beim Streifenzugversuch ist dazu die jeweilige Beanspruchungsrichtung der Versuchsserie angegeben.

Anschließend wurden die Einzelserien nach Produktreihen zusammengefaßt und für W 30, W 50 und W 100

der Gesamtmittelwert $\bar{x}_m$
 die Standardabweichung s_m vom Gesamtmittelwert
 und der dazugehörige Variationskoeffizient v_m (%)

ermittelt. Diese Werte sind ebenfalls in der Tabelle auf den Blättern der Anlage 7 eingetragen.

5.2.1.1 Streubreite der einzelnen Serien

In der Tabelle 5 ist für die aufgewendete Verformungsarbeit der Streubereich der produktbezogenen Variationskoeffizienten v bzw. v_m (Spalte 2) und deren Verteilung (Spalte 3 bis 9) angegeben. Insgesamt ist im Vergleich zur Durchdruckkraft D und Bruchverformung V bzw. zur Höchstzugkraft F_H und Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H eine deutlich größere Streubreite der Variationskoeffizienten zu erkennen. Bei der Arbeit als Produkt aus Kraft und Verformung ergeben sich die Variationskoeffizienten kumulativ aus den jeweiligen Ausgangswerten. Es ist jedoch ebenfalls die Tendenz von abnehmenden Werten bei zunehmendem Flächengewicht zu erkennen.

Bei den Stempeldurchdruckversuchen liegen die Variationskoeffizienten v_m überwiegend zwischen 5 und 20% (Anteil 79 bis 85%). Der Anteil von Werten über 20% beträgt ca. 9 bis 12%, wobei nur geringe Unterschiede zwischen W 30, W 50 und W 100 festzustellen sind.

Ähnliche Verhältnisse wurden auch bei den richtungsabhängigen Auswertungen der Streifenzugversuche bei W 50 und W 100 festgestellt. Der Anteil der Variationskoeffizienten zwischen 5 und 20% beträgt ca. 78 bzw. 80%.

Bei W 30 wird dagegen die Streubreite größer (Anteil v von 5 bis 20% = 70%, Anteil v größer 20% = 21%). Bei W 30 werden die Ergebnisse weitgehend durch den Anfangsbereich der Last-Verformungs-Kurven bestimmt, indem sich die Verschiedenartigkeit und Inhomogenitäten der Proben deutlicher ausprägen. Beim Stempeldurchdruckversuch ist dies dagegen nur andeutungsweise erkennbar.

Faßt man wieder alle Streifenzugversuche produktweise zusammen, ergeben sich deutlich größere Variationskoeffizienten v_m mit Werten meist zwischen 5 und 30%, zum Teil aber auch noch größere Werte. Diese Verschiebung ist bei W 30 (Anteil größer 30% = 27%) am stärksten, bei W 100 am schwächsten (Anteil größer 30% = 5%) ausgeprägt. Im Vergleich dazu zeigen die Stempeldurchdruckversuche wesentlich einheitlichere Ergebnisse.

5.2.1.2 Streubreite bei Produktgruppen

In der Tabelle 6 sind die Produkte wieder herstellernunabhängig gruppenweise nach Rohstoffen und Verfestigungsart zusammengefaßt. Dabei sind noch weniger Zusammenhänge zwischen den einzelnen Produktgruppen und der Streubreite der Variationskoeffizienten zu erkennen als bei den Kräften und Verformungen. Eine allgemeine zusammenfassende Beurteilung der Produktgruppen ist deshalb auch bezüglich der aufzuwendenden Verformungsarbeiten nicht möglich, die Bewertung kann nur produktbezogen erfolgen.

Auffallend große Variationskoeffizienten v_m wurden bei den Proben Nr. B 4, C 9, E 14, E 17, F 22, G 25, G 27 und G 28, bei den Streifenzugversuchen auch bei den

Proben Nr. D 10 - 13 sowie H 33 und H 34 festgestellt.

5.2.2 Korrelation zum Flächengewicht m_A

Die weitere Auswertung erfolgte analog zu den bisherigen Untersuchungen. Zunächst wurden wiederum getrennt nach Herstellern bzw. Produktreihen jeweils die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Versuchsserien - beim Streifenzugversuch gesondert nach den Beanspruchungsrichtungen (0° , 45° , 90° und 135° zur Herstellungsrichtung) - in Abhängigkeit vom Flächengewicht in Diagramme eingetragen. Die Verformungsarbeit W_{30} , W_{50} bzw. W_{100} nimmt bei allen Produktreihen mit dem Flächengewicht zu, sieht man von einzelnen Proben ab, die zum Teil ein deutlich ausgeprägtes Sonderverhalten zeigen (z.B. Probe H 34). Dabei sind größere Unterschiede zwischen den einzelnen Produktreihen zu erkennen.

Anschließend wurden für alle Produktreihen Ausgleichsgeraden berechnet und in den Diagrammen dargestellt. Beim Streifenzugversuch wurde dabei wieder - soweit die Proben ein deutlich anisotropes Verhalten zeigten - nach den jeweiligen Belastungsrichtungen unterschieden. Aus Tabelle 7 ist zu ersehen, wie sich die Ergebnisse der Streifenzugversuche bei den verschiedenen Produktreihen darstellen lassen.

Die Produktreihen A, E und F zeigten bezüglich der Verformungsarbeit ein weitgehend isotropes Verhalten. Bei den Produktreihen B, D und G wurde zwischen den beiden Diagonalrichtungen (unter 45° und 135° zur Herstellungsrichtung) nicht unterschieden, da keine signifikante Richtung zu erkennen war. Beide Diagonalrichtungen wur-

den deshalb bei der Auswertung zusammengefaßt. Soweit überhaupt ein anisotropes Verhalten erkennbar ist, wurde die größere Verformungsarbeit etwa zu 60% in Querrichtung, zu ca. 40% in Längsrichtung festgestellt.

Zur Ergänzung wurden außerdem bei allen Produkten die Mittelwerte aller Streifenzugversuche (Gesamtauswertung unabhängig von der Beanspruchungsrichtung) in die Diagramme eingetragen und ebenfalls die Ausgleichsgeraden errechnet und in den Diagrammen dargestellt.

Bei verschiedenen Produktreihen (A und F, zum Teil auch B, D und H) lassen sich auch bei der aufzuwendenden Verformungsarbeit die Korrelationen zutreffender durch Kurven 2. Ordnung beschreiben, die in den Diagrammen gestrichelt dargestellt sind. Ein Zusammenhang mit den Rohstoffen und Verfestigungsarten ist nicht zu erkennen.

Im Bruchzustand (W 100) liegt bei den Normalproben ($b_0/h_0 = 200/100$ mm) die aufzuwendende Verformungsarbeit beim Stempeldurchdruckversuch durchwegs unter den Werten des einfachen Streifenzugversuches. Dieses Verhältnis ändert sich jedoch bei den Zwischenzuständen (W 30 und W 50) und kehrt sich teilweise um. Bei den Produktreihen E, F und H zeigen die Stempeldurchdruckversuche jeweils die größeren Werte, bei C und D entsprechen sie größenordnungsmäßig den Ergebnissen der Streifenzugversuche.

Auf den Blättern der Anlagen 8, 9 und 10 sind die Ausgleichsgeraden und -kurven für die aufzuwendende Verformungsarbeit W 30, W 50 und W 100 beim Stempeldurchdruckversuch und dem einfachen Streifenzugversuch, bei letzterem die richtungsabhängigen Werte und die rich-

tungsunabhängigen Mittelwerte jeweils für die verschiedenen Produktreihen gemeinsam als Geraden- oder Kurvenscharen in Diagrammen dargestellt. Bei den Stempeldruckversuchen (jeweils Bl. 1) konzentrieren sich die Ausgleichsgeraden und -kurven wieder in einem verhältnismäßig schmalen, vom Koordinatennullpunkt ausgehenden und sich mit zunehmendem Flächengewicht verbreiternden Bereich, wobei die untersuchten Gewebe (H) gesondert zu betrachten sind. Bei W 30 und W 50 liegen diese über der Geraden- bzw. Kurvenschar, bei W 100 am oberen Rand, aber noch innerhalb des Bereiches. Die untersuchten Gewebe verhalten sich erwartungsgemäß ganz besonders am Anfang der Kraft-Verformungs-Beziehung steifer als die Vliese.

Bei den Streifenzugversuchen nehmen die Geraden- bzw. Kurvenscharen (jeweils Bl. 2 und 3) einen ebenfalls deutlich ausgeprägten, aber wesentlich breiteren Bereich ein. Außerdem zeigen die verschiedenen Produktreihen bei W 30, W 50 und W 100 ein ziemlich unterschiedliches Verhalten, das im wesentlichen durch die "Steifigkeit" am Beginn der Kraft-Verformungs-Beziehung bedingt ist. Die Produktreihen B und C liegen hierbei im mittleren Bereich der Geraden- bzw. Kurvenschar. A und G liegen bei W 30 und W 50 ebenfalls im mittleren Bereich, bei W 100 dagegen deutlich oberhalb. D, E, F und H liegen bei W 30 und W 50 unterhalb bzw. am unteren Rand der Geraden- bzw. Kurvenschar. Bei W 100 liegen dagegen E und F im mittleren Bereich, D und H am oberen Rand bzw. oberhalb der Geraden-bzw. Kurvenschar.

5.2.3 Korrelation zwischen Stempeldurchdruckversuch und Streifenzugversuch

Analog zur Auswertung bei den Bruchkräften und Verformungen wurden anschließend die Korrelationen zwischen der aufzuwendenden Verformungsarbeit W 30, W 50 und W 100 beim Stempeldurchdruckversuch und beim Streifenzugversuch untersucht. Entsprechend den bisherigen Darlegungen wurde wieder von den bereits bekannten Korrelationen zum Flächengewicht m_A ausgegangen, und indirekt eine Beziehung zwischen den jeweils entsprechenden Ausgleichsgeraden bzw. -kurven gesucht. Dabei wurden beim Streifenzugversuch sowohl die richtungsbezogenen Ergebnisse als auch die richtungsunabhängigen Mittelwerte berücksichtigt.

Es ergaben sich ebenfalls überwiegend weitgehend lineare, teilweise auch schwach gekrümmte Beziehungen zwischen den Stempeldurchdruckversuchen und den Streifenzugversuchen. Mit zunehmender Verformungsarbeit beim Stempeldurchdruckversuch steigt auch die Verformungsarbeit beim Streifenzugversuch an. Die Verlängerung der so gefundenen Geraden schneidet in den meisten Fällen die Koordinatenachsen in der Nähe des Ursprungspunktes.

Die gefundenen Beziehungen für W 30, W 50 und W 100 wurden wieder zur besseren Vergleichbarkeit auf den Blättern der Anlagen 11,12 und 13 jeweils für alle Produktreihen gemeinsam als Geraden- oder Kurvenscharen in Diagrammen dargestellt. Dabei wurden folgende Fälle unterschieden:

- alle richtungsabhängigen Beziehungen gemeinsam
- richtungsunabhängige Mittelwerte.

Die richtungsabhängigen Beziehungen (jeweils Bl.1) verteilen sich über vom Ursprung ausgehende, mit zunehmender Verformungsarbeit sich stark verbreiternde Bereiche. Die Produktreihen E und H, bei W 30 und W 50 auch F, liegen dabei am unteren Rand, die Reihen B und G am oberen Rand der Geraden- bzw. Kurvenscharen.

Bei den richtungsunabhängigen Mittelwerten (jeweils Bl.2) ist dagegen eine ausgeprägte Konzentration zu erkennen, wobei sich das breite Band der richtungsabhängigen Beziehungen jeweils in zwei deutlich getrennte schmale Bereiche aufspaltet. Bei den Produktreihen E und H, bei W 30 und W 50 auch F, steigt mit zunehmender Verformungsarbeit beim Stempeldurchdruckversuch die Verformungsarbeit beim Streifenzugversuch geringer an, als bei den übrigen Produktreihen. Dies gilt auch für die Reihe H, obwohl nur leichte Gewebe untersucht worden sind. Bei W 30 und W 50 zeigt sich die Trennung in zwei Bereiche allerdings deutlicher als bei W 100, sie ist demnach im wesentlichen durch das Anfangsverformungsverhalten der Produkte bedingt.

Insgesamt ist auch bei der aufzuwendenden Verformungsarbeit eine ausgeprägte Korrelation zwischen den Ergebnissen der Stempeldurchdruckversuche und der einfachen Streifenzugversuche festzustellen. Ergänzend wurde für alle Korrelationen die Ausgleichsgeraden für sämtliche Versuche berechnet und in den Diagrammen (jeweils Bl.2) mit dargestellt.

5.2.4 Untersuchungen mit geringen Probenbreiten

Bei den untersuchten Geweben (Produktreihe H) zeigen wie bei den Höchstzugkräften die Proben mit einer Breite von 50 mm im Streifenzugversuch ein ähnliches Verhalten wie die Normalproben ($b_0 = 200$ mm). Beim Verhältnis der aufzuwendenden Verformungsarbeit wurden jedoch größere Streuungen zwischen 1:3,3 und 1:5,2, bei der Probe Nr. H 31 zwischen 1:6,0 und 1:7,7 festgestellt. Die Randinflüsse und örtlichen Inhomogenitäten wirken sich demnach bei der Verformungsarbeit stärker aus, als bei der Höchstzugkraft. Dies wird auch durch die gegenüber den Normalproben im allgemeinen höheren Variationskoeffizienten bestätigt.

5.3 Anmerkungen zu den Anlagen

Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind dem Bericht nur diejenigen Diagramme als Anlagen beigegeben, in denen die gefundenen Korrelationen jeweils für alle Produktreihen gemeinsam als Geraden- oder Kurvenscharen dargestellt sind. Diese ermöglichen auch einen Vergleich der einzelnen Produktreihen untereinander. Einzelergebnisse der verschiedenen Versuchsserien sind aus den Tabellen der Anlagen 2 und 7 zu entnehmen.

6. Folgerungen

Im Zusammenhang mit der Auswertung wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, daß bei den durchgeführten Untersuchungen deutlich ausgeprägte Korrelationen zwischen den Ergebnissen der Stempeldurchdruckversuche und der Streifenzugversuche bestehen. Insbesondere inner-

halb von Produktreihen können aus den Ergebnissen des einen Versuches mit im allgemeinen ausreichender Genauigkeit Rückschlüsse auf die Größenordnung der beim anderen Versuch zu bestimmenden Kenngrößen gezogen werden. Bei der Klassifizierung von Geotextilien sowie bei Eignungs- und Kontrollprüfungen kann deshalb davon abgesehen werden, Stempeldurchdruckversuche und Streifenzugversuche nebeneinander durchzuführen.

Im Hinblick auf den technischen Aufwand (bezüglich der Einspannung der Proben) läßt sich der Stempeldurchdruckversuch einfacher und auch in einem Baustellenlabor durchführen. Die dafür erforderliche technische Ausrüstung einschließlich der Prüfpresse ist üblicherweise in den meisten Materialprüfungslabors vorhanden bzw. läßt sich leicht ergänzen. Im Gegensatz dazu erfordert der Streifenzugversuch besondere Prüfmaschinen und -einrichtungen, die nur an speziell ausgerüsteten Materialprüfungsstellen vorhanden sind. Außerdem ist die unterschiedliche Beanspruchung der Proben in beiden Versuchen zu berücksichtigen. Beim Stempeldurchdruckversuch werden die zu untersuchenden Proben zentralsymmetrisch beansprucht und verformt, wobei sich anisotrope Eigenschaften nur wenig auswirken. Im Streifenzugversuch werden dagegen jeweils richtungsmäßig ausgewählte Proben auf Zug beansprucht, so daß ein anisotropes Verhalten gezielt untersucht werden kann.

Im Hinblick auf die allgemeine anwendungsbezogene Beanspruchung von Geotextilien empfiehlt es sich aus den genannten Gründen, den Stempeldurchdruckversuch für die Klassifizierung von Geotextilien bzw. für Eignungs- und Kontrollprüfungen vorzuziehen. Der allgemein mehr

"textilprüfungsmäßige" Streifenzugversuch ist aber eine wertvolle Ergänzung zur Untersuchung anisotroper Eigenschaften von Geotextilien, besonders wenn diese in der Praxis einseitigen richtungsabhängigen Beanspruchungen ausgesetzt sind.

Bei beiden Versuchen bleibt aus bodenmechanischer Sicht zu beachten, daß es sich lediglich um reine Materialprüfungen handelt, jedoch keine Aufschlüsse über das Verbundverhalten Boden-Geotextil gewonnen werden können.

7. Sonderversuche

Im Rahmen dieses Forschungsprogramms wurden am Prüfamf für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik der Technischen Universität München zusätzlich Vorversuche zur Prüfung von Durchdrück- und Durchschlagwiderstand von Geotextilien auf einer normierbaren Unterlage durchgeführt. An zwei ausgewählten Vliesen (Nadelvlies aus Endlofasern in Wirrlage und Stapelfaservlies, mechanisch und thermisch verfestigt) wurden Kegelfallversuche und Durchdrückversuche mit verschiedenen, gegenüber dem CBR-Stempel im Durchmesser wesentlich verkleinerten Stempeln durchgeführt. Die Verringerung der Abmessungen wurde vorgenommen, um ohne seitliche Behinderung die Ausbildung eines Bruches im Boden noch innerhalb des CBR-Topfes mit 15 cm Durchmesser zu gewährleisten. Alle Versuche wurden zunächst mit der üblichen Einspannung nach DIN 54 307 über dem "leeren" Topf vorgenommen.

Bei den weiteren Versuchen wurde der Topf mit folgenden Materialien gefüllt:

- Wasser
- Bentonit
- Kaolin

und die Versuche wiederholt. Die Versuche mit Wasser und Bentonit erbrachten keine brauchbaren Ergebnisse. Dagegen stellten sich bei der verwendeten Kaolinsorte in Abhängigkeit vom Einbauwassergehalt im Boden-Geotextil-System Eindring- und Bruchvorgänge ein, die Aussichten auf die Entwicklung einer sinnvollen Prüfmethodik erkennen lassen. Da zu wenig Versuchsergebnisse vorliegen, können im Rahmen dieses Forschungsberichts noch keine Einzelheiten mitgeteilt werden. Es erscheint jedoch vielversprechend, den eingeschlagenen Weg mit Durchdruckversuchen und vergleichsweise mit Kegelfallversuchen in einem zusätzlichen Forschungsvorhaben weiter zu verfolgen, um zu einem Laborprüfverfahren zu kommen, das den ursprünglichen Überlegungen (Eindrücken eines Grobkorns unter Belastung in ein im Boden verlegtes Geotextil bzw. Eindringen eines herabfallenden kantigen Kornes in das Geotextil) auf einer normierbaren Bodenunterlage nahekommt.

8. Literaturangaben

- (1) Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien im Erdbau, Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau, Ausgabe 1983 der FGSV, Köln
- (2) ZITSCHER, F.F. et al.: Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen, im Erd- und Wasserbau (AK 14 DGEG), Die Bau-technik 59, Heft 5 und 6, 1982
- (3) VSS Vereinigung Schweizerischer Straßenfachleute: Schweizer Norm SN 640 550 "Geotextilien", insl. einschlägiger mitgeltender Prüfnormen
- (4) WILMERS, W.: Untersuchungen zur Verwendung von Geotextilien im Erdbau, Straße und Autobahn 31 (1980) Heft 2
- (5) MORITZ, K., MURRAY, H.: Comparison between different tensile tests and the Plunger-Puncture-Test (CBR Test). Proc. 2nd Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas, 1982, Vol. III
- (6) SCHRÖDER, H., MORITZ, K., WILMERS, W.: Untersuchung des Kraft-Dehnungs-Verhaltens von Geotextilien. Proc. 1st Nat. Symposium "Geotextilien im Erd- und Grundbau", Mainz 1984
- (7) FLOSS, R., HEERTEN, G., MURRAY, H., ZERFASS, K.-Ch.: Bauen mit Geotextilien. Bericht über die 2. Int. Conf. on Geotextiles, Las Vegas 1982, Straße und Autobahn 1983, Heft 1
- (8) Hinweise, Anregungen und Informationen aus dem AA 5.15 der FGSV "Anwendung von Geotextilien im Straßenbau", Entwurf des Merkblattes Teil 1 und 2.

Hersteller (Produktreihe)	Probe-Nr. (Produkt)	Rohstoff	V = Vlies G = Gewebe	Faserart	Verfesti- gungsart	Flächen- gewicht lt. Hersteller (g/m ²)
A	1	P E S	V	Filament	mechanisch	150
	2	"	V	"	"	200
	3	"	V	"	"	270
B	4	"	V	"	"	150
	5	"	V	"	"	175
	6	"	V	"	"	225
	7	"	V	"	"	350
C	8	"	V	"	"	200
	9	"	V	"	"	300
D	10	P P	V	"	"	140
	11	"	V	"	"	200
	12	"	V	"	"	280
	13	"	V	"	"	350
E	14	P P / P E	V	"	thermisch	70
	15	"	V	"	"	100
	16	"	V	"	"	140
	17	"	V	"	"	170
	18	"	V	"	"	190
	19	"	V	"	"	240
	20	"	V	"	"	280
	21	"	V	"	"	350
F	22	P E S	V	"	"	140
	23	"	V	"	"	200
	24	"	V	"	"	250
G	25	P P	V	Stapelfaser	mech., +therm.	100
	26	"	V	"	"	140
	27	"	V	"	"	160
	28	"	V	"	"	230
	29	"	V	"	mechanisch	320
	30	"	V	"	mech., +therm.	400
H	31	"	G	Bändchen	gewebt	95
	32	"	G	"	"	135
	33	"	G	Spießfäden	"	190
	34	"	G	"	"	335
	35	"	G	"	"	525
I	36	P E S	Gitter	Multifil	gew., +therm.	225
	37	"	Verbundstoff	Spinnfaser + G	gew., +mech.	ca. 650
K	38 39 40 41	wegen Beschädigung der Probenstücke beim Transport nicht untersucht. Wunsch auf Nachlieferung nicht erfüllt,				

Anmerkung: Soweit möglich, wurden einzelne Angaben aus den Prospekten oder anderen Unterlagen ergänzt. (Siehe Hinweise im Abschnitt 3.1)

Tabelle 1: Zusammenstellung der zur Verfügung gestellten Produkte

Kennwert	v %	Anzahl und Anteil (%) der Proben mit v bzw. $v_m =$						
	v_m %	0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	>30%
m_A	0,8-12,9	10(27)	22(59)	5(14)	-	-	-	-
a	1,8-11,2	26(70)	9(24)	2(6)	-	-	-	-
D	1,9-23,9	4(11)	17(49)	8(23)	5(14)	1(3)	-	-
V	3,0-14,1	17(48)	16(46)	2(6)	-	-	-	-
F_H richtungs- abhängig	1,3-19,9	84(32)	120(46)	41(16)	15(6)	-	-	-
F_H allgemein	3,1-29,8	3(8)	15(40)	10(27)	4(11)	4(11)	1(3)	-
ϵ_H richtungs- abhängig	0,0-19,0	97(37)	128(49)	31(12)	4(2)	-	-	-
ϵ_H allgemein	5,0-30,8	2(5)	17(46)	9(25)	2(5)	1(3)	4(11)	2(5)

Tabelle 2: Streubereich der Versuchsergebnisse bei den Versuchsserien

Rohstoff	Verfestigung	Flächen- gewicht σ_A	v bzw. v_B (%)						
			Material- dicke a	Durchdrück- kraft D	Bruchver- formung V	Höchstzugkraft F_H		Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H	
						richtungsab- hängig	allgemein	richtungsab- hängig	allgemein
P E S	mechanisch	2,8 - 10,4	1,8 - 7,2	6,1 - 15,7	3,6 - 5,9	2,5 - 19,2	5,0 - 29,8	1,7 - 10,7	5,0 - 30,1
	thermisch	5,5 - 5,9	3,1 - 5,0	8,6 - 12,3	7,9 - 9,1	2,4 - 11,0	6,3 - 10,1	2,8 - 17,8	8,9 - 11,8
P P P P/P E	mechanisch	5,1 - 6,5	3,0 - 5,4	5,3 - 7,7	2,5 - 5,8	2,1 - 9,4	4,8 - 12,0	2,0 - 11,9	9,3 - 29,8
	thermisch	4,7 - 11,8	3,1 - 10,5	7,5 - 23,9	3,0 - 11,4	1,5 - 19,9	6,9 - 13,8	2,0 - 19,0	5,4 - 11,5
	mechanisch + thermisch	6,9 - 12,9	3,7 - 11,2	5,7 - 16,7	4,0 - 14,1	1,4 - 17,9	16,3 - 22,6	2,8 - 15,5	9,8 - 14,5
	Gewebe	0,8 - 1,8	2,0 - 7,5	1,9 - 4,0	4,2 - 8,2	1,3 - 6,5	3,1 - 12,2	0,0 - 13,5	8,3 - 30,8

Tabelle 3: Streubereich der Versuchsergebnisse bei Produktgruppen

Produktreihe (Hersteller)	Dargestellte Richtungen	
	F_H	τ_H
A	alle Richtungen gemeinsam	
B	l, q, d	l, q, d
C (1)	l, q	l, q
D	alle Richtungen gemeinsam	l, q, d
E	l, q	alle Richtungen gemeinsam
F	alle Richtungen gemeinsam	
G	l, q, d	l, q, d
H (1)	l, q	l, q

(1) Einfache Streifenzugversuche wurden nur längs und quer zur Herstellungsrichtung durchgeführt

l = parallel zur Herstellungsrichtung

q = unter 90° zur Herstellungsrichtung

d = unter 45° und 135° zur Herstellungsrichtung

Tabelle 4: Übersicht über die anisotropen Eigenschaften der Produktreihen

	v % v _m %	Anzahl und Anteil (%) der Proben mit v bzw. v _m =						
		0-5%	5-10%	10-15%	15-20%	20-25%	25-30%	>30%
Stempel- durch- druck versuch	W 100	4,4-30,1	2(6)	12(34)	13(37)	5(14)	1(3)	1(3)
	W 50	3,4-29,8	2(6)	12(34)	12(34)	4(14)	3(9)	-
	W 30	3,7-29,1	3(9)	12(34)	11(31)	5(14)	3(9)	-
Streifenzugversuch	W 100 richtungs- abhängig	2,4-39,1	18(7)	79(31)	86(33)	42(16)	18(7)	11(4)
	W 100 allgemein	8,7-36,4	-	5(14)	10(27)	10(27)	4(11)	6(16)
	W 50 richtungs- abhängig	2,3-51,8	26(10)	103(40)	62(24)	37(14)	13(5)	10(4)
	W 50 allgemein	7,6-52,2	-	6(16)	4(11)	11(29)	7(19)	4(11)
	W 30 richtungs- abhängig	2,8-51,8	24(9)	96(37)	49(19)	37(14)	21(8)	19(8)
	W 30 allgemein	8,6-72,6	-	3(8)	7(19)	4(11)	9(24)	4(11)

Tabelle 5: Streubereich der Untersuchungsergebnisse bei den Versuchsreihen

Rohstoff	Verfestigung	v bzw. v_n %								
		Stempeldurchdruckversuch			Streifenzugversuch					
		W 100	W 50	W 30	W 100		W 50		W 30	
					richtungs- abhängig	allgemein	richtungs- abhängig	allgemein	richtungs- abhängig	allgemein
P E S	mechanisch	7,3 - 19,1	6,5 - 16,8	7,2 - 16,2	3,7 - 24,7	8,7 - 28,2	2,3 - 19,9	7,6 - 22,4	3,2 - 20,3	8,6 - 33,0
	thermisch	13,5 - 17,3	12,7 - 16,1	12,1 - 15,6	6,4 - 22,7	13,4 - 17,1	6,3 - 51,8	19,5 - 31,6	10,2 - 39,3	24,6 - 28,6
P P P P / P E	mechanisch	7,7 - 11,9	6,4 - 10,2	6,4 - 10,3	4,2 - 22,8	27,5 - 36,4	2,3 - 15,6	24,5 - 30,7	2,8 - 17,5	24,5 - 32,7
	thermisch	9,3 - 30,1	9,1 - 29,8	8,9 - 29,1	2,4 - 39,2	9,5 - 23,0	3,9 - 32,9	8,3 - 20,6	4,4 - 36,5	10,6 - 25,1
	mechanisch thermisch	9,0 - 27,0	8,0 - 24,2	8,7 - 23,2	5,3 - 38,7	17,9 - 31,2	5,3 - 41,6	16,1 - 41,8	3,8 - 51,8	12,6 - 52,0
	Gewebe	4,4 - 9,1	3,4 - 9,7	3,7 - 0,2	3,5 - 17,5	11,1 - 24,5	2,7 - 13,6	8,6 - 23,3	2,5 - 15,4	12,2 - 44,3

Tabelle 6: Streubereich der Ergebnisse bei Produktgruppen

Produktreihe (Hersteller)	Dargestellte Richtungen		
	W 30	W 50	W 100
A	alle Richtungen gemeinsam		
B	l, q, d	l, q, d	l, q, d
C (1)	l, q	l, q	l, q
D	l, q, d,	l, q, d	l, q, d
E	alle Richtungen gemeinsam		
F	alle Richtungen gemeinsam		
G	l, q, d,	l, q, d	l, q, d
H (1)	l, q	l, q	l, q

(1) Einfache Streifenzugversuche wurden nur längs und quer zur Herstellungsrichtung durchgeführt

l = parallel zur Herstellungsrichtung

q = unter 90° zur Herstellungsrichtung

d = unter 45° und 135° zur Herstellungsrichtung

Tabelle 7: Übersicht über die anisotropen Eigenschaften der Produktreihen

Angaben des Herstellers:

Name des Herstellers:

Bezeichnung des Produktes:

Herstellungsort:

Sollgewicht je m² (nach DIN 53854):

mit Herstellertoleranz:

Dicke (nach DIN 53855 Teil 1, Prüfstempel: 20 cm², Meßdruck 2 kN/m²):

a) Faserrohstoff - Schmelzpunkt:

b) bei Fasergemischen: Mengenverhältnis in Gew.%
und Angaben wie unter a):

c) bei Bikomponenten: Art (z.B. Kern/Mantel, Seite an Seite usw.)
Mengenverhältnis in Gew.%
und Angaben wie unter a):

c) Bindeart (ggfs. Schmelzpunkt, Bindefasern oder Mantel der Faser):

Länge der Fasern:

Durchmesser der Fasern:

Einzelfasern oder Garne:

Faserablage (orientiert - Kreuzlage - Wirrlage - Vliese):

Verfestigungsart:

Kombination mit Netzen, Folien, Fadengelegen etc.:

a) Angabe der Richtung:

b) Art und Rohstoff der benutzten Netze etc.:

Soweit Sonderuntersuchungen bzw. besondere Eigenheiten vorliegen,
wird um Mitteilung gebeten.

Anmerkung:

Bitte alle Probestücke einzeln kennzeichnen und die Herstellungsrichtung
angeben.

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Höchstzugkraft F_H			Höchstzugkraft - Dahmung E_H			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%		g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
A 1	l	50	1552	152,6	9,8	81,8	2,3	2,8	56	1490	103,8	7,0	61,3	2,9	4,7	25 x 25	159,0	5,0	3,2	20	1,50	0,04	2,7
	l	50	1623	72,4	4,5	53,6	5,4	6,4	56	1482	82,2	5,5	62,1	1,8	2,9	25 x 25	150,2	7,2	4,1	20	1,78	0,04	2,4
	q	50	1833	144,4	7,3	67,6	3,2	4,7								Ø 11,3	157,4	5,7	3,6				
	q	50	1348	103,9	5,9	68,2	2,7	3,9								Ø 11,3	156,2	6,2	4,0				
	dr	50	1774	120,0	6,8	72,3	1,5	2,0								20 x 22	161,6	5,2	3,2				
	dr	50	1715	83,2	4,9	76,4	2,5	3,3								20 x 22	160,1	7,9	5,0				
	dl	50	1838	121,1	6,6	75,6	4,7	6,2															
	dl	50	1855	78,2	4,2	72,8	3,7	5,1															
A 2	l	50	2216	205,3	9,3	70,8	3,1	4,4	56	1913	132,2	6,9	60,2	2,8	4,6	25 x 25	208,7	4,0	1,9	20	2,36	0,03	1,5
	l	50	2273	66,0	2,9	72,0	1,2	1,7	57	1856	184,0	9,9	59,2	2,8	4,7	25 x 25	209,5	6,7	3,2	20	2,37	0,05	2,1
	q	50	2294	66,8	2,9	81,6	6,2	7,6								Ø 11,3	205,7	11,0	5,7				
	q	50	2162	94,0	4,3	81,8	4,7	5,8								Ø 11,3	209,0	6,3	3,3				
	dr	50	2222	133,4	6,0	76,8	5,2	6,8								20 x 22	207,5	4,1	2,0				
	dr	50	2319	95,2	4,1	76,4	3,0	3,9								20 x 22	205,3	4,9	2,4				
	dl	50	2278	82,4	3,6	73,2	2,6	3,5															
	dl	50	2291	92,0	4,0	75,6	3,0	3,9															
A 3	l	50	3428	209,5	6,1	66,6	3,6	5,4	56	2795	277,8	9,9	57,8	3,3	5,8	25 x 25	270,1	7,0	2,6	20	2,73	0,16	3,5
	l	50	3140	177,8	5,7	65,0	2,6	3,9	56	2939	251,1	8,5	59,5	3,6	6,1	25 x 25	269,4	5,6	2,1	20	2,59	0,07	2,7
	q	50	3152	150,8	4,8	71,6	2,3	3,2								Ø 11,3	268,0	9,3	3,5				
	q	50	3269	175,3	5,4	71,4	2,4	3,4								Ø 11,3	272,6	10,7	3,9				
	dr	50	3245	210,7	6,5	69,8	4,0	5,7								20 x 22	267,7	6,1	2,3				
	dr	50	3234	166,5	5,1	70,8	3,0	4,2								20 x 22	269,0	4,9	1,8				
	dl	50	3225	155,7	4,8	68,0	1,7	2,5															
	dl	50	3314	176,7	5,3	68,4	2,4	3,5															

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Rich- tung	v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft- Dehnung ε_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich	Var- Koeff	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich	Var- Koeff
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
Gesamtauswertung:																							
A 1			1774	167,2	9,4	74,9	6,3	0,4		1486	91,2	6,1	62,0	2,4	3,8		158,9	6,3	3,9		1,70	0,05	2,5
A 2			2257	113,5	5,0	76,0	5,3	6,9		1885	158,7	8,4	59,7	2,0	4,6		207,7	6,8	3,3		2,36	0,04	1,7
A 3			3251	184,0	5,7	68,0	3,4	5,0		2967	268,2	9,4	58,7	3,5	5,9		269,5	7,4	2,8		2,66	0,11	4,1

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Mäxstzugkraft F_N			Mäxstzugkraft-Dehnung ε_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabw.	Verf. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabw.	Verf. Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%		g/m ²	g/m ²	%		mm	mm	%
B 4	l	50	712	116,6	16,4	83,8	6,8	8,1	56	912	118,9	13,0	69,1	2,3	3,3	25 x 25	141,9	6,4	4,5	20	2,57	0,09	3,5
	l	50	659	98,9	15,0	84,6	5,2	6,1	56	1100	137,3	12,5	66,6	2,9	4,4	25 x 25	160,9	14,5	9,0	20	2,70	0,16	5,8
	q	50	1422	92,3	6,5	69,8	3,0	4,2								Ø 11,3	140,2	17,3	12,3				
	q	50	1285	127,1	9,9	70,2	1,9	2,7								Ø 11,3	164,9	17,8	10,8				
	dr	50	766	80,3	10,5	80,2	5,1	6,4								20 x 22	150,0	7,2	4,8				
	dr	50	872	92,6	10,6	83,4	8,9	10,7								20 x 22	144,2	9,2	6,4				
	dL	50	893	158,5	17,7	82,0	2,6	3,1															
	dL	50	869	106,8	12,3	76,6	6,5	8,4															
8 5	l	50	1100	57,4	5,2	86,0	4,6	5,4	56	1253	150,6	12,0	69,6	3,8	5,5	25 x 25	180,9	14,1	7,8	20	2,47	0,09	3,6
	l	50	1100	38,2	3,5	85,4	1,8	2,1	56	1209	185,4	15,3	68,3	4,2	6,2	25 x 25	179,4	16,2	9,0	20	2,49	0,11	4,3
	q	50	1727	242,5	14,0	82,0	3,2	4,0								Ø 11,3	169,8	8,5	5,0				
	q	50	1818	52,9	2,9	83,0	1,6	1,9								Ø 11,3	176,7	10,5	6,0				
	dr	50	1484	229,5	15,5	91,2	3,3	3,6								20 x 22	173,5	8,8	5,1				
	dr	50	1414	169,0	12,0	88,0	2,5	2,8								20 x 22	172,6	4,1	2,4				
	dL	50	1834	147,0	8,0	83,4	4,3	5,1															
	dL	50	1756	144,2	8,2	84,6	5,5	6,5															
8 6	l	50	1651	145,6	8,8	75,8	2,4	3,2	56	1706	155,8	9,1	60,7	1,9	3,1	25 x 25	234,1	10,7	4,6	20	2,66	0,08	3,1
	l	50	1533	128,5	8,4	74,4	3,0	4,0	56	1724	145,1	8,4	60,1	1,8	3,1	25 x 25	229,8	8,8	3,8	20	2,59	0,05	2,1
	q	50	2701	216,6	8,0	72,6	1,3	1,8								Ø 11,3	222,8	11,5	5,2				
	q	50	2472	62,5	2,5	73,0	1,4	1,9								Ø 11,3	222,4	7,2	3,2				
	dr	50	1895	364,1	19,2	83,2	1,5	1,8								20 x 22	237,7	10,7	4,5				
	dr	50	1913	115,5	6,0	79,4	6,7	8,5								20 x 22	216,5	6,4	3,0				
	dL	50	2344	140,6	6,0	76,2	6,3	8,2															
	dL	50	2202	245,9	11,2	77,2	8,2	10,7															

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		V	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugverl.-Dehnung ε_N			V	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.
			Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.	Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.		Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.	Mittelwert	Standabw.	Ver. Koeff.								
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
B 7	l	50	2469	115,2	4,7	82,4	2,1	2,5	56	2730	176,6	6,5	58,4	2,0	3,4	25 x 25	351,6	16,8	4,8	20	3,31	0,06	1,9
	l	50	2498	146,6	5,9	82,8	3,5	4,2	56	2602	170,6	6,6	57,6	2,4	4,2	25 x 25	352,9	18,0	5,1	20	3,32	0,04	1,3
	q	50	4142	273,7	6,6	66,0	2,1	3,2								Ø 11,3	352,1	12,0	3,4				
	q	50	4184	249,8	6,0	68,2	3,3	4,8								Ø 11,3	383,0	8,7	2,3				
	dr	50	2696	175,8	6,5	83,2	6,0	7,2								20 x 22	340,8	12,7	3,7				
	dr	50	2786	150,1	5,4	83,4	3,2	3,8								20 x 22	341,4	13,1	3,8				
	dL	50	3122	346,5	11,1	70,4	2,5	3,6															
	dL	50	3295	262,2	8,0	71,2	2,5	3,5															
Gesamtauswertung:																							
B 4			935	278,3	29,8	78,8	7,5	9,6		1006	157,9	15,7	67,9	2,9	4,2		150,4	15,6	10,4		2,64	0,14	5,4
B 5			1529	320,8	21,0	85,5	4,3	5,0		1231	165,9	13,5	69,0	4,0	5,7		175,5	11,3	6,4		2,48	0,10	3,8
B 6			2089	426,7	20,4	76,5	5,4	7,0		1715	146,8	8,6	60,4	1,8	3,0		227,2	11,6	5,1		2,63	0,08	2,9
B 7			3149	682,4	21,7	76,0	7,9	10,3		2666	181,3	6,8	58,0	2,2	3,8		353,6	19,4	5,5		3,32	0,05	1,6

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standardabweich.	Var.-Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standardabweich.	Var.-Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%		g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
C 8	l	50	4043	639,4	15,8	27,0	1,6	5,9	56	2653	323,8	12,2	42,1	1,5	3,7	25 x 25	223,4	19,3	8,6	20	1,80	0,09	4,3
	l	50	4700	612,3	14,9	28,4	1,3	4,7	56	2619	209,6	8,0	42,6	1,6	3,8	25 x 25	230,5	14,7	6,4	20	1,87	0,06	3,1
	q	50	3459	486,0	14,1	49,2	3,8	7,7								Ø 11,3	222,6	20,9	9,4				
	q	50	3645	379,8	10,4	50,4	3,6	7,1								Ø 11,3	236,9	20,5	8,6				
C 9																20 x 22	227,9	24,8	10,9				
																20 x 22	231,8	16,6	7,1				
	l	50	5732	794,1	13,9	36,6	1,5	4,2	57	4588	847,8	18,3	51,4	1,9	3,6	25 x 25	384,4	44,0	11,4	20	2,75	0,15	5,5
	l	50	5988	1128,6	18,8	36,4	1,3	3,7	56	4353	369,8	8,5	48,5	1,6	3,3	25 x 25	357,5	35,8	10,0	20	2,55	0,18	7,0
Gesamtauswertung:																Ø 11,3	375,0	31,8	8,5				
																Ø 11,3	353,4	39,5	11,2				
																20 x 22	363,3	26,9	7,4				
																20 x 22	352,5	25,3	7,2				
C 8			3812	566,7	14,9	38,8	11,6	30,1		2636	266,0	10,1	42,4	1,5	3,6		228,9	19,5	8,5		1,83	0,08	4,4
C 9			5814	733,5	12,6	44,4	8,5	19,1		4471	644,2	14,4	50,0	2,3	4,5		364,4	35,1	9,6		2,65	0,19	7,2

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch								Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Rich- tung	v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft- Dehnung ε_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var.- Koeff.	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var.- Koeff.	
			Mittel- wert	Stand- abweich.	Var.- Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var.- Koeff.		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var.- Koeff.	cm	g/m ²	g/m ²									%
D 10	l	50	2014	159,5	7,9	84,0	3,4	4,0	55	1571	116,3	7,4	37,8	1,6	4,3	25 x 25	164,8	5,3	3,2	20	1,61	0,06	3,9	
	l	50	1991	185,3	9,3	86,2	4,3	5,0	56	1565	132,3	8,5	36,2	1,9	5,2	25 x 25	164,1	6,0	3,6					
	q	50	1824	91,1	5,0	39,0	1,7	4,4								Ø 11,3	172,8	11,9	6,9					
	q	50	1905	145,7	7,6	41,0	2,7	6,7								Ø 11,3	164,5	15,4	9,4					
	dr	50	1738	110,2	6,3	47,8	4,4	9,2																
	dr	50	1787	120,1	6,7	56,0	5,3	9,5																
	d1	50	1786	101,5	5,7	57,8	6,9	11,9																
	d1	50	1880	117,1	6,2	56,0	5,7	10,3																
D 11	l	50	2953	145,8	4,9	86,2	4,8	5,5	55	2100	141,2	6,7	38,8	2,1	5,4	25 x 25	213,7	8,2	3,8	20	1,99	0,08	3,8	
	l	50	2860	249,2	8,7	85,6	8,8	10,2	56	2147	167,7	7,8	41,4	1,8	4,3	25 x 25	216,1	10,3	4,8					
	q	50	2434	77,7	3,2	42,2	2,8	6,6								Ø 11,3	218,2	14,5	6,7					
	q	50	2433	118,6	4,9	45,2	2,4	5,3								Ø 11,3	212,2	17,0	8,0					
	dr	50	2439	229,0	9,4	57,4	5,1	8,9																
	dr	50	2713	119,0	4,4	57,4	5,8	10,1																
	d1	50	2587	118,8	4,6	56,6	4,7	8,2																
	d1	50	2448	75,5	3,1	60,8	3,0	5,0																

140

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a				
		v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft-Dehnung ε_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%									cm
D 12	l	50	3343	208,8	6,2	82,6	5,0	6,0	55	3094	175,5	5,7	39,0	1,7	4,4	25 x 25	312,7	11,5	3,7	20	2,61	0,08	3,0	
	l	50	3526	126,3	3,6	88,4	3,6	4,0	56	3112	165,2	5,3	38,8	1,5	3,9	25 x 25	310,5	12,0	3,9					
	q	50	3521	219,3	6,2	39,0	2,9	7,5								Ø 11,3	314,1	25,7	8,2					
	q	50	3678	152,9	4,2	41,8	1,6	3,9								Ø 11,3	302,7	18,7	6,2					
	dr	50	3482	92,9	2,7	51,6	2,6	5,1																
	dr	50	3554	93,5	2,6	55,8	2,9	5,3																
	dL	50	3417	155,2	4,5	59,6	4,7	7,9																
	dL	50	3409	99,9	2,9	60,3	1,9	3,2																
D 13	l	50	3586	163,9	4,6	98,2	1,9	2,0	55	3417	136,7	4,0	43,4	1,2	2,8	25 x 25	363,5	21,0	5,8	20	3,02	0,10	3,2	
	l	50	3539	214,9	6,7	95,6	8,0	8,4	56	3139	183,8	5,9	42,0	2,0	4,9	25 x 25	343,1	11,8	3,4					
	q	50	3818	163,8	4,3	47,8	3,8	7,9								Ø 11,3	355,8	19,1	5,4					
	q	50	3801	117,4	3,1	47,0	2,3	5,0								Ø 11,3	343,0	21,4	6,3					
	dr	50	3566	171,0	4,8	55,2	3,6	6,5																
	dr	50	3346	186,7	5,6	58,4	2,3	3,9																
	dL	50	3328	149,0	4,5	63,2	3,1	4,9																
	dL	50	3431	72,0	2,1	63,6	3,4	5,3																
Gesamtauswertung:																								
D 10				1866	152,7	8,2	58,5	17,4	29,8		1568	121,3	7,7	37,0	1,9	5,1		166,6	10,8	6,5		1,61	0,06	3,9
D 11				2608	243,1	9,3	61,4	16,2	26,4		2124	152,8	7,2	40,1	2,3	5,8		215,1	12,7	5,9		1,99	0,08	3,8
D 12				3491	168,4	4,8	60,0	17,0	28,3		3105	166,0	5,3	39,9	1,6	3,9		310,0	17,8	5,7		2,67	0,08	3,0
D 13				3552	228,0	6,4	66,1	19,3	29,1		3278	212,6	6,5	42,7	1,8	4,1		351,4	20,1	5,7		3,02	0,10	3,2

141

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Höchstzugkraft F_H			Dehnung ϵ_H			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabw.	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabw.	Var. Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%		g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
E 14	l	50	1039	55,2	5,3	18,0	1,9	10,4	55	619	123,8	20,0	20,1	2,6	12,9	25 x 25	68,9	4,3	6,2	20	0,46	0,01	3,1
	l	50	891	99,5	11,2	17,4	2,1	11,9	55	783	170,0	21,7	22,3	1,7	7,7	25 x 25	69,4	5,2	7,6				
	q	50	935	55,4	5,9	20,4	2,4	11,8								Ø 11,3	70,3	13,2	18,7				
	q	50	858	136,6	15,9	18,8	3,6	19,0								Ø 11,3	69,2	8,3	12,0				
	dr	50	911	114,5	12,6	18,4	1,1	6,2															
	dr	50	902	179,1	19,9	19,4	1,5	7,8															
	d1	50	828	62,5	7,5	17,4	1,7	9,6															
	d1	50	953	109,5	11,5	19,6	1,3	6,8															
E 15	l	50	1402	102,0	7,3	21,2	0,8	4,0	56	1228	177,2	14,4	26,1	1,9	7,4	25 x 25	106,3	6,8	6,4	20	0,67	0,04	6,1
	l	50	1364	148,6	10,9	20,4	1,3	6,7	56	1226	150,1	12,2	26,2	1,9	4,5	25 x 25	104,9	5,7	5,4				
	q	50	1248	178,2	14,3	20,4	0,6	2,7								Ø 11,3	109,3	8,4	7,7				
	q	50	1392	127,2	9,1	22,6	1,1	5,0								Ø 11,3	106,7	7,6	7,1				
	dr	50	1287	230,5	17,9	21,6	0,9	4,1								20 x 22	98,0	7,8	8,0				
	dr	50	1406	105,3	7,5	21,0	1,6	7,5								20 x 22	97,0	4,4	4,5				
	d1	50	1256	74,2	5,9	20,8	0,5	2,2															
	d1	50	1459	198,7	13,6	21,8	1,3	6,0															
E 16	l	50	1976	109,5	5,1	23,4	2,1	8,9	56	1769	198,7	11,2	30,5	1,8	5,7	25 x 25	135,6	8,4	6,2	20	0,75	0,04	5,9
	l	50	2089	214,5	10,3	23,2	1,9	8,3	56	1673	166,4	9,9	28,8	1,1	3,7	25 x 25	134,6	7,1	5,3				
	q	50	2089	196,5	9,4	24,0	1,9	8,0								Ø 11,3	133,3	7,5	5,6				
	q	50	2034	205,0	10,1	24,8	1,5	6,0								Ø 11,3	133,6	18,9	14,2				
	dr	50	2120	50,4	2,4	24,0	1,4	5,9															
	dr	50	2142	178,8	8,3	23,2	2,0	8,8															
	d1	50	1912	234,2	12,3	23,0	1,2	5,3															
	d1	50	2059	215,7	10,5	22,8	1,9	8,4															

142

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Höchstzugkraft F_H			Höchstzugkraft-Dehnung ϵ_H			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standardabweich	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standardabweich	Var. Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	EN/cm ²	mm	mm	%
E 17	l	50	1941	86,8	4,5	22,4	1,3	6,0	56	1875	290,5	15,5	28,0	1,8	6,4	25 x 25	165,7	21,8	13,2	20	1,94	1,11	17,4
	l	50	2163	272,9	12,6	23,6	1,8	7,7	56	1785	419,5	23,5	28,5	1,7	5,9	25 x 25	165,2	23,8	14,4	20	1,91	1,15	16,8
	q	50	2430	215,5	8,9	23,6	1,3	5,7								Ø 11,3	171,7	15,4	9,0				
	q	50	2642	342,4	13,0	24,4	1,1	4,7								Ø 11,3	160,8	15,2	9,5				
	dr	50	2410	190,3	7,9	24,4	2,1	8,5								20 x 22	166,5	6,9	4,2				
	dr	50	2292	239,9	10,5	25,0	2,1	8,5								20 x 22	168,6	14,7	8,7				
	dL	50	2608	196,8	7,5	24,8	1,3	5,2															
	dL	50	2210	392,5	17,8	25,4	1,7	6,6															
E 18	l	50	2273	167,1	7,4	22,4	1,8	8,1	56	2387	259,7	10,9	30,0	1,7	5,7	25 x 25	193,3	9,3	4,8	20	1,09	0,03	3,0
	l	50	2260	234,4	10,4	22,6	1,7	7,4	56	2252	247,2	11,0	29,5	1,5	5,2	25 x 25	193,4	8,0	4,1	20	1,11	0,04	3,4
	q	50	2818	132,5	4,7	24,2	1,3	5,4								Ø 11,3	188,4	24,8	13,2				
	q	50	3015	239,2	7,9	24,2	1,1	4,5								Ø 11,3	192,4	15,0	7,8				
	dr	50	2653	197,4	7,4	23,8	1,1	4,6								20 x 22	186,5	9,9	5,3				
	dr	50	2669	119,3	4,5	24,0	1,7	7,2															
	dL	50	2397	191,9	8,0	22,8	1,1	4,8															
	dL	50	2704	121,0	4,5	24,4	0,9	3,7															
E 19	l	50	3543	122,4	3,5	23,8	2,4	10,0	56	2929	163,2	5,6	30,0	1,1	3,6	25 x 25	223,8	7,9	3,5	20	1,23	0,05	4,0
	l	50	3567	169,6	4,8	23,0	1,0	4,3	56	2754	308,9	11,2	29,7	1,2	4,1	25 x 25	224,5	8,6	3,8	20	1,23	0,05	4,3
	q	50	3124	240,7	7,7	24,6	1,1	4,6								Ø 11,3	219,8	28,2	12,9				
	q	50	3029	150,7	5,0	23,2	0,8	3,6								Ø 11,3	217,6	17,3	7,9				
	dr	50	3286	226,0	6,9	25,4	2,1	8,2															
	dr	50	3443	179,6	5,2	24,2	0,8	3,5															
	dL	50	3272	251,6	7,7	25,2	1,8	7,1															
	dL	50	3379	120,6	3,6	23,8	1,6	6,9															

143

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Richtung	v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft-Dehnung E_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.
			Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.	Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.		Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.	Mittelwert	Standardabweich	Var.Koeff.								
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
E 20	l	50	3887	207,6	5,3	28,2	1,6	5,8	57	3478	357,1	10,3	32,2	1,5	4,6	25 x 25	267,7	12,9	4,8	20	1,30	0,05	3,9
	l	50	3770	220,7	5,9	28,8	0,8	2,9	56	3287	366,3	11,1	32,2	1,9	5,9	25 x 25	264,1	13,1	5,0	20	1,32	0,04	3,1
	q	50	4400	67,3	1,5	26,0	1,2	4,7								Ø 11,3	266,0	18,0	6,8				
	q	50	4263	75,6	1,8	27,4	1,5	5,5								Ø 11,3	269,1	10,5	3,9				
	dr	50	4058	170,2	4,2	26,2	0,8	3,2								20 x 22	268,3	9,0	3,4				
	dr	50	3817	214,7	5,6	27,0	1,2	4,5															
	d1	50	3967	292,5	7,4	26,2	0,8	3,2															
	d1	50	3859	210,3	5,4	28,2	1,1	3,9															
E 21	l	50	5069	211,8	4,2	27,0	2,0	7,4	56	4409	241,8	5,5	33,2	1,1	3,2	25 x 25	352,1	9,1	2,6	20	1,64	0,05	2,9
	l	50	4918	355,4	7,2	28,6	1,5	5,3	56	4157	350,2	8,4	33,1	1,0	2,9	25 x 25	341,5	11,7	3,4	20	1,59	0,09	5,5
	q	50	5638	207,4	3,7	27,6	0,5	2,0								Ø 11,3	350,7	15,5	4,4				
	q	50	5691	547,6	9,6	28,4	2,1	7,3								Ø 11,3	340,6	25,1	7,4				
	dr	50	5086	176,4	3,5	27,6	0,5	2,0								20 x 22	349,3	17,4	5,0				
	dr	50	5346	206,8	3,9	27,8	1,6	5,9															
	d1	50	5196	325,5	6,3	27,2	1,3	4,8															
	d1	50	5351	368,3	6,9	28,4	1,9	6,9															

[illegible]

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Rich- tung	v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft- Dehnung E_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
F 22	l	50	1849	171,6	9,3	42,0	4,4	10,4	56	1267	134,7	10,6	37,8	2,4	6,5	25 x 25	138,9	7,6	5,5	20	0,47	0,02	5,3
	l	50	1744	155,4	8,9	39,8	3,1	7,8	56	1318	134,0	14,0	39,4	4,2	10,7	25 x 25	137,4	7,6	5,6	20	0,47	0,02	4,9
	q	50	1639	166,9	10,2	41,0	7,3	17,8								Ø 11,3	142,2	4,0	2,8				
	q	50	1629	77,6	4,8	43,0	4,6	10,8								Ø 11,3	135,7	11,0	8,1				
	dr	50	1575	141,7	9,0	45,2	6,1	13,6								20 x 22	136,6	5,3	3,9				
	dr	50	1646	131,7	8,0	45,4	3,9	8,6								20 x 22	138,1	8,1	5,9				
	d1	50	1780	139,0	7,8	42,2	7,2	17,0															
	d1	50	1868	206,1	11,0	47,8	2,1	4,9															
F 23	l	50	2112	140,6	6,7	29,4	3,2	10,9	56	1657	106,8	6,4	31,8	2,1	6,7	25 x 25	203,6	10,3	5,0	20	0,68	0,02	3,2
	l	50	2241	53,8	2,4	36,6	2,5	6,9	56	1622	171,4	10,6	31,7	3,0	9,6	25 x 25	196,8	9,7	4,9	20	0,67	0,02	3,2
	q	50	2157	137,3	6,4	36,0	1,6	4,4								Ø 11,3	198,7	15,5	7,8				
	q	50	2257	156,1	6,9	39,8	1,8	4,5								Ø 11,3	201,9	11,6	5,7				
	dr	50	2134	164,4	7,7	36,2	5,4	14,8								20 x 22	199,4	11,8	5,9				
	dr	50	2148	227,5	10,6	37,2	1,3	3,5								20 x 22	201,4	8,9	4,4				
	d1	50	2086	218,6	10,5	37,4	2,8	7,5															
	d1	50	2258	101,6	4,5	37,8	1,6	4,3															

Produkt	Rich- tung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		V	Höchstzugkraft F_H			Höchstzugkraft- Dehnung ε_H			V	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich	Var- Koeff	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich	Var- Koeff
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/mm	N	N	%	%	%	%		g/m ²	g/m ²	%		mm	mm	%
F 24	l	50	3854	228,9	5,9	35,8	2,4	6,7	56	2644	290,5	11,0	33,3	3,3	10,0	25 x 25	262,6	11,2	4,3	20	0,97	0,04	3,0
	l	50	3578	222,9	6,2	38,8	2,6	6,7	56	2702	210,8	7,8	33,1	2,9	8,6	25 x 25	266,1	10,4	3,9	20	0,97	0,02	2,4
	q	50	3423	104,1	3,0	35,6	2,0	5,5								Ø 11,3	267,2	15,1	5,7				
	q	50	3770	127,1	3,4	40,6	1,1	2,8								Ø 11,3	264,7	18,3	5,9				
	dr	50	3602	235,4	6,5	37,0	3,3	9,0								20 x 22	269,3	21,2	7,9				
	dr	50	3430	121,8	3,6	33,4	2,1	6,2								20 x 22	271,7	17,3	6,4				
	dL	50	3673	246,1	6,7	37,6	4,1	10,9															
	dL	50	3479	128,1	3,7	36,2	3,5	9,6															
Gesamtauswertung:																							
F 22			1716	172,9	10,1	42,6	5,0	11,8		1293	159,1	12,3	38,6	3,4	8,9		138,2	7,6	5,5		0,47	0,02	5,0
F 23			2174	158,0	7,3	36,3	3,8	10,6		1640	140,2	8,6	31,8	2,5	7,9		200,3	11,2	5,6		0,68	0,02	3,3
F 24			3601	225,1	6,3	36,9	3,3	8,9		2673	248,8	9,3	33,2	3,0	9,1		267,3	15,6	5,9		0,97	0,03	3,1

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Rich- tung	V	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft- Dehnung ϵ_N			V	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
G 25	l	50	759	61,0	8,0	36,2	3,4	9,4	56	950	167,6	17,7	34,8	5,5	15,9	25 x 25	115,1	18,3	15,9	20	0,78	0,07	9,4
	l	50	802	30,3	3,8	38,8	5,0	12,8	56	832	104,0	12,5	31,4	3,0	9,5	25 x 25	105,7	7,8	7,3	20	0,71	0,05	6,8
	q	50	1141	79,0	6,9	43,4	3,0	7,0								∅ 11,3	117,7	11,2	9,5				
	q	50	1317	168,2	12,8	45,8	3,3	7,3								∅ 11,3	112,4	9,5	8,4				
	dr	50	1058	169,9	16,1	41,6	3,9	9,4															
	dr	50	1042	145,2	13,9	38,8	1,5	3,9															
	d1	50	1000	136,2	13,6	52,0	7,5	14,5															
	d1	50	744	131,9	17,7	43,2	5,4	12,4															
G 26	l	50	1466	123,3	9,4	52,6	5,9	11,2	55	1393	175,8	12,6	40,4	2,6	6,4	25 x 25	150,2	8,1	5,4	20	1,03	0,05	4,8
	l	50	1427	131,3	9,2	48,6	5,6	11,5	56	1378	94,0	6,8	40,8	1,5	3,7	25 x 25	147,9	3,6	6,5	20	1,04	0,03	2,6
	q	50	2118	264,0	12,5	53,2	5,4	10,1								∅ 11,3	153,0	13,3	8,7				
	q	50	2128	191,1	9,0	53,2	5,5	10,4								∅ 11,3	166,3	16,5	9,9				
	dr	50	1561	143,3	9,2	57,0	3,5	6,1															
	dr	50	1661	176,3	10,6	58,0	5,8	10,0															
	d1	50	1855	87,4	4,7	52,0	2,9	5,6															
	d1	50	1983	286,4	14,4	55,2	3,6	6,6															
G 27	l	50	1579	182,4	11,6	55,0	7,4	13,5	56	1417	175,5	12,4	45,5	3,7	8,1	25 x 25	164,1	13,0	7,9	20	0,85	0,05	5,8
	l	50	1464	94,8	6,5	49,4	4,0	8,0	56	1850	125,3	6,8	51,2	3,7	7,1	25 x 25	201,6	15,0	7,4	20	1,05	0,03	2,9
	q	50	2098	321,0	15,3	56,8	5,4	9,6								∅ 11,3	158,1	15,8	10,0				
	q	50	1905	181,4	9,5	61,2	4,0	6,5								∅ 11,3	165,9	14,7	8,9				
	dr	50	1871	153,6	8,2	64,0	5,0	7,8															
	dr	50	1841	274,6	14,9	57,5	5,8	10,1															
	d1	50	1815	267,1	14,7	56,6	5,2	9,2															
	d1	50	2014	359,8	17,9	57,0	8,9	15,5															

14,8

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a			
		V	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft-Dehnung E_N			V	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabw.	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabw.	Var. Koeff.
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%
G 28	1	50	2084	195,6	9,4	44,6	5,0	11,3	56	2019	243,1	12,0	40,7	2,3	5,7	25 x 25	218,2	17,6	8,1	20	1,17	6,09	8,0
	1	50	2129	158,5	7,4	44,6	4,3	9,7	56	2335	361,2	15,5	42,6	3,1	7,3	25 x 25	235,0	23,1	9,8	20	1,21	9,11	9,3
	q	50	2554	240,0	9,4	46,2	1,3	2,8								Ø 11,3	225,8	17,5	7,7				
	q	50	2767	243,6	8,8	49,0	2,5	5,2								Ø 11,3	231,2	14,0	6,1				
	dr	50	2370	378,7	16,0	54,8	3,2	5,8															
	dr	50	3089	298,7	9,7	55,2	4,8	8,6															
	dL	50	2686	294,4	11,0	49,0	4,5	9,2															
	dL	50	3174	267,4	8,4	53,4	6,0	11,2															
G 29	1	50	3708	313,1	8,4	97,6	6,3	6,5	55	3352	143,9	4,3	69,3	2,9	4,2	25 x 25	330,8	9,3	2,8	20	4,48	0,19	4,3
	1	50	3794	352,6	9,3	94,4	3,7	3,9	56	3292	246,1	7,5	69,3	2,0	2,9	25 x 25	327,3	18,0	5,5	20	4,32	0,26	6,1
	q	50	4746	280,0	5,9	88,2	5,8	6,5								Ø 11,3	325,4	18,0	5,5				
	q	50	4753	289,5	6,1	88,6	4,7	5,3								Ø 11,3	335,9	20,6	6,1				
	dr	50	4547	347,2	7,6	84,0	6,3	7,5															
	dr	50	4342	334,4	7,7	84,4	7,8	9,3															
	dL	50	3844	242,8	6,3	95,2	10,1	10,6															
	dL	50	3826	202,4	5,3	93,4	9,3	10,0															
G 30	1	50	3993	57,2	1,4	82,0	3,7	4,6	56	4151	268,4	6,5	55,5	1,9	3,5	25 x 25	418,9	31,3	7,5	20	2,49	0,13	5,0
	1	50	3828	224,6	5,9	82,2	5,9	7,2	55	4090	206,9	5,1	55,8	2,6	4,7	25 x 25	420,5	18,9	4,5	20	2,51	0,05	1,9
	q	50	6517	281,2	4,3	67,4	3,0	4,4								Ø 11,3	410,9	23,7	5,8				
	q	50	6299	260,7	4,1	69,2	3,7	5,3								Ø 11,3	437,4	36,5	8,3				
	dr	50	5070	509,2	10,0	78,4	8,1	10,4															
	dr	50	5072	125,0	2,5	82,4	5,4	6,5															
	dL	50	5917	303,2	5,1	72,6	4,6	6,4															
	dL	50	5582	455,8	8,2	72,8	10,0	13,7															

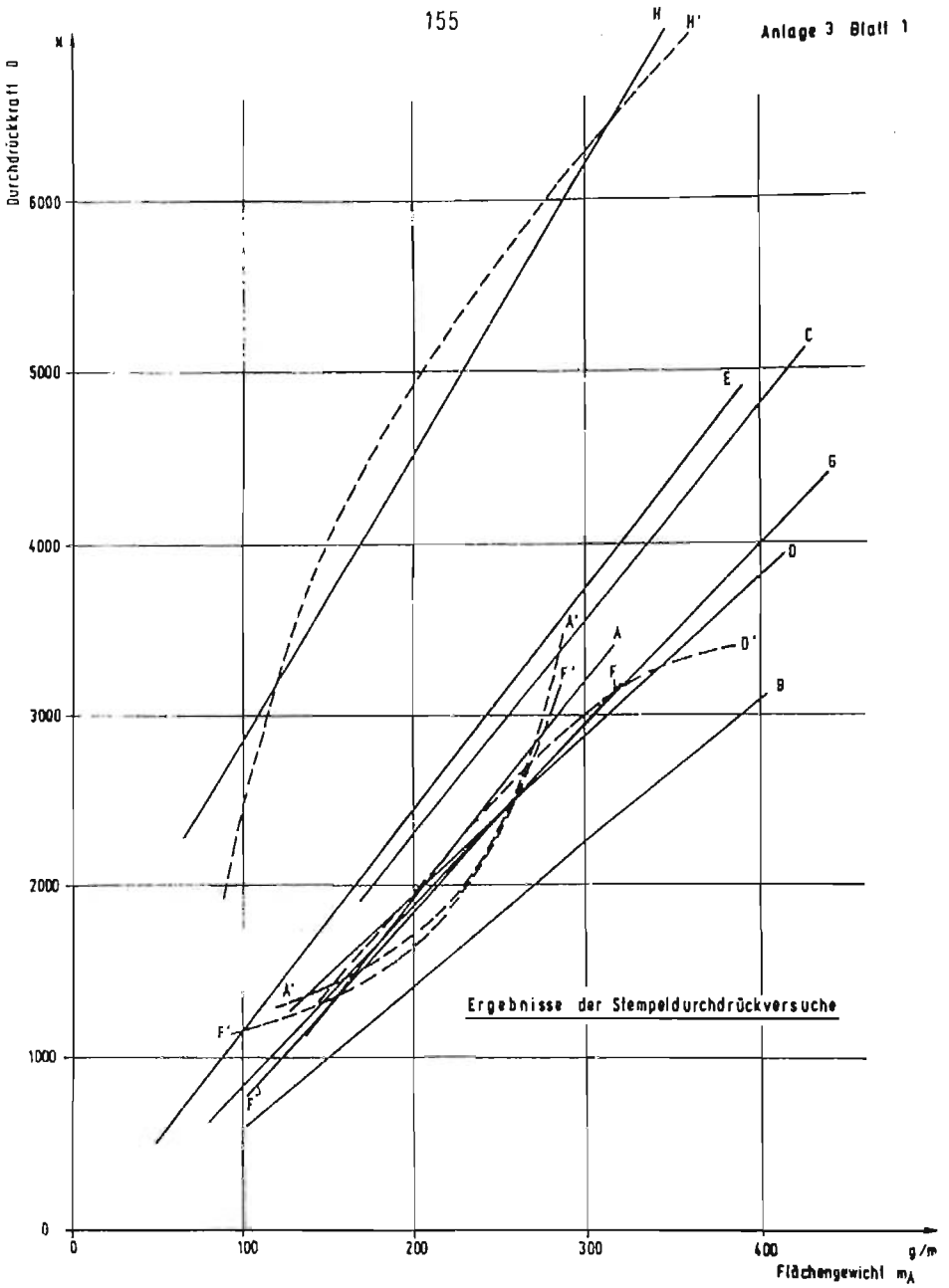
[illegible]

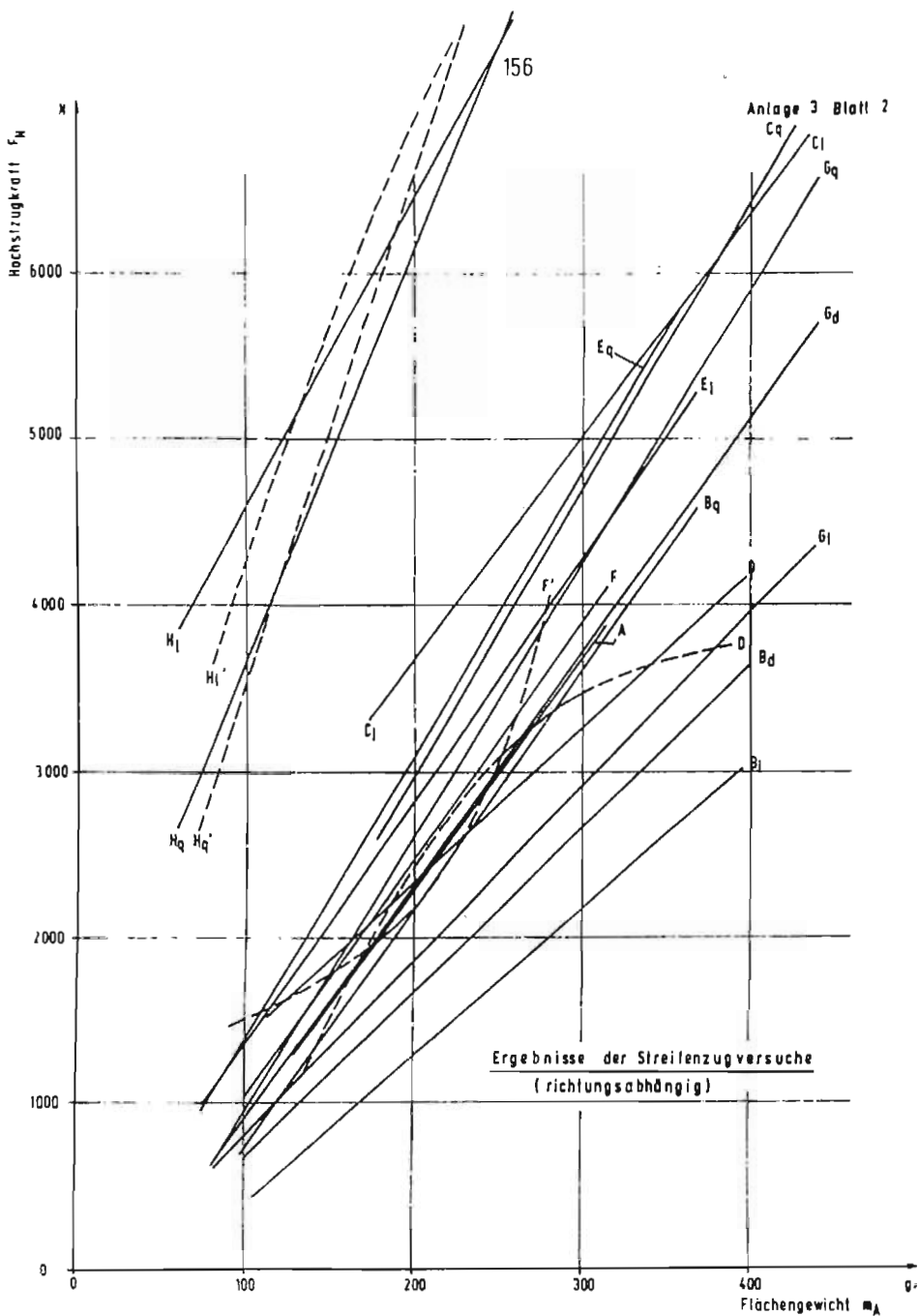
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch							Stempeldurchdruckversuch							Flächengewicht m_A				Dicke a				
		V	Höchstzugkraft F_H			Höchstzugkraft- Dehnung ϵ_H			V	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmes- sungen	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.	Meß- druck	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.	
			Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var- koeff.									
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%	
H 31	Breite 20 cm	l	50	4277	55,8	1,3	17,4	0,5	3,1	55	2488	61,2	2,5	21,5	1,1	5,2	25 x 25	100,2	1,1	1,1	20	0,36	0,02	5,4
		l	50	4215	103,3	2,5	17,6	0,9	5,1	56	2396	55,0	2,3	21,9	0,7	3,4	25 x 25	100,5	0,9	0,9	20	0,40	0,02	4,2
		q	50	3710	126,2	3,4	14,4	0,5	3,8								Ø 11,3	97,3	0,7	0,8				
		q	50	3609	234,4	6,5	15,0	0,7	4,7								Ø 11,3	97,7	1,4	1,4				
	Breite 5 cm	l	50	651	104,5	16,1	16,0	2,8	17,7															
		l	50	619	143,3	23,2	16,6	3,8	22,8															
		q	50	513	42,5	8,3	15,6	3,7	23,4															
		q	50	615	142,8	23,2	16,6	3,6	21,6															
H 32	Breite 20 cm	l	50	5147	100,4	2,0	15,4	0,5	3,6	55	3742	74,4	2,0	23,9	0,8	3,4	25 x 25	135,9	1,0	0,7	20	0,61	0,02	2,6
		l	50	5058	79,5	1,6	16,2	0,8	5,2	55	3724	72,1	1,9	22,4	0,5	2,4	25 x 25	139,5	1,4	1,0	20	0,61	0,01	2,4
		q	50	4819	109,0	2,3	13,6	1,1	8,4								Ø 11,3	136,4	0,9	0,6				
		q	50	4909	63,3	1,3	14,6	0,5	3,8								Ø 11,3	136,9	0,7	0,5				
	Breite 5 cm	l	50	1049	54,1	5,2	16,6	1,1	6,9															
		l	50	1033	82,0	7,9	17,0	2,4	13,8															
		q	50	976	61,2	6,3	15,0	2,1	14,1															
		q	50	990	38,5	3,9	15,4	0,6	3,6															
H 33	Breite 20 cm	l	50	7100	299,3	4,2	18,0	0,0	0,0	56	4849	151,3	3,1	23,9	1,0	4,1	25 x 25	190,8	0,6	0,3	20	0,79	0,02	2,7
		l	50	7250	115,5	1,6	19,0	0,7	3,7	56	4688	181,7	3,9	24,7	1,1	4,6	25 x 25	192,2	1,1	0,6	20	0,85	0,03	3,5
		q	50	5873	108,1	1,8	13,0	0,7	5,4								Ø 11,3	194,0	4,6	2,4				
		q	50	5976	251,2	4,2	14,0	0,7	5,1								Ø 11,3	192,4	1,4	0,7				
	Breite 5 cm	l	50	1666	100,1	6,0	20,0	1,6	7,9															
		l	50	1721	41,1	2,4	21,0	2,1	10,1															
		q	50	1271	45,4	3,6	14,8	0,8	5,7															
		q	50	1359	58,7	4,3	15,2	1,6	10,8															

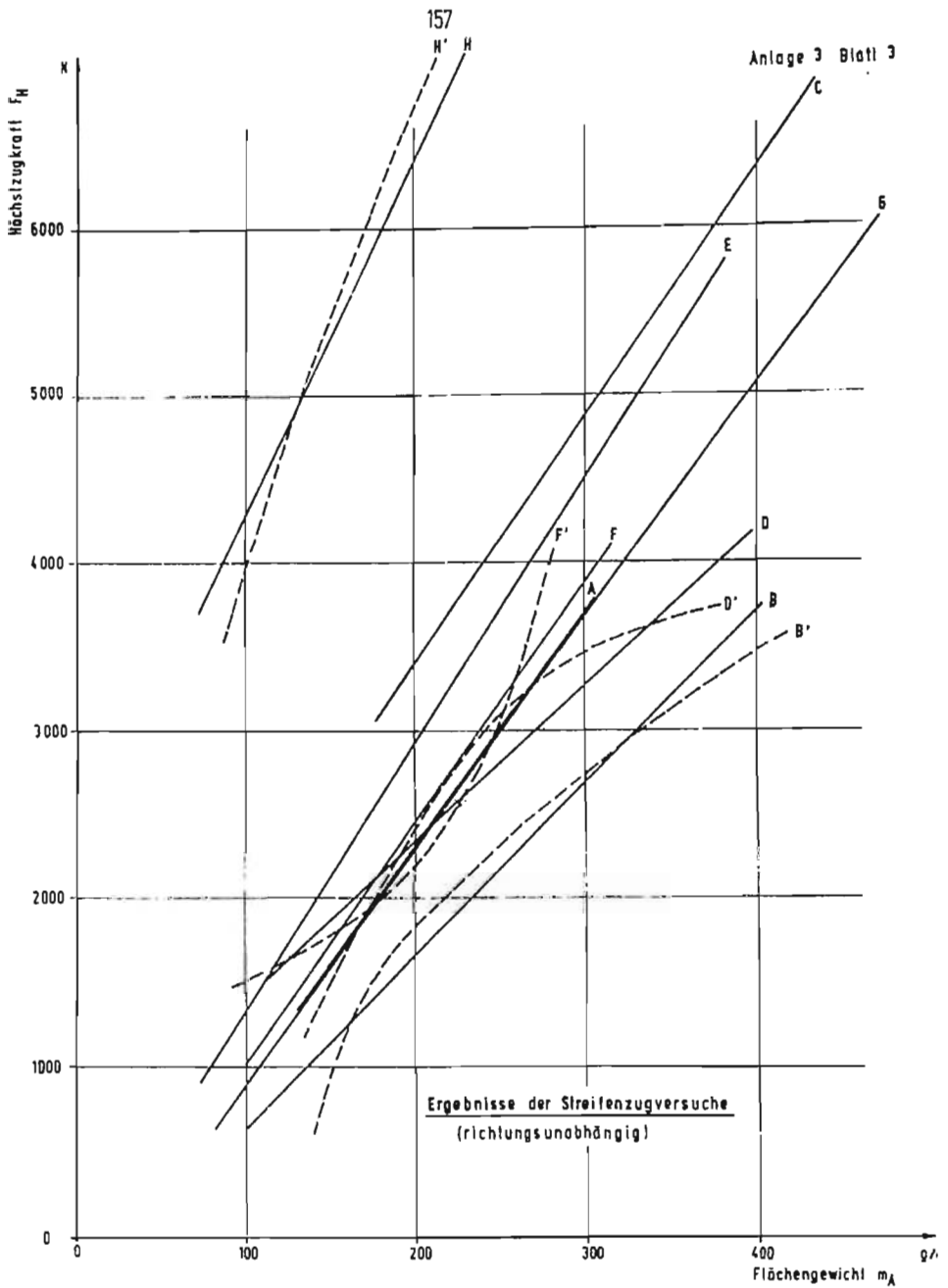
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch								Flächengewicht m_A				Dicke a			
		v	Höchstzugkraft F_N			Höchstzugkraft-Dehnung E_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.		
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%										
H 34	Breite 20 cm	1	50	8592	414,9	4,8	25,6	1,3	5,2	55	6873	193,7	2,8	27,6	1,6	5,7	25 x 25	346,0	1,7	0,5	20	1,57	0,03	2,2	
		1	50	8531	348,3	4,1	27,4	0,5	2,0	57	6750	332,8	4,9	30,5	2,2	7,3	25 x 25	342,8	1,7	0,5	20	1,59	0,02	1,5	
		q	50	10854	250,8	2,3	13,8	1,8	13,0								Ø 11,3	342,9	2,4	0,7					
		q	50	10694	261,5	2,4	15,4	2,1	13,5								Ø 11,3	344,7	3,9	1,1					
	Breite 5 cm	1	50	2049	138,4	6,8	30,6	1,5	5,0																
		1	50	1989	85,5	4,3	30,0	0,7	2,4																
		q	50	2544	83,2	3,3	15,4	0,9	5,8																
		q	50	2542	80,4	3,2	15,2	0,5	3,0																
H 35	Breite 20 cm	1	50	12714	549,0	4,3	14,8	0,8	5,7	-	-	-	-	-	-	25 x 25	515,6	4,1	0,8	20	1,60	0,03	2,2		
		1	50	12232	451,6	3,7	18,2	1,1	6,0	-	-	-	-	-	-	25 x 25	518,7	5,7	1,1	20	1,59	0,04	2,5		
		q	50	13650	734,5	5,4	16,8	1,3	7,8								Ø 11,3	521,6	5,8	1,1					
		q	50	13526	548,6	4,1	18,0	0,0	0,0								Ø 11,3	523,6	4,2	0,8					
	Breite 5 cm	1	50	2815	198,0	7,0	19,4	0,6	2,8																
		1	50	2736	119,4	4,4	18,8	1,3	6,9																
		q	50	2920	222,9	7,6	18,6	1,3	7,2																
		q	50	3127	54,8	1,6	19,6	1,1	5,8																

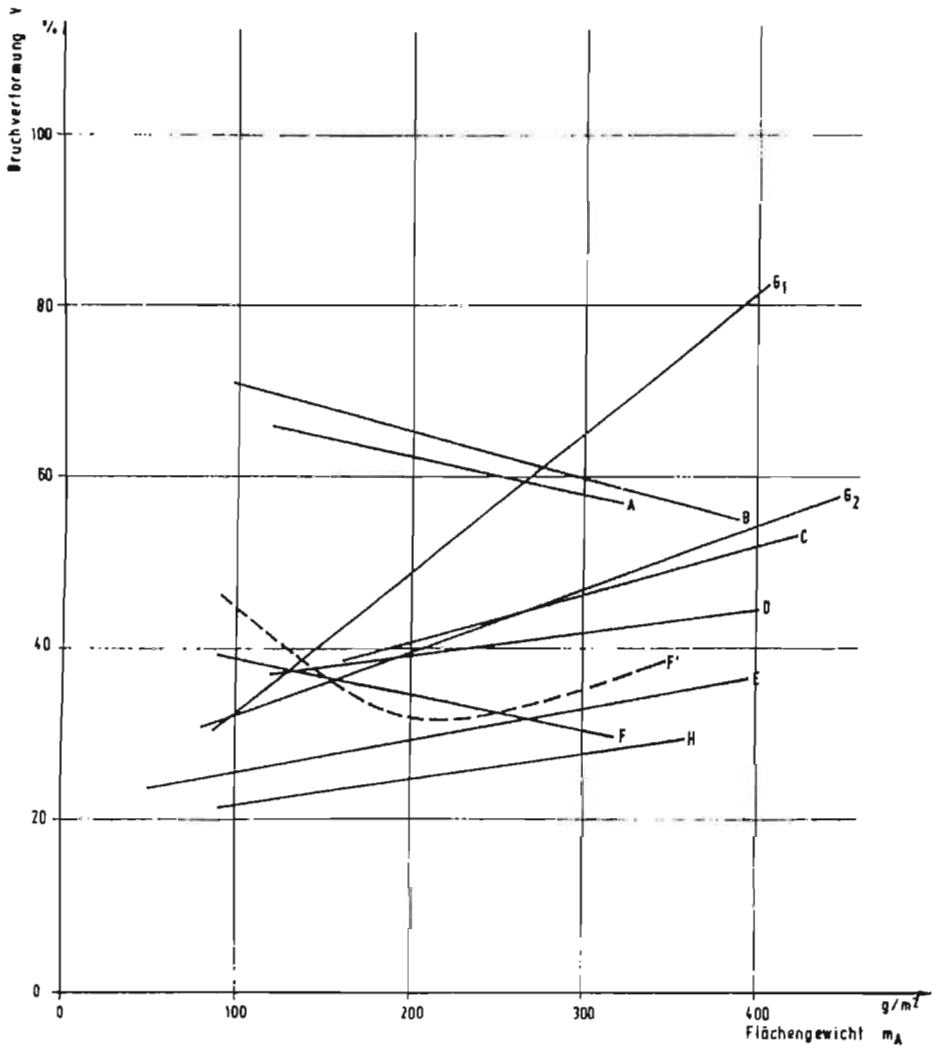
[illegible]

Produkt	Streifenzugversuch								Stempeldurchdruckversuch								Flächengewicht m_A				Dicke a			
	Richtung	v	Höchstzugkraft F_N			Nachstzugkraft - Dehnung ε_N			v	Durchdruckkraft D			Bruchverformung V			Abmessungen	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	Meßdruck	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	
			Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.		Mittelwert	Standabweich.	Var. Koeff.												
		mm/min	N	N	%	%	%	%	mm/min	N	N	%	%	%	%	cm	g/m ²	g/m ²	%	cN/cm ²	mm	mm	%	
I 36	l	50	3170	225,4	7,1	9,2	0,5	4,9	-	-	-	-	-	-	-	25 x 25	215,8	14,2	6,6	20	0,61	0,02	2,8	
	l	50	3138	162,5	5,2	9,4	0,9	9,5	-	-	-	-	-	-	-	25 x 25	215,2	13,5	6,3	20	0,61	0,01	2,4	
	q	50	3773	105,4	2,8	15,0	0,0	0,0								Ø 11,3	213,1	11,9	5,6					
	q	50	3564	249,0	7,0	14,4	0,6	3,8								Ø 11,3	213,4	14,2	6,6					
																20 x 22	212,5	12,6	5,9					
																20 x 22	212,2	11,5	5,4					
I 37	l	50	3828	246,5	6,4	17,0	1,2	7,2	55	3392	208,5	6,1	30,4	1,7	5,5	25 x 25	713,6	24,9	3,5	20	4,16	0,23	5,5	
	l	50	3928	187,5	4,8	17,0	1,0	5,9	55	3440	173,6	5,0	30,6	1,3	4,4	25 x 25	721,5	29,3	4,1	20	4,08	0,23	5,7	
	q	50	4545	88,9	2,0	20,6	0,9	4,3								Ø 11,3	615,2	42,0	6,8					
	q	50	4524	205,2	4,5	20,4	1,1	5,6								Ø 11,3	693,1	20,0	2,9					
Gesamtauswertung:																								
I 36			3411	327,4	9,6	12,0	2,8	23,6		-	-	-	-	-	-		213,7	12,5	5,9		0,61	0,02	2,5	
I 37			4206	381,5	9,1	18,8	2,0	10,9		3416	188,3	5,5	30,5	1,5	4,8		685,9	51,5	7,5		4,12	0,23	5,5	

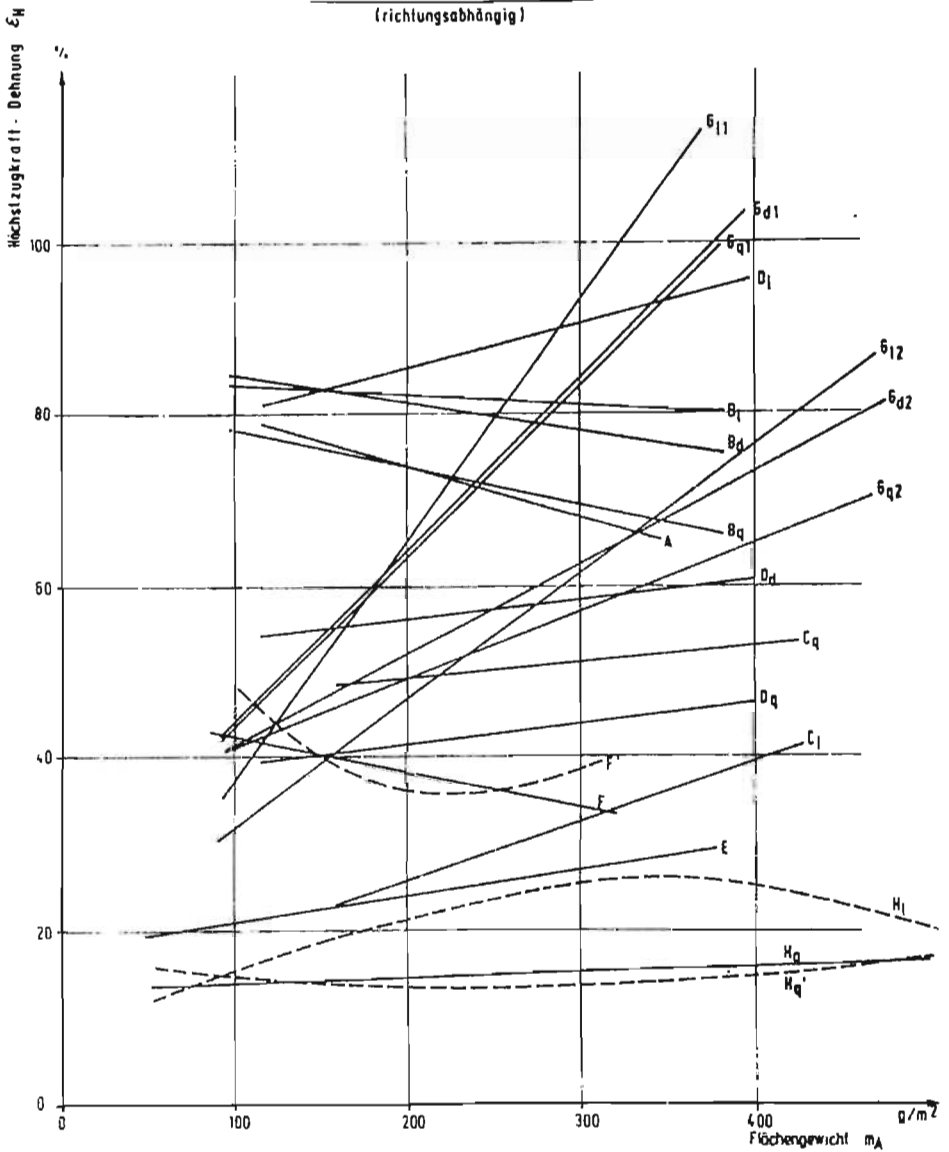




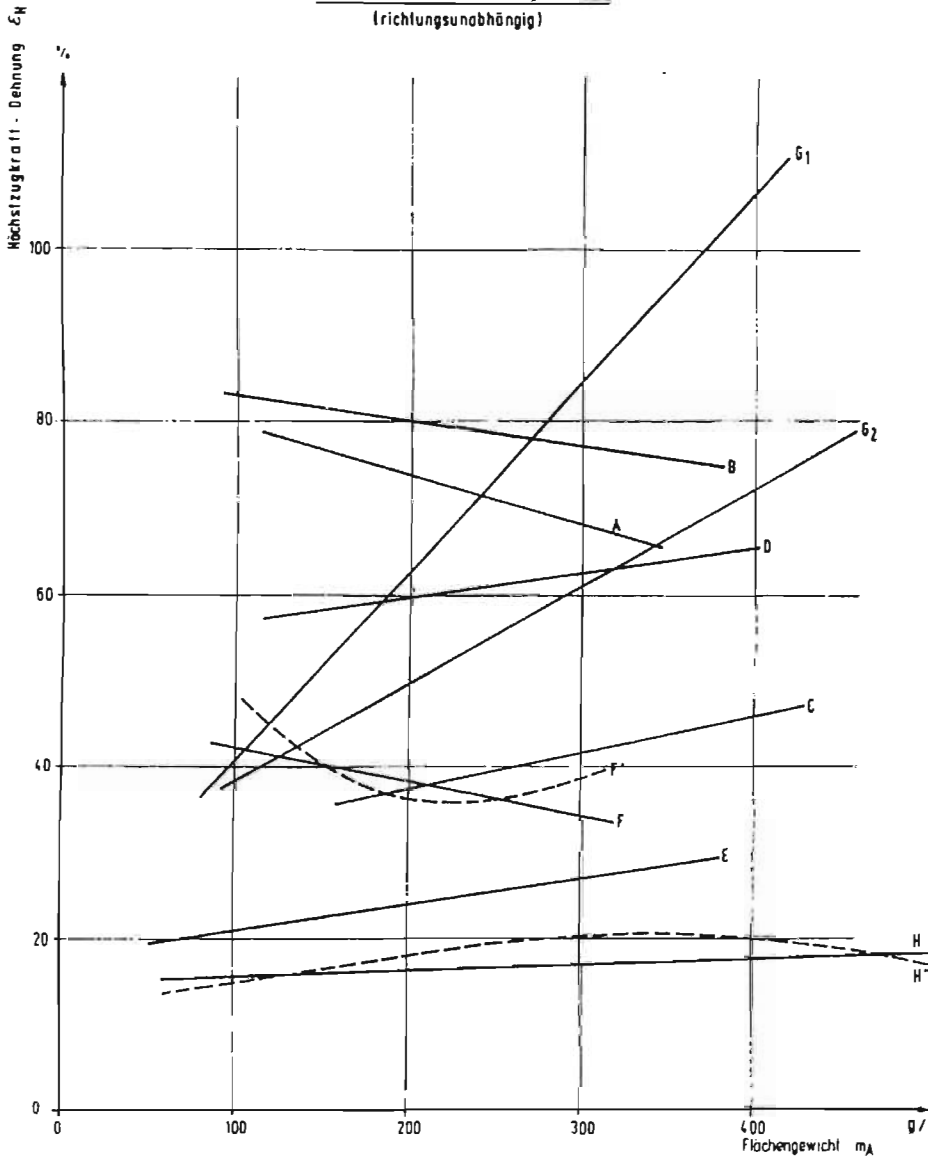


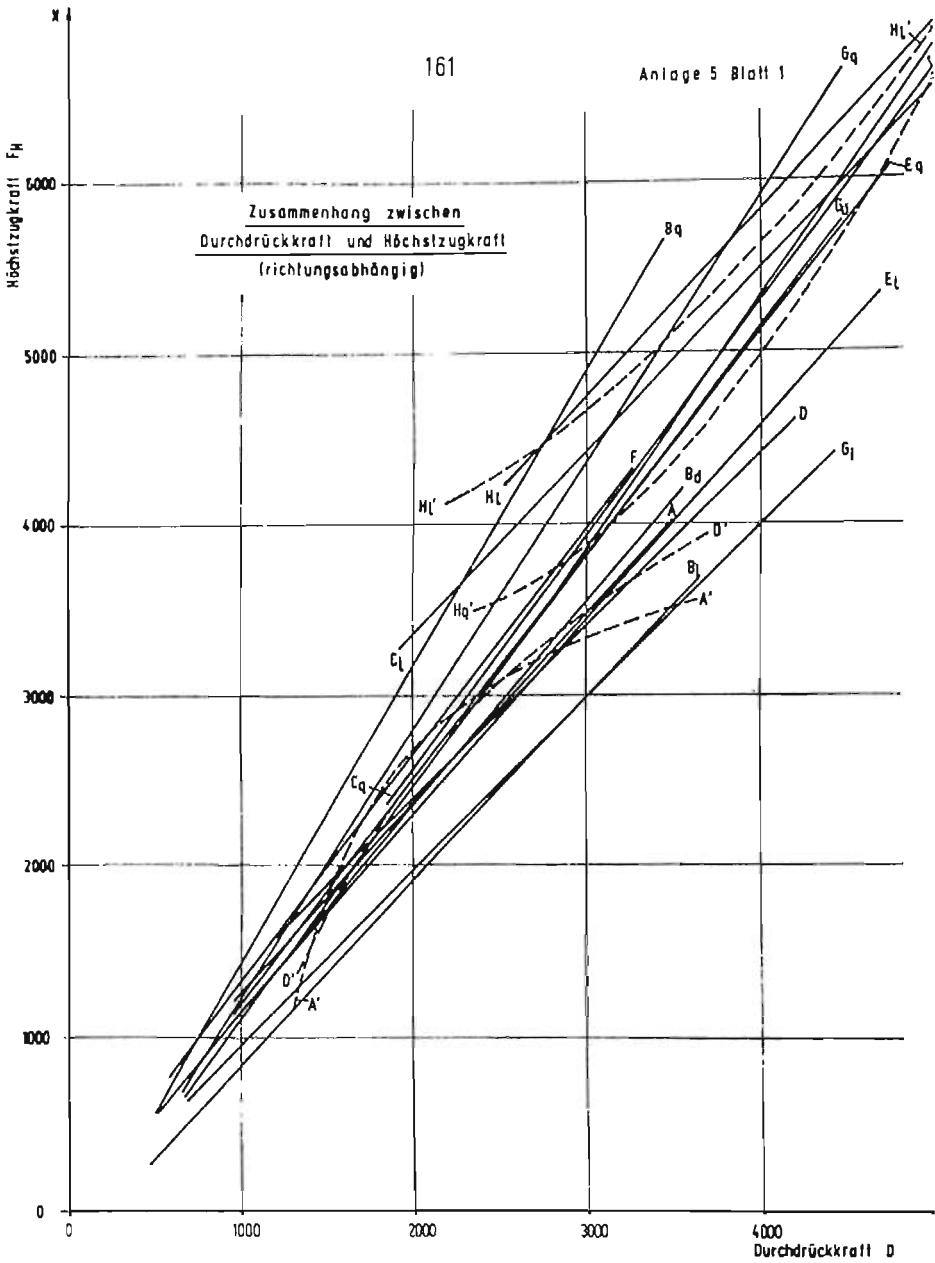
Ergebnisse der Stempeldurchdruckversuche

Ergebnisse der Streifenzugversuche
(richtungsabhängig)



Ergebnisse der Streifenzugversuche
(richtungsunabhängig)





Höchstzugkraft F_H

Zusammenhang zwischen
Durchdrückkraft und Höchstzugkraft
(Richtung der kleinsten Höchstzugkraft)

5000

4000

3000

2000

1000

0

0

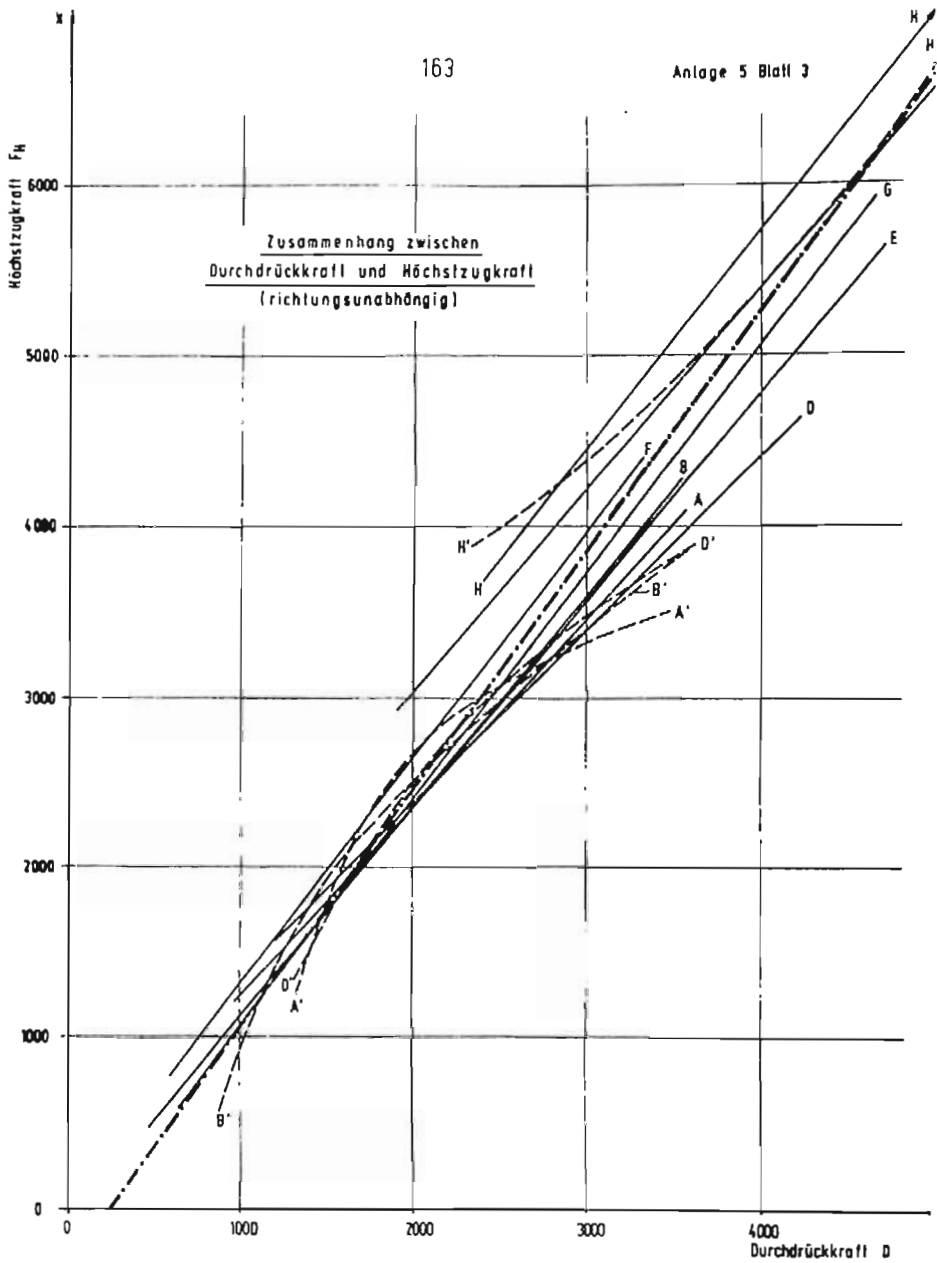
1000

2000

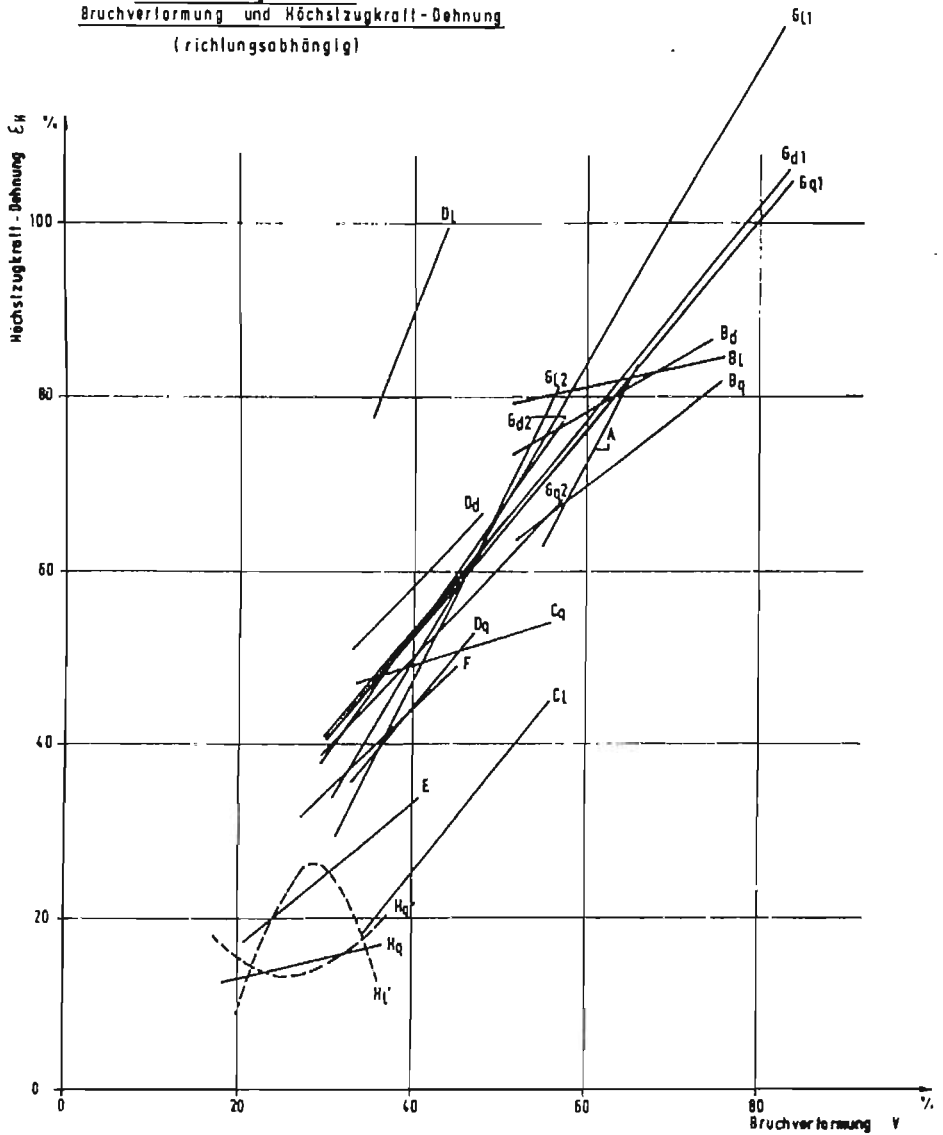
3000

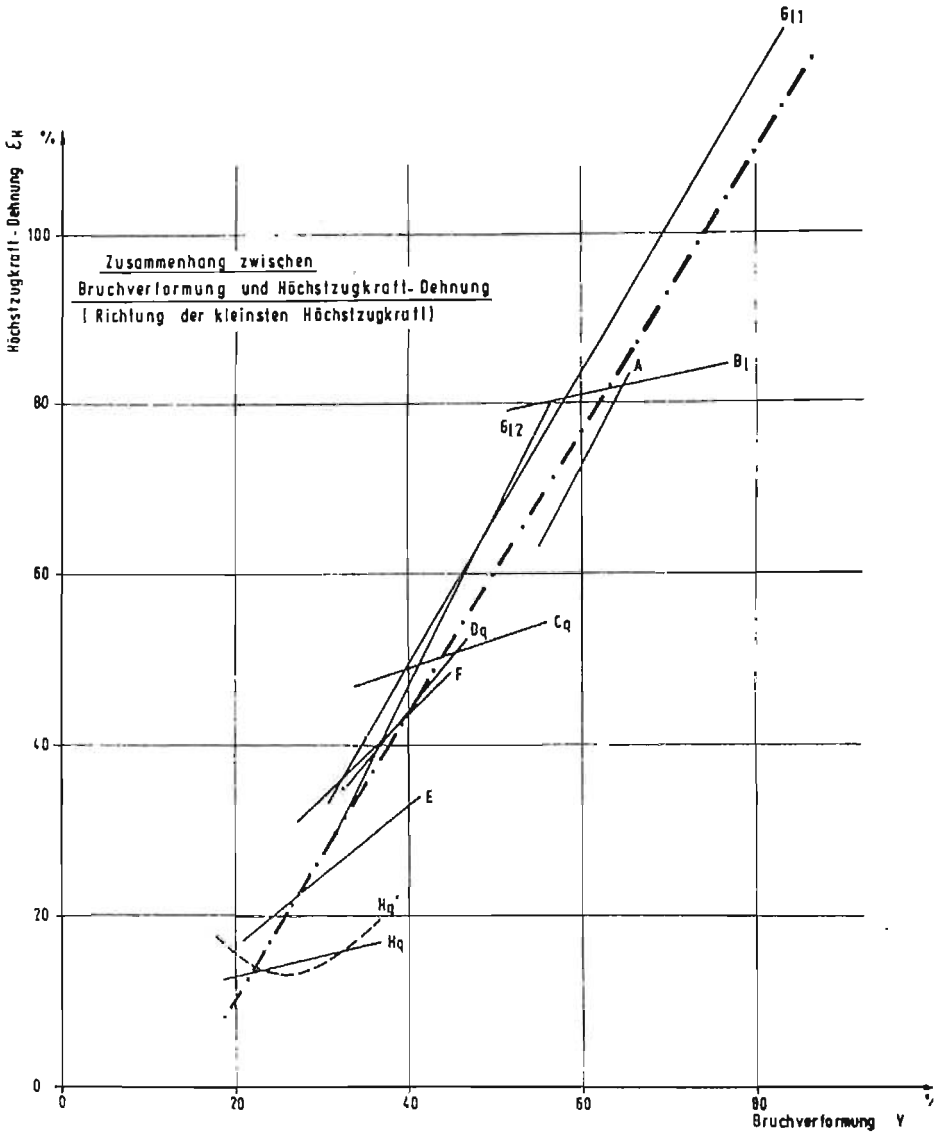
4000

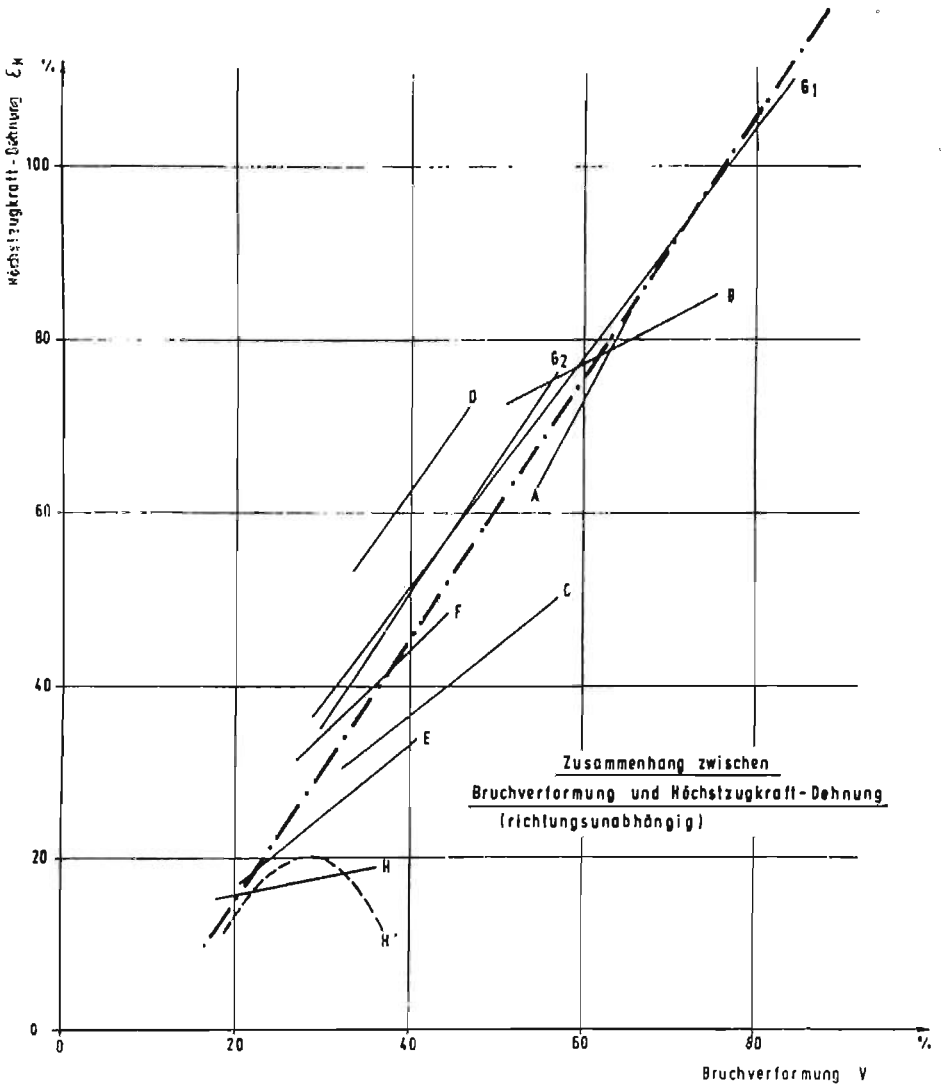
Durchdrückkraft D B_1 6_1 B_1 6_1 D E_1 F A D' A'



Zusammenhang zwischen
Bruchverformung und Höchstzugkraft-Dehnung
 (richtungsabhängig)







Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	
	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²	
A 1	l	69085	6191	11,9	13337	1321	9,9	4748	388	5,2	38314	3542	9,2	9110	824	9,7	3773	261	9,7	25 x 25cm 150,6 159,2
	l	73068	4008	5,5	14185	869	6,1	5067	393	7,3	38585	2640	6,9	9139	631	7,1	3704	210	5,6	
	q	78712	9332	11,9	14237	1654	11,6	4632	460	9,9										26 x 22cm 161,6 160,1
	q	72516	7618	10,5	13501	1325	9,6	4423	265	5,4										
	dr	73673	5410	7,3	13587	961	7,1	4679	266	5,7										
	dr	74630	3756	5,0	13578	564	4,2	4800	220	4,6										
	d1	79263	8812	11,1	14676	1550	10,6	5022	688	13,7										
	d1	75171	6864	9,5	14166	1070	7,6	4877	483	9,9										
A 2	l	91578	11335	12,4	15330	1681	11,0	5011	330	6,6	43585	4040	9,3	10959	1088	9,9	4491	415	9,3	25 x 25cm 218,7 209,5
	l	95005	3567	3,9	15986	532	3,3	5213	242	4,6	47086	5231	11,1	10540	1432	13,6	4277	531	12,4	
	q	108412	8052	7,4	18088	1556	8,6	6360	459	7,2										20 x 22 cm 207,9 205,3
	q	100617	9948	9,9	17334	1502	8,7	6107	618	10,1										
	dr	98690	7072	7,2	16910	1174	6,9	5580	514	9,2										
	dr	103425	6506	6,3	17827	957	5,4	6085	351	5,9										
	d1	95909	6551	6,8	16096	748	4,6	5425	178	3,3										
	d1	100475	6166	6,1	16941	697	4,1	5606	318	5,7										
A 3	l	133339	12547	9,4	22930	1881	8,2	7416	722	9,7	68014	9429	13,9	16684	2505	15,0	6737	892	13,2	25 x 25cm 270,1 269,4
	l	116207	7905	6,8	21649	1283	5,9	6992	407	5,8	73475	9006	12,3	18183	2254	12,4	7301	831	11,4	
	q	126992	7462	5,9	23470	1202	5,1	8075	413	5,1										20 x 22cm 267,7
	q	133945	13130	9,6	24664	2009	8,1	8326	629	7,6										

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächenge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
A 3	dr	126106	13165	10,4	23739	2230	9,4	7960	740	9,3										269,0
	dr	130072	8574	6,6	24363	1615	6,6	8261	647	7,8										
	dL	125315	10392	8,3	22810	1464	6,4	7550	541	7,2										
	dL	128405	10980	8,6	23589	1541	6,5	7761	253	3,3										
Gesamtauswertung																				
A 1		74515	7107	9,5	13903	1186	8,5	4781	431	9,0	39450	3064	7,8	9125	756	8,3	3789	287	7,6	158,9
A 2		99264	8566	8,7	16814	1398	8,3	5673	575	10,1	47836	4613	9,6	10790	1256	11,7	4384	477	10,9	207,7
A 3		127549	11073	8,7	23402	1773	7,6	7791	673	8,6	70745	9405	13,3	17434	2443	14,0	7019	858	12,3	269,5

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
B 4	l	23224	6633	28,6	6250	1244	19,9	3154	549	17,4	14942	2513	16,8	4727	667	14,1	2513	360	14,3	25 x 25cm
	l	20781	4160	20,0	5471	964	17,6	2816	487	17,3	18499	2876	15,5	5736	781	13,6	3017	394	13,1	141,0 160,6
	q	38609	4369	11,3	6659	735	7,6	4502	311	6,9										
	q	31979	5322	16,6	8731	865	9,9	4156	399	9,6										20 x 22cm
	dr	20682	3681	17,8	6010	643	10,7	3076	302	10,0										150,0
	dr	25471	4226	16,6	7075	659	9,3	3867	428	11,1										144,2
	dl	27287	6759	24,8	7103	1356	19,1	3551	722	20,3										
	dl	24806	6233	25,1	6883	843	12,2	3742	335	9,0										
B 5	l	34280	3903	11,4	10053	608	6,0	4783	248	5,2	22755	2643	11,6	7487	918	12,3	3787	435	11,5	25 x 25cm
	l	35743	3480	9,7	10700	579	5,7	4743	246	5,2	21659	3615	17,0	7132	1131	15,9	3616	558	15,4	180,9 179,4
	q	52937	7456	14,1	15143	1596	10,5	7281	754	10,4										
	q	54618	2018	3,7	15513	676	4,4	7441	356	4,8										20 x 22cm
	dr	50033	8798	17,6	14368	1873	13,0	7083	873	12,3										173,5
	dr	46885	6489	13,8	13134	1584	12,1	6423	631	12,9										172,6
	dl	58609	6422	11,0	15990	1487	9,3	7802	723	9,3										
	dl	58968	8559	14,5	15996	2176	13,6	7681	1201	15,6										
B 6	l	57478	6475	11,3	13885	849	6,1	6421	486	7,6	29749	3292	11,1	9754	948	9,7	4824	447	9,3	25 x 25cm
	l	52432	6005	11,5	12464	678	5,4	5839	319	5,5	30829	2811	9,1	9929	935	9,4	4863	445	9,2	234,1 229,8
	q	85287	7564	8,9	21159	2039	9,6	9901	857	8,7										
	q	73750	3079	4,2	19287	523	2,7	9040	322	3,6										20 x 22cm

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächenge-wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	Mittel-wert	Standard-abweich.	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
B 6	dr	712,2	15675	22,2	16762	3224	19,2	7715	1390	18,0										216,5
	dr	67155	4274	5,4	16587	980	5,9	7614	372	4,9										
	dL	82125	15620	19,0	19188	1112	5,8	8192	1507	18,4										
	dL	73936	10409	14,1	18690	3036	16,2	8613	1404	16,3										
B 7	l	97458	11857	12,2	22915	2062	9,0	10316	652	6,3	50129	4051	8,1	16391	1268	7,7	8041	674	8,4	25 x 25cm 351,6 352,9
	l	90688	16936	18,7	22333	2729	12,2	9911	843	8,5	46843	3527	7,5	15152	1468	9,3	7413	765	10,3	
	q	27847	10473	8,2	30295	2707	8,9	13314	1043	7,8										20 x 22 cm 340,8 341,4
	q	29309	12176	9,4	31196	2704	8,7	13891	1465	10,5										
	dr	100650	7320	7,3	25165	1021	4,1	11356	423	3,7										
	dr	101941	9927	9,7	27196	1285	4,7	12139	388	3,2										
	dL	99236	9520	9,6	24395	1691	6,9	10867	787	7,2										
	dL	107033	9737	9,1	26176	1753	6,7	11528	651	5,6										
Gesamtauswertung:																				
B 4		26615	7511	28,2	7148	1582	22,1	3608	686	19,0	16721	3200	19,1	5233	977	16,8	2765	449	16,2	150,4
B 5		49009	10703	21,8	13787	2684	19,5	6655	1347	20,2	22207	3166	14,3	7310	1019	13,9	3707	496	13,4	175,5
B 6		70426	13834	19,5	17253	3244	18,8	7917	1537	19,4	30289	3030	10,0	9842	921	9,4	4844	435	9,0	227,2
B 7		106770	16922	15,8	26209	3594	13,7	11665	1525	13,1	48436	4042	8,3	15772	1451	9,2	7727	772	10,0	353,6

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- se- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
C 8	l	62403	10379	16,6	14000	2487	17,8	4573	858	18,9	40564	6690	16,5	13328	2056	15,4	6110	1051	16,4	25 x 25cm
	l	62667	7680	12,3	14410	1712	11,9	4806	469	9,8	40533	3849	9,5	12821	1340	10,5	6191	639	10,3	223,4
	q	76826	8353	10,9	19966	2326	11,6	8440	649	7,7										230,9
	q	82874	9144	11,0	21449	2003	9,3	9146	846	9,2										227,9
																				231,8
C 9	l	105252	25982	24,7	27389	4709	17,2	9639	1494	15,5	71870	15195	21,1	24929	5094	20,4	12020	2407	20,0	25 x 25cm
	l	112104	21531	19,2	28825	5605	19,4	10681	1637	15,3	69417	6040	8,7	23950	2096	8,8	11646	1075	9,2	384,4
	q	128090	5920	4,6	34047	2570	7,5	14545	1167	8,0										357,5
	q	138738	7546	5,4	34198	2038	6,0	14562	1096	7,5										20 x 22cm
																				363,3
																				352,5
Gesamtauswertung:																				
C 8		71193	12293	17,3	17456	3917	22,4	6741	2224	33,0	40549	5312	13,1	13075	1710	13,1	6301	856	13,6	228,9
C 9		121046	21005	17,4	31115	4832	15,5	12357	2607	21,1	70644	11324	16,0	24440	3824	15,6	11833	1824	15,4	364,4

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
D 10	l	109883	9188	8,4	14261	904	6,3	4837	187	3,9	28052	3438	12,3	7389	731	9,9	3294	336	10,2	25 x 25cm
	l	108721	14794	13,6	14467	1238	8,6	5058	410	8,1	27796	3402	12,2	7534	820	10,9	3367	366	10,9	164,8
	q	44070	4036	9,2	6578	452	6,9	2207	149	6,8										164,1
	q	50277	7542	15,0	7214	822	11,4	2330	372	16,0										11,3cm
	dr	52424	9012	17,2	7781	1134	14,6	2578	421	16,3										172,8
	dr	60862	11348	16,5	9473	1198	12,6	3143	528	16,8										164,5
	dL	64638	10634	16,5	9412	1465	15,6	3183	558	17,5										
	dL	65658	10459	15,9	9459	1240	13,1	3225	457	14,2										
D 11	l	31504	7486	5,7	17342	926	5,3	5679	350	6,2	37539	3585	9,6	10335	530	9,0	4607	397	8,6	25 x 25cm
	l	336878	31259	22,8	19554	2998	15,3	6372	906	14,2	39472	4172	10,6	10850	1048	9,7	4833	428	8,9	213,7
	q	64231	7170	11,2	9566	660	6,9	3099	235	7,6										216,1
	q	71881	7430	10,3	10326	825	8,0	3321	271	8,2										11,3cm
	dr	85162	11504	13,5	12736	855	6,7	4214	215	5,1										218,2
	dr	100703	14421	14,3	15073	1850	12,3	4790	602	12,6										212,2
	dL	92199	11681	12,7	13200	1055	8,0	4364	388	8,9										
	dL	97270	8004	8,2	14436	847	5,9	4795	259	5,4										
D 12	l	73724	18173	10,5	25064	1383	5,5	8195	790	9,6	55509	4872	8,8	15619	1165	7,5	6826	502	7,4	25 x 25cm
	l	198913	11865	6,0	28493	823	2,3	9329	372	4,0	55567	3793	6,8	15686	887	5,7	6977	387	5,5	312,7
	q	90883	9004	9,9	12370	1230	9,3	3641	415	11,4										310,5
	q	101854	6585	6,5	14223	741	5,2	4409	234	5,3										11,3cm
	dr	109198	4622	4,2	17360	773	4,5	5508	364	6,6										314,1
	dr	123873	12154	9,8	19148	1092	5,7	5930	329	5,5										312,7

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
D 12	dL	126824	14344	11,3	18775	739	3,9	6062	201	3,3										
	dL	130281	8091	6,2	19883	486	2,4	6308	185	2,8										
D 13	l	225437	14359	6,4	29575	1091	3,7	10163	405	4,0	67256	4794	7,1	17553	1134	6,5	7615	466	6,1	25 x 25cm
	l	221600	26806	12,1	30511	1983	6,5	10405	733	7,0	59490	5326	9,0	15864	1125	7,1	7032	531	7,6	363,5
	q	120069	14249	11,9	15768	1396	8,9	4795	480	10,0										343,1
	q	118870	7571	6,4	15904	1465	9,2	4768	400	8,4										Ø 11,3cm
	dr	126681	16415	13,0	17576	1754	10,0	5630	473	8,4										355,8
	dr	125162	11866	9,5	17669	2034	11,5	5641	548	9,7										343,0
	dL	132539	13972	10,5	18867	512	2,7	5979	203	3,4										
	dL	136980	10475	7,6	19638	1186	6,0	6643	498	7,5										
Gesamtauswertung:																				
D 10		70567	25705	36,4	9831	3015	30,7	3320	1087	32,7	27924	3331	11,9	7462	760	10,2	3330	344	10,3	166,6
D 11		97478	27747	28,5	14029	3440	24,5	4579	1122	24,5	38506	3914	10,2	10592	1000	9,4	4720	418	8,9	215,1
D 12		131944	36272	27,5	19414	5084	26,2	6173	1795	29,1	55538	4250	7,7	15653	1008	6,4	6902	443	6,4	310,0
D 13		150917	45051	29,9	20689	5787	28,0	6753	2189	32,4	63373	6340	10,0	16708	1399	8,4	7324	571	7,8	351,4

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
E 14	l	12538	1981	15,8	1674	225	13,4	395	81	20,5	7893	2233	28,3	2254	566	25,1	1080	262	24,3	25x25cm
	l	10955	2489	22,7	1355	215	15,9	336	75	22,4	10811	2644	24,5	3099	790	25,5	1450	375	25,9	68,9
	q	12183	1585	13,0	1520	210	13,8	382	100	26,3										69,4
	q	11688	4580	39,2	1406	397	28,2	370	128	34,6										11,3cm
	dr	11570	1772	15,3	1401	276	19,7	337	71	21,0										70,3
	dr	10860	3888	35,8	1350	444	32,9	349	127	36,5										69,2
	dl	9588	1553	16,2	1234	146	11,8	317	50	15,8										
	dl	12597	2230	17,7	1570	295	18,8	416	90	21,6										
E 15	l	20875	1516	7,3	2272	196	8,6	640	47	7,3	18655	2928	15,7	5204	874	16,8	2491	418	16,8	25x25cm
	l	20179	2993	14,8	2354	345	14,7	545	160	29,3	18841	2860	15,2	5163	724	14,0	2475	358	14,5	106,3
	q	18342	2906	15,8	2132	395	18,5	536	138	25,7										104,9
	q	23073	3116	13,5	2619	345	13,2	616	130	21,1										20x22cm
	dr	20266	3792	18,7	2378	635	26,7	588	165	28,1										98,0
	dr	22187	2776	12,5	2595	345	13,3	610	124	20,3										97,0
	dl	18794	1476	7,9	2171	86	4,0	554	54	9,7										
	dl	23699	3189	13,5	2666	295	11,1	681	95	13,9										
E 16	l	33899	2935	8,7	3784	450	11,9	1038	178	17,1	29480	4796	16,3	7923	1043	13,2	3770	486	12,9	25x25cm
	l	35761	6634	18,6	4290	771	18,0	1086	95	8,7	26478	2937	11,1	7302	867	11,9	3483	430	12,3	135,6
	q	37019	4003	10,8	4293	484	11,3	1142	61	5,3										134,6
	q	37009	5373	14,5	4430	787	17,8	1220	259	21,2										11,3 cm
																				133,3

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
E 16	dr	37989	2794	7,4	4386	383	8,7	1130	194	17,2										133,6
	dr	34439	6011	17,5	4189	637	15,2	1140	191	16,8										
	dL	32494	6341	19,5	3737	547	14,6	1043	97	9,3										
	dL	34908	7000	20,1	4010	834	20,8	1101	292	26,5										
E 17	1	32817	3627	11,1	3739	505	13,5	1070	277	25,9	29834	5857	19,6	8067	1363	16,9	3876	665	17,2	25 x 25cm 165,7 165,2 20 x 22cm 166,5 168,6
	1	37425	7687	20,5	4227	669	15,8	1159	295	25,5	28599	7886	27,6	7762	2016	26,0	3705	1040	28,1	
	q	41105	6257	15,2	5140	732	14,2	1488	190	12,8										
	q	46113	8131	17,6	5573	946	17,0	1532	199	13,0										
	dr	40602	7243	17,8	4925	1042	21,2	1427	261	18,3										
	dr	40773	6981	17,1	4882	672	13,8	1307	170	13,0										
	dL	46256	5951	12,9	5713	713	12,5	1590	219	13,8										
	dL	40490	7421	18,3	4657	762	16,4	1194	122	10,2										
E 18	1	37173	6081	16,4	4389	745	17,0	1084	146	13,5	38743	4740	12,2	10646	1409	13,2	5125	660	12,9	25 x 25cm 193,3 193,4 ø 11,3cm 188,6 20 x 22cm 186,9
	1	35973	5417	15,1	4264	748	17,5	1007	241	23,9	36112	5541	15,3	9957	1338	13,4	4786	651	13,6	
	q	47787	5988	12,5	6136	469	7,6	1683	140	8,3										
	q	51755	5347	10,3	6528	531	8,1	1702	177	10,4										
	dr	44835	3782	8,4	5650	474	8,4	1495	233	15,6										
	dr	44705	3065	6,9	5644	365	6,5	1487	172	11,6										
	dL	38067	3708	9,7	4858	374	7,7	1263	130	10,3										
	dL	46131	3695	8,0	5632	221	3,9	1509	226	15,0										

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
E 19	1	60168	5483	9,1	7206	721	10,0	1883	302	16,0	47882	3271	6,8	13102	853	6,5	6295	413	6,6	25 x 25cm
	1	58002	5922	10,2	6992	586	8,4	1902	273	14,4	44540	6249	14,0	12152	1553	12,8	5792	657	11,3	223,8 224,5
	q	55398	5862	10,6	6751	417	6,2	1714	136	7,9										ø 11,3cm 219,8
	q	49084	1182	2,4	6085	293	4,8	1654	201	12,2										
	dr	59893	8188	13,7	7418	1041	14,0	2076	313	15,1										217,6
	dr	59808	5598	9,4	7350	602	8,2	1987	168	8,5										
	dL	56309	6063	10,8	7209	812	11,3	1997	346	17,3										
	dL	57113	4735	8,3	7647	1702	22,3	1764	91	5,2										
E 20	1	80235	9410	11,7	9073	766	8,4	2527	315	12,5	62848	5947	9,5	16423	1466	8,9	7832	579	7,4	25 x 25cm
	1	78445	4337	5,5	9052	809	8,9	2562	241	9,4	57454	8089	14,1	14936	2078	13,9	7127	972	13,6	267,7 264,1
	q	80356	4195	5,2	9772	670	6,9	2755	234	8,5										ø 11,3 cm 266,0
	q	84904	9034	10,7	9834	618	6,3	2575	286	11,1										
	dr	75662	8434	11,1	9430	1158	12,3	2565	311	12,1										20 x 22cm 268,3
	dr	73793	1845	2,5	8881	450	5,1	2334	262	11,2										
	dL	75231	9714	12,9	9039	764	8,5	2374	230	9,7										
	dL	76112	9606	12,6	9063	654	7,2	2468	198	8,0										
E 21	1	97138	10841	11,2	12087	1602	13,3	3186	398	12,5	75867	5813	7,7	20332	1490	7,4	9691	681	7,0	25 x 25cm
	1	97570	11865	12,2	12007	1413	11,8	3418	388	11,4	71323	7340	10,3	19065	1956	10,3	9119	918	10,1	352,1 341,5
	q	108784	5860	5,4	13564	681	5,0	3680	298	8,1										ø 11,3cm 350,7
	q	110448	13791	12,5	13653	1414	10,4	3524	395	11,2										

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
E 21	dr	97509	3638	3,7	11868	630	5,3	3283	274	8,3										20 x 22cm 349,3
	dr	108111	5412	5,0	13289	942	7,1	3517	154	4,4										
	dl	103368	6859	6,6	12770	1150	9,0	3340	416	12,5										
	dl	105065	13310	12,7	12758	1663	13,0	3391	485	14,3										
Gesamtauswertung:																				
E 14		11497	2644	23,0	1439	296	20,6	363	91	25,1	9352	2813	30,1	2677	797	29,8	1265	368	29,1	69,5
E 15		20927	3164	15,1	2398	382	15,9	596	120	20,1	18748	2819	15,0	5184	781	15,1	2483	379	15,3	163,7
E 16		35815	5192	14,5	4140	626	15,1	1113	178	16,0	27979	4166	14,9	7613	986	13,0	3627	470	13,0	134,3
E 17		40698	7638	18,8	4857	954	19,6	1346	272	20,2	29217	6790	23,2	7915	1682	21,3	3791	854	22,5	166,4
E 18		43303	6869	15,7	5388	901	16,7	1404	299	21,3	37428	5197	13,9	10302	1383	13,4	4956	661	13,3	190,9
E 19		56971	6199	10,9	7083	916	12,9	1872	263	14,0	46211	5148	11,1	12627	1313	10,4	6044	593	9,8	221,4
E 20		78092	7450	9,5	9271	770	8,3	2520	269	10,7	60151	7443	12,4	15680	1909	12,2	7480	840	11,2	267,0
E 21		103499	10197	9,9	12749	1321	10,4	3417	361	10,6	73595	6853	9,3	19649	1795	9,1	9405	840	8,9	346,8

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W 50			W 30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
F 22	l	55956	9174	16,4	4718	1566	33,2	479	96	23,0	28297	4079	14,4	7089	853	12,0	2702	298	11,0	25 x 25cm
	l	49619	6630	13,4	4176	1345	32,2	438	123	28,1	30180	5928	19,6	7609	1446	19,0	2919	541	18,5	139,9 137,4
	q	49380	11181	22,4	4097	2121	51,8	414	157	37,9										20 x 22cm
	q	50109	6035	12,0	4541	1099	24,2	481	78	16,6										136,6 138,1
	dr	50340	10466	20,5	5139	1488	29,0	482	110	22,8										
	dr	52877	7265	13,7	5142	1055	20,5	496	114	23,0										
	dl	52131	11842	22,7	5351	2395	45,6	518	152	29,3										
	dl	59097	6512	16,1	4822	1015	21,0	406	59	14,5										
F 23	l	47107	9561	18,2	2829	547	19,3	400	120	30,1	32390	3539	10,8	8070	014	10,1	3263	326	10,0	25 x 25cm
	l	59947	5118	8,5	4735	576	12,2	643	65	10,2	31013	5027	16,2	7917	1210	15,4	3141	474	15,1	203,6 176,9
	q	56231	4869	8,7	4269	938	22,0	575	154	26,8										20 x 22cm
	q	63015	6806	10,7	5947	765	12,9	770	118	15,3										199,4 201,4
	dr	56476	11369	20,1	4852	1102	22,7	616	167	27,1										
	dr	58399	6469	11,1	4768	947	19,9	629	115	18,2										
	dl	54462	7096	13,0	4988	1217	24,4	668	158	23,7										
	dl	61061	4891	8,0	5566	353	6,3	741	84	5,9										
F 24	l	100419	9408	9,4	9092	1552	17,1	1145	178	15,5	50247	8051	16,0	3605	2032	14,9	5541	756	13,6	25 x 25cm
	l	101463	13239	13,1	9417	938	10,0	1170	243	20,8	51236	6625	12,9	3921	1560	11,2	5673	622	11,0	262,6 258,1
	q	85767	6739	7,9	3747	808	9,2	1132	161	14,3										20 x 22cm
	q	107924	6945	6,4	11765	928	7,9	1593	239	15,0										259,3

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koef.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
F 24	dr	97084	10915	11,2	9567	1694	17,7	1201	365	30,4										271,7
	dr	81898	6112	7,5	7240	831	11,5	888	229	25,7										
	dL	97272	16388	16,8	10997	2421	22,0	1408	407	27,4										
	dL	87601	6822	10,1	9011	1477	16,4	1010	397	39,3										
Gesamtauswertung:																				
F 22		52501	8968	17,1	4748	1499	31,6	457	112	24,6	29239	5046	17,3	7349	1186	16,1	2811	439	15,6	130,2
F 23		57187	8089	14,1	4744	1173	24,7	630	156	24,7	31697	4277	13,5	7944	1012	12,7	3209	401	12,5	200,3
F 24		94291	12643	13,4	9430	1846	19,5	1203	345	28,6	50742	7194	14,2	13763	1771	12,9	5607	677	12,1	267,3

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächengewicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
G 25	l	19746	3404	17,2	2232	434	19,4	541	93	17,2	16811	4888	29,1	4823	1263	26,2	2192	552	25,2	25 x 25cm
	l	23307	4210	18,1	2250	330	14,7	554	57	10,2	13584	2430	17,9	3997	655	16,4	1853	313	16,9	115,1 105,7
	q	28506	3467	12,2	4958	279	5,6	1596	105	6,6										ø 11,3cm 117,7 112,4
	q	34944	9345	26,7	6436	1609	25,0	2106	579	27,5										
	dr	29890	6356	21,3	4133	1145	27,7	1120	361	32,2										
	dr	30345	11743	38,7	4248	1143	26,9	1181	296	25,1										
	dl	36313	9485	26,1	4497	1133	25,2	1115	299	26,8										
	dl	21977	6128	27,9	2848	1186	41,6	750	389	51,8										
G 26	l	48390	8025	16,6	7474	986	13,2	2024	404	20,0	23406	4203	18,0	7250	1288	17,8	3488	601	17,2	25 x 25cm
	l	45408	6770	14,9	6676	1219	18,3	1810	512	28,2	23156	2222	9,6	7163	669	9,3	3523	408	11,6	150,2 147,8
	q	65764	15310	23,3	12195	2069	17,0	4711	862	18,3										ø 11,3cm 153,0 166,3
	q	65267	11216	17,2	11805	1733	14,7	4517	759	16,8										
	dr	53952	2860	5,3	9781	876	9,0	3291	607	18,4										
	dr	56500	8407	14,9	10894	1806	16,6	3869	720	18,6										
	dl	54527	5490	10,1	11208	817	7,3	4133	197	4,8										
	dl	64157	11922	18,6	12418	2456	19,9	4599	1116	24,3										
G 27	l	59113	14985	25,3	8161	2143	26,3	2265	550	24,3	28100	4178	14,9	8367	1365	16,3	3941	640	16,4	25 x 25cm
	l	47749	6386	13,4	6476	794	12,3	1705	405	23,8	37928	4371	11,5	11738	1355	11,5	5613	700	12,5	164,1 201,6
	q	66964	14696	21,9	14220	2609	18,3	5655	1168	20,7										ø 11,3cm 158,1
	q	65739	7769	11,8	13534	1724	12,7	5519	718	13,0										

Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
G 27	dr	54971	20386	31,4	12806	3584	28,0	4510	1439	31,9										165,3
	dr	57547	16679	29,0	11407	4274	37,5	3648	1562	42,8										
	dI	67158	17847	26,6	13035	3972	30,5	4466	1416	31,6										
	dI	70729	21601	30,5	13559	4328	31,9	4966	1014	38,5										
G 28	1	58927	16544	28,1	10214	2032	19,9	3544	704	19,9	34639	5251	15,2	10653	1632	15,4	5004	837	16,5	25 x 25cm 213,2 232,6
	1	57596	8535	14,8	70025	1188	11,9	3475	397	11,4	41084	7841	19,1	12303	2297	17,9	6031	1078	17,5	
	q	66191	5926	9,0	12947	1445	11,2	4967	411	8,3										
	q	78744	8636	11,0	14841	1900	12,8	5784	691	11,9										
	dr	75759	15577	20,6	14692	3148	21,4	5252	1174	22,4										ø 11,3cm 225,8 231,2
	dr	94431	24143	25,6	13352	4775	26,0	6560	1780	27,1										
	dI	75346	14206	18,9	15229	2166	14,2	5479	953	17,4										
	dI	89603	24847	27,7	18927	5013	26,5	7203	2029	28,2										
G 29	1	134132	21213	11,5	33717	1560	4,6	14811	584	3,9	63421	4603	7,3	16325	884	5,3	9138	515	5,6	25 x 25cm 330,8 327,3
	1	181747	10266	10,6	33072	2777	8,4	14707	933	6,3	63148	4857	7,7	18159	1478	8,1	8966	790	6,9	
	q	193619	25074	13,0	36720	844	2,3	16794	782	4,7										
	q	201562	8083	4,0	33054	2084	5,5	17401	1040	6,0										
	dr	185979	25795	13,9	36652	3199	8,7	16630	1301	7,8										ø 11,3cm 325,4 335,9
	dr	182682	27811	15,2	35140	3657	10,4	15786	1697	10,8										
	dI	177237	39198	22,1	35370	4277	12,1	16026	1807	11,3										
	dI	173750	33118	20,2	34375	3650	10,6	15449	1538	10,0										

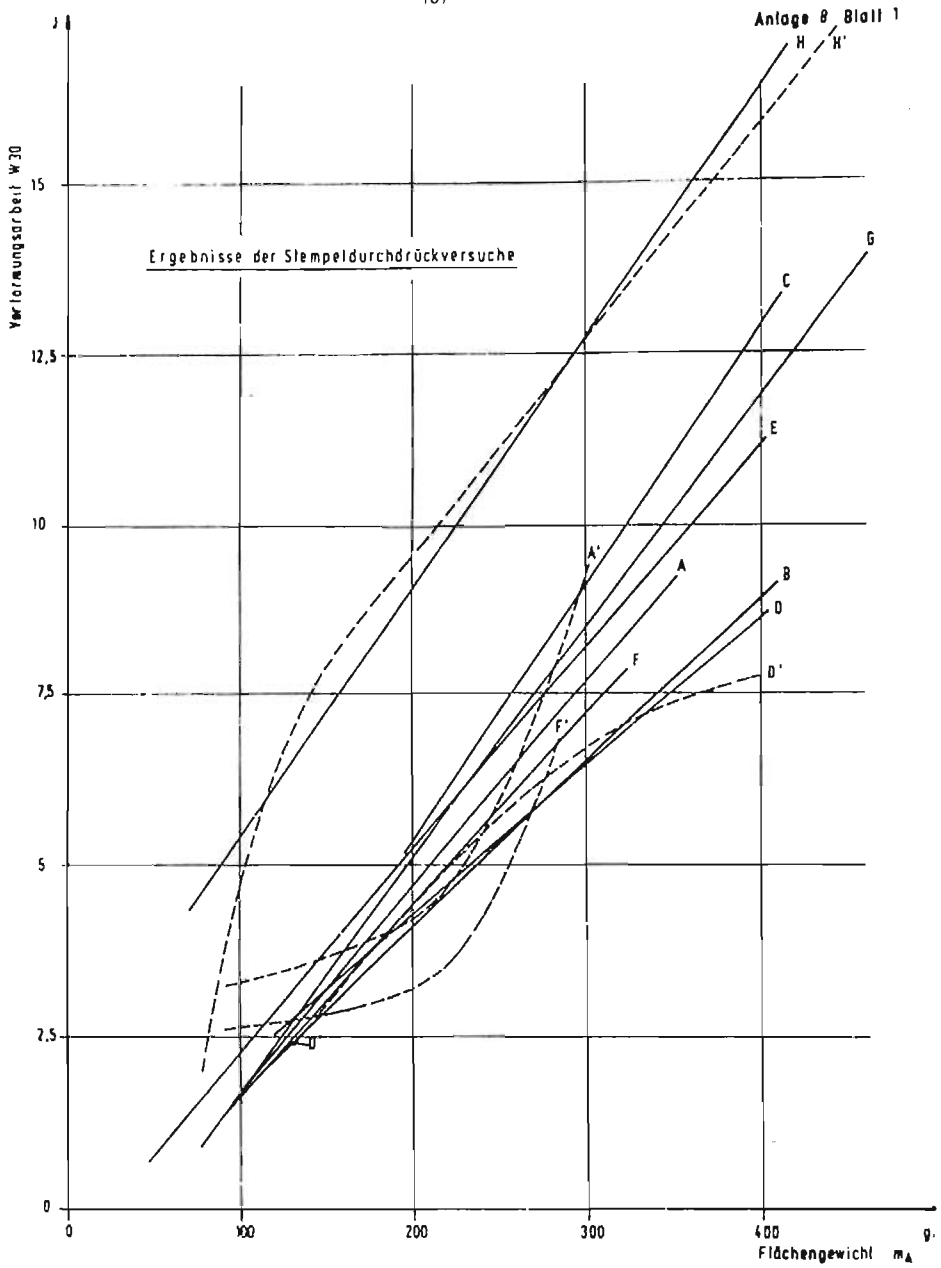
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächenge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweichung	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
G 30	l	196013	11927	6,1	35336	1866	5,3	12490	471	3,8	83187	7653	9,2	26047	2562	9,8	12373	1243	9,7	25 x 25cm
	l	186608	25166	13,5	34252	3103	9,1	12106	1495	12,3	80491	7255	9,0	25564	2102	8,2	12686	1017	8,0	418,9
																				420,5
	q	246347	20631	8,4	46872	3302	7,0	18458	1577	8,5										11,5cm
		245100	36151	14,7	47719	3521	7,4	19099	1665	8,7										410,9
																				437,4
	dr	224648	50554	22,5	46348	8092	17,5	17334	3347	19,3										
	dr	235767	20667	8,8	48131	4173	8,7	18126	1379	7,6										
dl	242534	27323	11,3	49836	4553	9,1	18559	1294	7,0											
dl	237322	72322	30,5	46658	6407	13,7	16931	2063	12,2											
Gesamtauswertung:																				
G 25		28129	8774	31,2	3950	1652	41,8	1120	583	52,0	15198	4105	27,0	4410	1067	24,2	2023	470	23,2	112,7
G 26		56746	11307	19,9	10306	2514	24,4	3620	1256	34,7	23281	3275	14,1	7207	1000	13,9	3506	500	14,3	154,4
G 27		62497	15996	25,6	11650	3931	33,7	4092	1784	43,6	33014	6537	19,8	10053	2178	21,7	4777	1080	22,6	172,4
G 28		74575	19361	26,0	14403	4158	28,9	5284	1630	30,8	37862	7288	19,2	11728	2233	19,0	5558	1058	19,0	227,6
G 29		185089	25650	13,9	35387	3123	8,8	15950	1472	9,2	63285	4608	7,3	18242	1188	6,5	9052	635	7,2	329,9
G 30		226792	40664	17,9	44394	7156	16,1	16638	3101	18,6	81839	7388	9,0	25803	2294	8,9	12780	1110	8,7	421,9

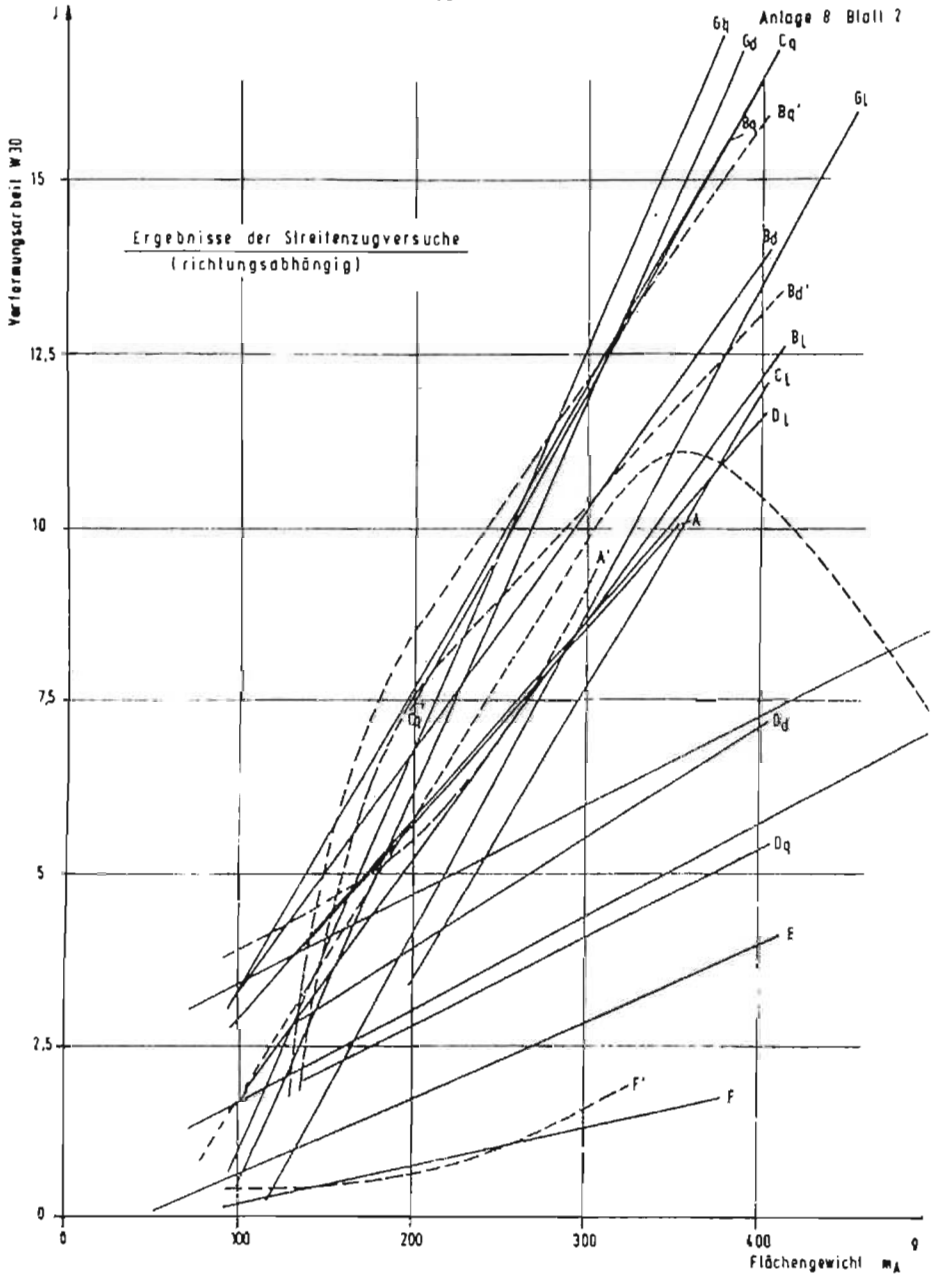
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldruckversuch									Flächengewicht	
		W100			W50			W30			W100			W50			W30				
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.		
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²	
H 31	Breite 20cm	1	47427	1890	4,0	7349	200	2,7	2413	68	2,8	30265	2015	6,7	9477	298	3,1	4503	223	4,6	25 x 25cm 100,2 106,5 Ø 11,3cm 97,3 97,7
		1	48121	2567	5,3	7134	498	7,0	2317	207	8,9	29208	1224	4,2	9020	318	3,5	4590	144	3,2	
		q	39032	2967	7,6	5179	183	3,5	1658	117	7,1										
		q	39663	1760	4,4	5089	691	13,6	1621	249	15,4										
	Breite 5 cm	1	7361	2726	37,0	1111	429	38,6	327	152	46,4										
		1	6025	2899	48,1	995	381	36,3	285	124	43,4										
		q	5276	1845	35,0	752	125	16,6	243	64	26,5										
		q	7065	2968	42,0	1034	474	45,8	308	151	49,2										
H 32	Breite 20cm	1	50511	3394	6,7	7982	372	4,7	2657	134	5,0	45568	2013	4,4	15042	543	3,6	7423	270	3,6	25 x 25cm 135,9 139,5 Ø 11,3cm 136,4 136,9
		1	54617	2746	5,0	8246	491	6,0	2923	203	6,9	44070	1683	3,8	14634	379	2,6	7253	250	3,4	
		q	43448	5941	13,7	6873	508	7,4	2273	229	10,1										
		q	44578	1539	3,5	7650	312	4,1	2645	145	5,5										
	Breite 5 cm	1	10664	1056	9,9	1584	128	8,1	550	45	8,3										
		1	11109	2378	21,4	1567	280	17,9	569	72	12,6										
		q	9315	1379	14,8	1330	121	9,1	464	42	9,0										
		q	10056	1045	10,4	1504	221	14,7	490	40	8,1										

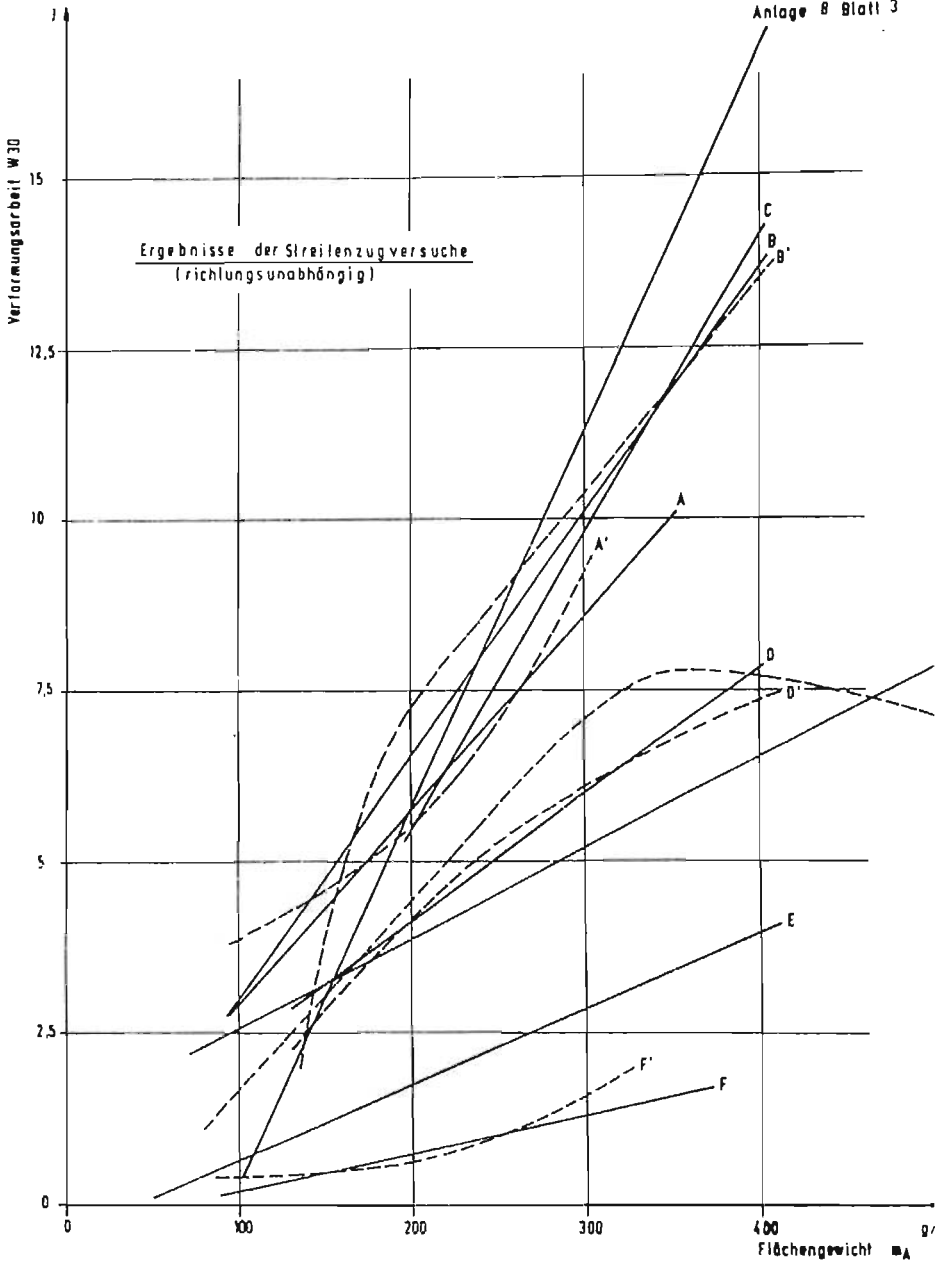
Produkt	Reich- tung	Streifenzugversuch									Stempeldruckversuch									Flächen- ge- wicht	
		W100			W50			W30			W100			W50			W30				
		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.		
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m ²	
H 33	Breite 20cm	1	75482	10161	13,5	11779	1575	13,4	4367	624	14,3	55592	2349	4,2	18679	829	4,4	9324	363	3,9	25 x 25cm 190,8 192,2 11,3cm 194,0 192,4
		1	80395	4050	5,0	13884	526	3,8	5068	191	3,8	54272	3067	5,7	17980	965	5,4	9077	496	5,5	
	q	49510	4222	8,5	8061	352	4,4	2753	166	6,0											
		51032	6175	12,0	9081	681	7,5	2132	230	7,3											
	Breite 5 cm	1	13518	2072	10,6	3370	347	10,3	1139	117	10,3										
		1	21008	2175	10,3	3352	95	2,8	1196	57	4,8										
	q	11924	1122	9,4	2008	85	4,2	655	30	4,7											
		12245	1515	12,4	2079	177	8,5	711	64	8,9											
H 34	Breite 20cm	1	105261	9081	8,6	25412	2566	10,1	10788	1026	9,5	89530	6156	6,9	28941	1748	6,0	14001	664	4,7	25 x 25cm 346,0 342,8 11,3cm 342,9 344,7
		1	110738	4002	3,6	26609	1636	6,1	11303	707	6,3	91458	10110	11,1	29273	3680	12,6	14085	1546	11,1	
	q	102044	15904	15,6	14169	796	5,6	4248	196	4,6											
		107456	18950	17,5	15290	1539	10,1	4694	424	9,0											
	Breite 5 cm	1	30052	3441	11,5	6416	963	13,5	2600	357	12,8										
		1	29276	2954	10,2	6267	479	7,6	2607	165	6,4										
	q	23876	1323	5,5	4165	221	5,3	1232	140	11,4											
		23908	1566	6,6	4132	273	6,6	1262	84	6,7											

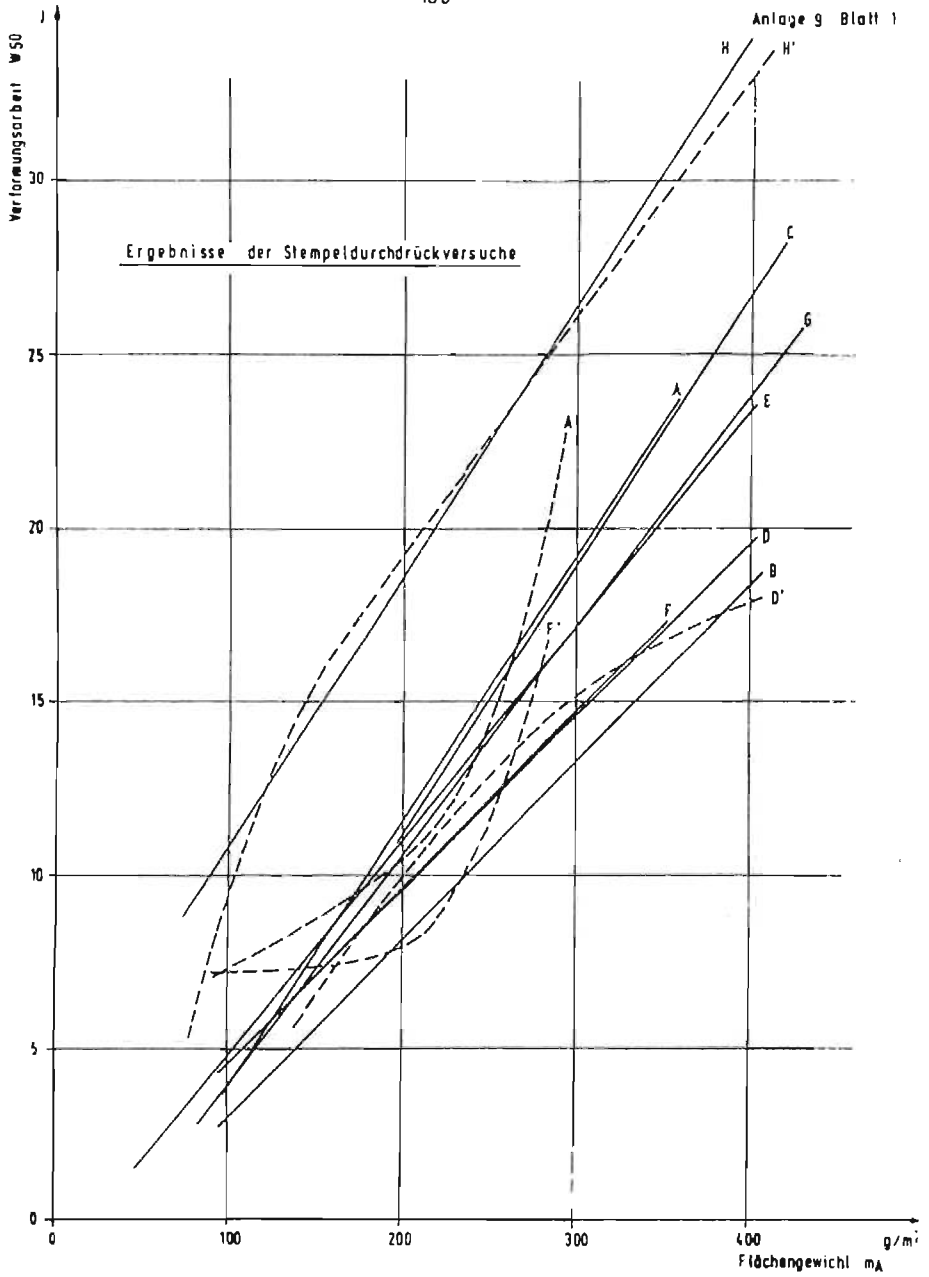
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächen- ge- wicht
		W100			W50			W30			W100			W50			W30			
		Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	Mittel- wert	Stand- abweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
Breite 20cm H 35 Breite 5 cm	1	104424	8102	7,8	17364	1061	6,1	6378	425	6,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25 x 25cm 515,6 518,7 Ø 11,3cm 521,6 523,6
	1	135750	8585	6,3	17555	1116	6,4	6202	408	6,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	q	124531	17390	14,0	21399	2252	10,5	7588	669	8,8										
	q	143655	9761	6,8	22245	1415	6,4	7585	718	9,5										
	1	28325	783	2,8	5376	764	14,2	1806	261	14,5										
	1	26097	2279	8,7	5184	331	6,4	1762	105	6,0										
	q	26172	2756	10,5	5473	783	14,3	1828	326	17,8										
	q	30520	1202	3,9	5820	339	5,8	1964	160	8,1										
Gesamtauswertung:																				
H 31	b= 20 cm	43561	4843	11,1	6188	1160	18,7	2002	407	20,3	29737	1711	5,6	9249	381	4,1	4577	203	4,4	98,9
	b= 5 cm	6432	2575	40,0	973	373	38,3	291	122	41,9										
H 32	b= 20 cm	48286	5795	12,0	7688	659	8,6	2624	290	11,1	44819	1963	4,4	14838	502	3,4	7338	268	3,7	137,2
	b= 5 cm	10286	1592	15,5	1496	209	14,0	518	64	12,4										
H 33	b= 20 cm	64105	15547	24,3	10701	2490	23,3	3530	1010	26,4	54932	2744	5,0	18330	946	5,2	9171	451	4,9	192,4
	b= 5 cm	16176	4537	28,0	2702	702	26,0	925	259	28,0										
H 34	b= 20 cm	106375	12624	11,9	20370	6035	29,6	7758	3437	44,3	90494	8206	9,1	29077	2807	9,7	14046	1159	8,2	344,1
	b= 5 cm	26778	3758	14,0	5245	1225	23,4	1975	776	39,3										
H 35	b= 20 cm	127090	18491	14,5	19641	2664	13,6	6938	850	12,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	519,9
	b= 5 cm	27779	2570	9,3	5463	596	10,9	1840	225	12,2										

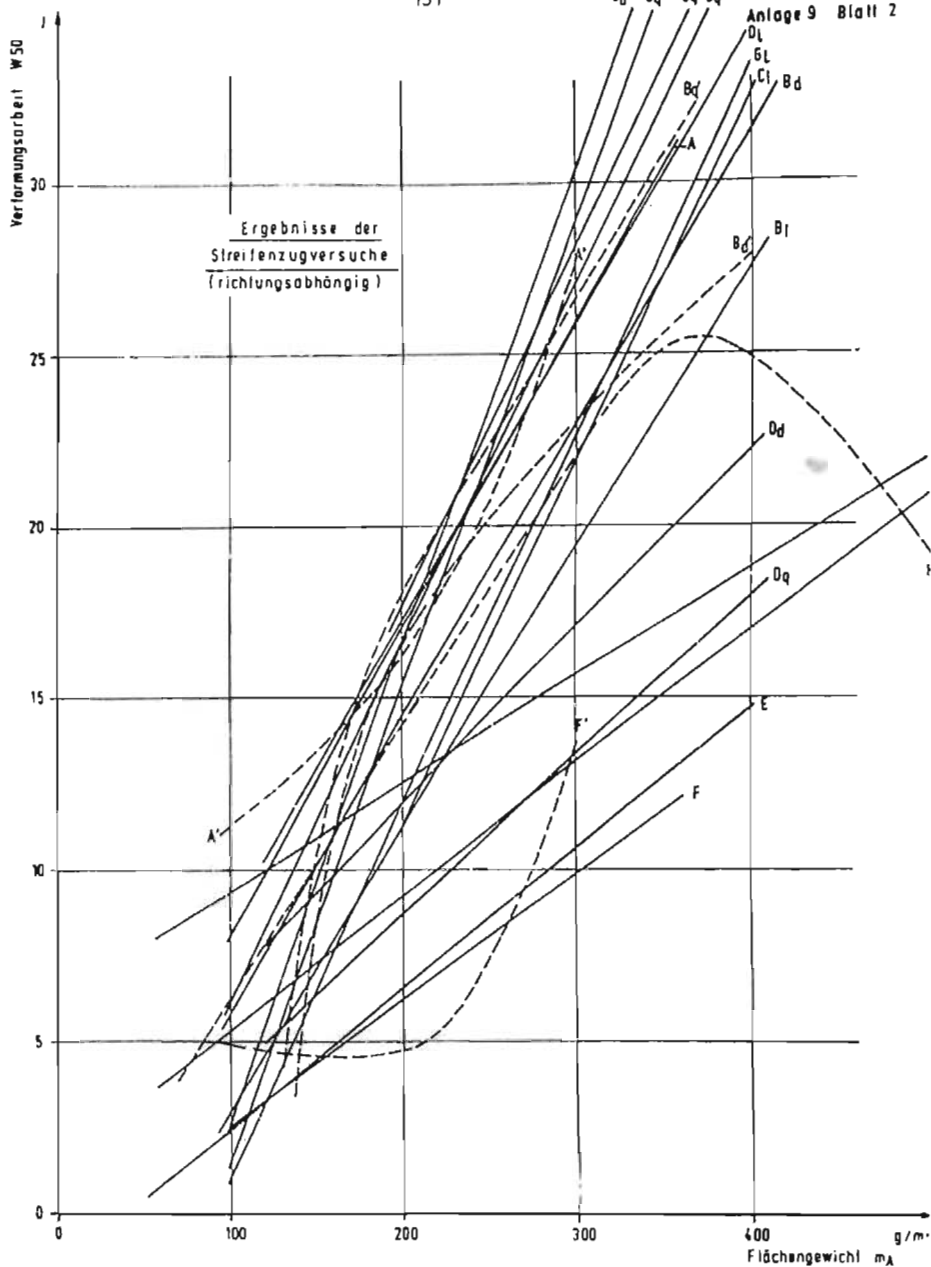
Produkt	Richtung	Streifenzugversuch									Stempeldurchdruckversuch									Flächenge- wicht
		W100			W 50			W 30			W 100			W 50			W 30			
		Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	Mittelwert	Standardabweich.	Var. Koeff.	
		mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	mJ	mJ	%	g/m²
I 36	l	19519	1761	9,0	3002	709	23,6	355	136	38,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21 x 25cm
	l	18795	1573	8,4	2989	416	13,9	382	82	21,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	215,8 215,
	q	29573	1401	4,7	9422	563	6,0	2089	241	11,5										20 x 22cm
	q	27125	1591	5,9	7776	1232	15,8	1615	339	21,0										212,5 212,2
I 37	l	36314	3782	10,4	10741	1777	16,5	1823	805	44,2	39945	2290	5,7	17029	1620	6,0	8408	475	5,6	25 x 25cm
	l	37441	3738	10,0	10977	1341	12,2	1907	342	17,9	41354	3616	8,7	17632	1115	6,3	8671	581	6,7	713,6 71,5
	q	43715	2536	5,8	15282	795	5,2	4561	417	9,1										11,3cm
	q	44967	4947	11,0	14961	1184	7,9	4263	491	11,5										615,2 693,1
Gesamtauswertung:																				
I 36		23753	5021	21,1	5797	3025	52,2	1110	807	72,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	213,7
I 37		40609	5243	12,9	12990	2505	19,3	3144	1407	44,8	40650	3033	6,5	17331	1086	6,3	8540	534	6,3	685,9

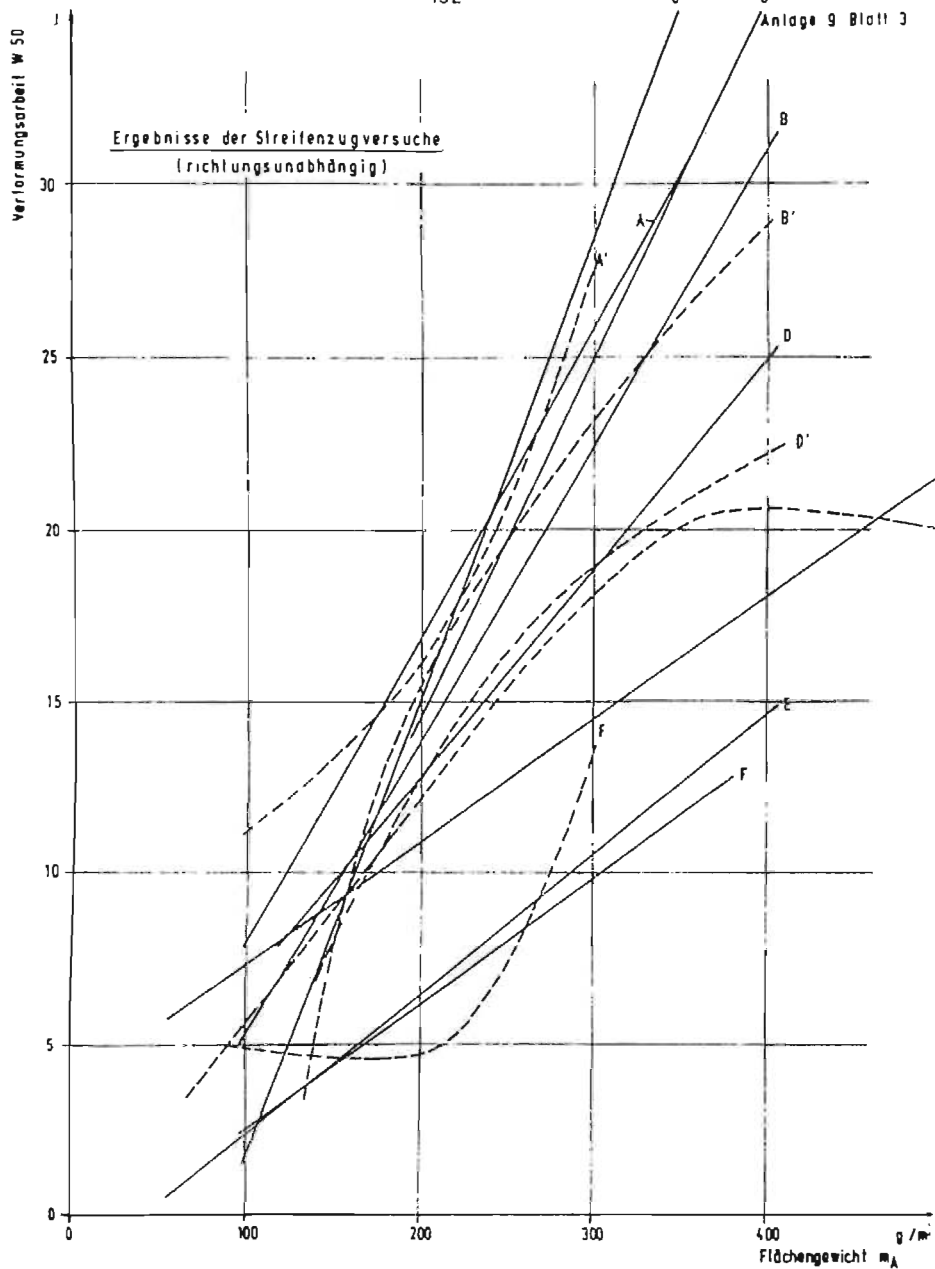


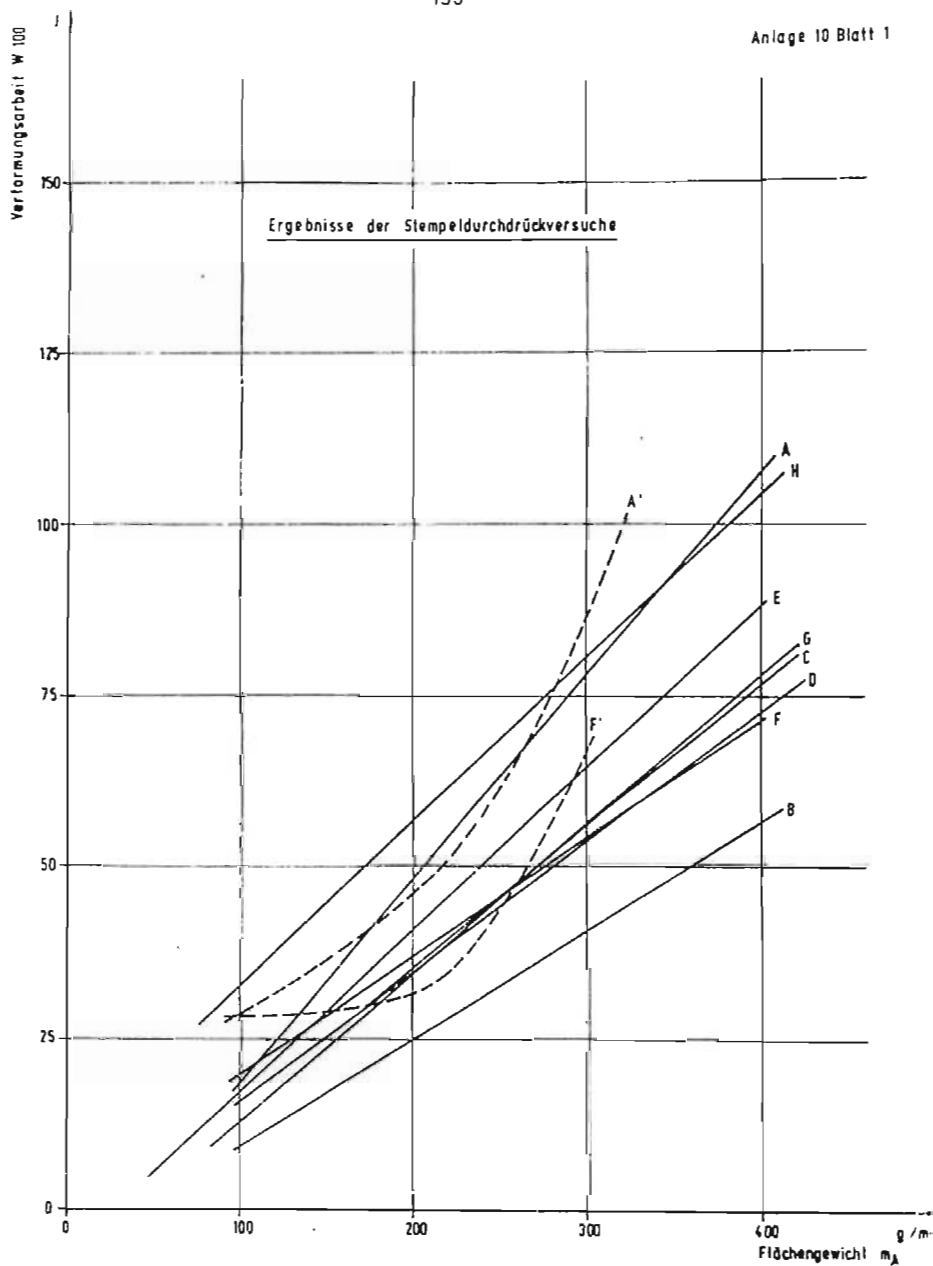


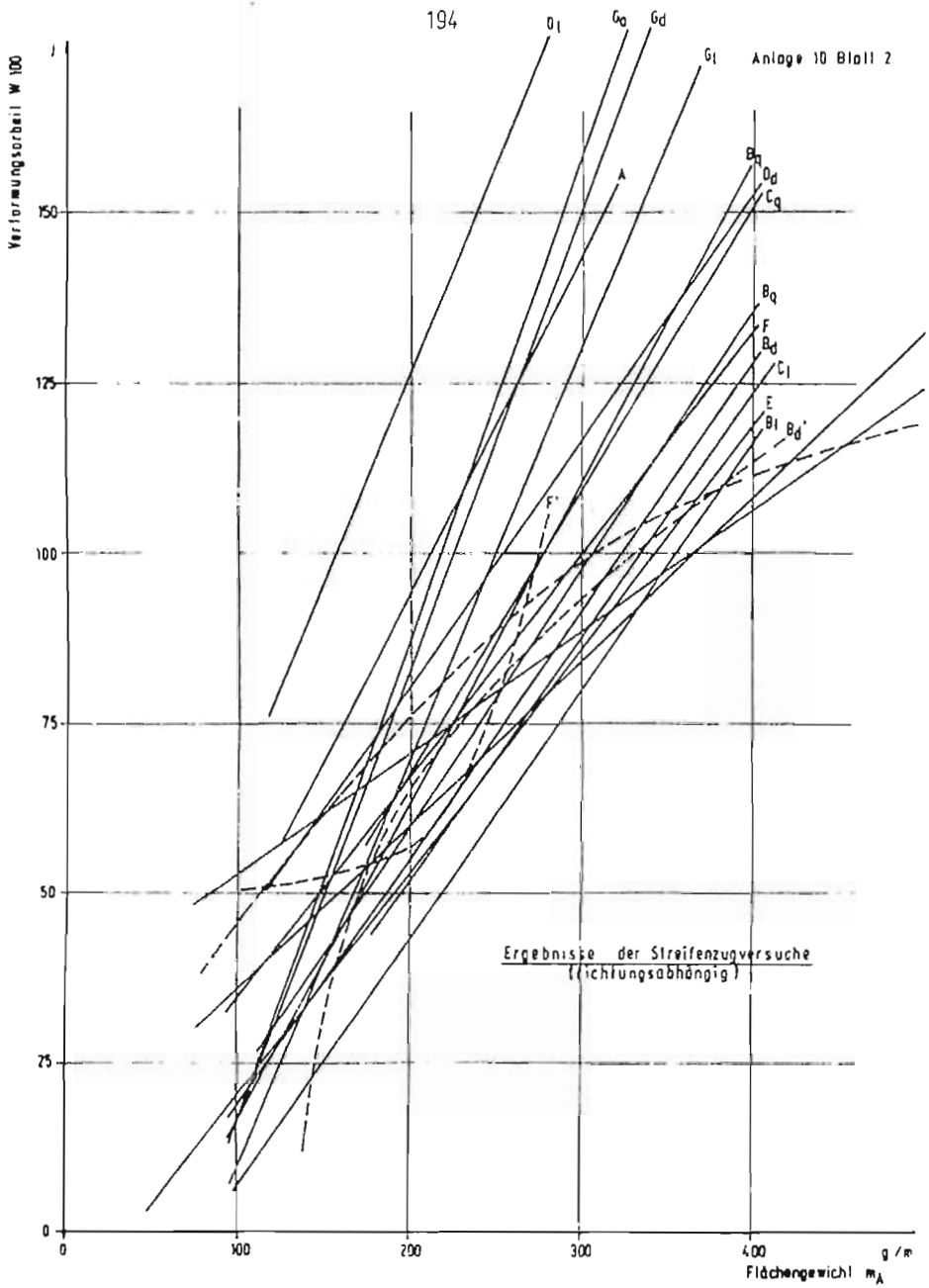


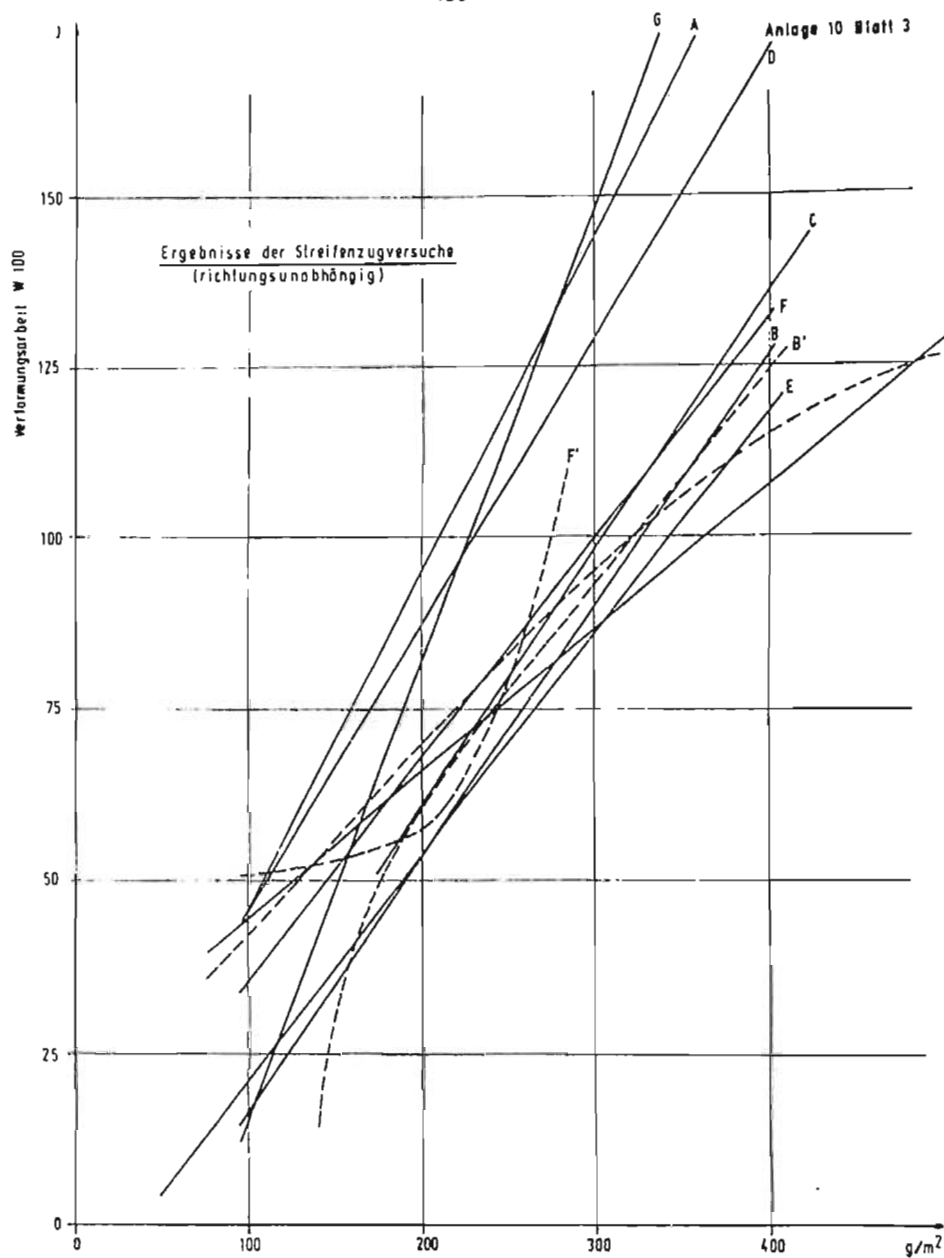


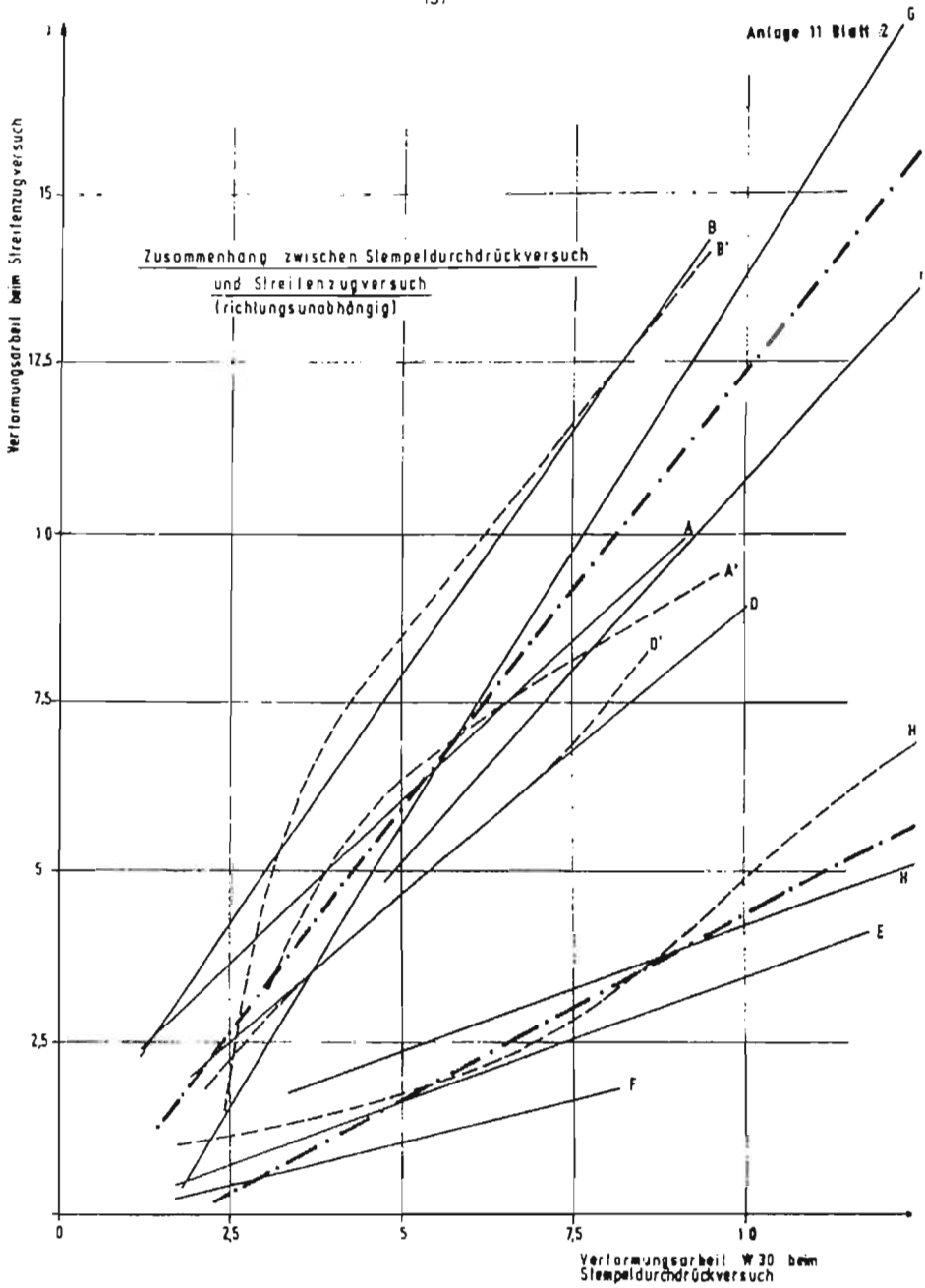


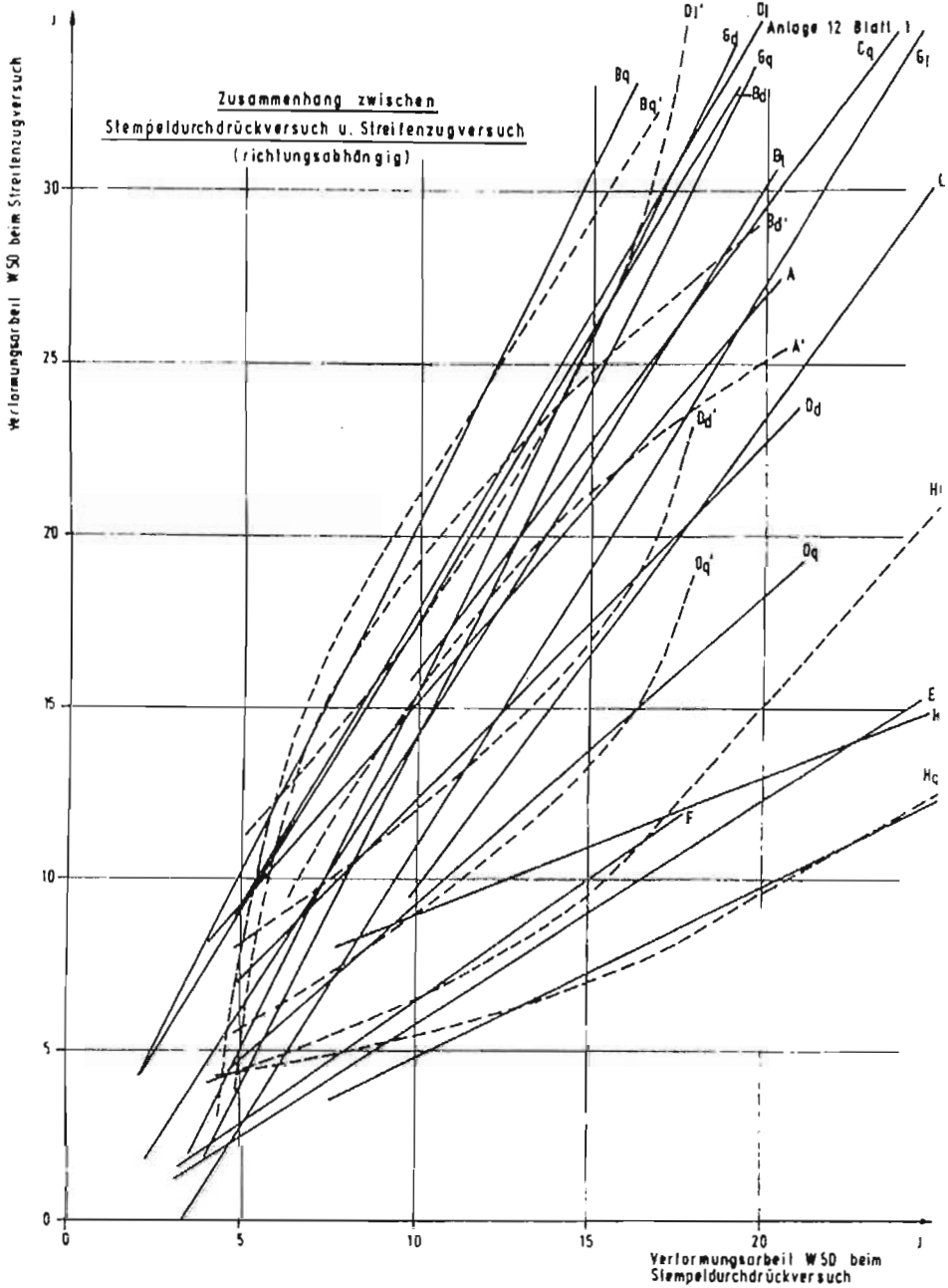


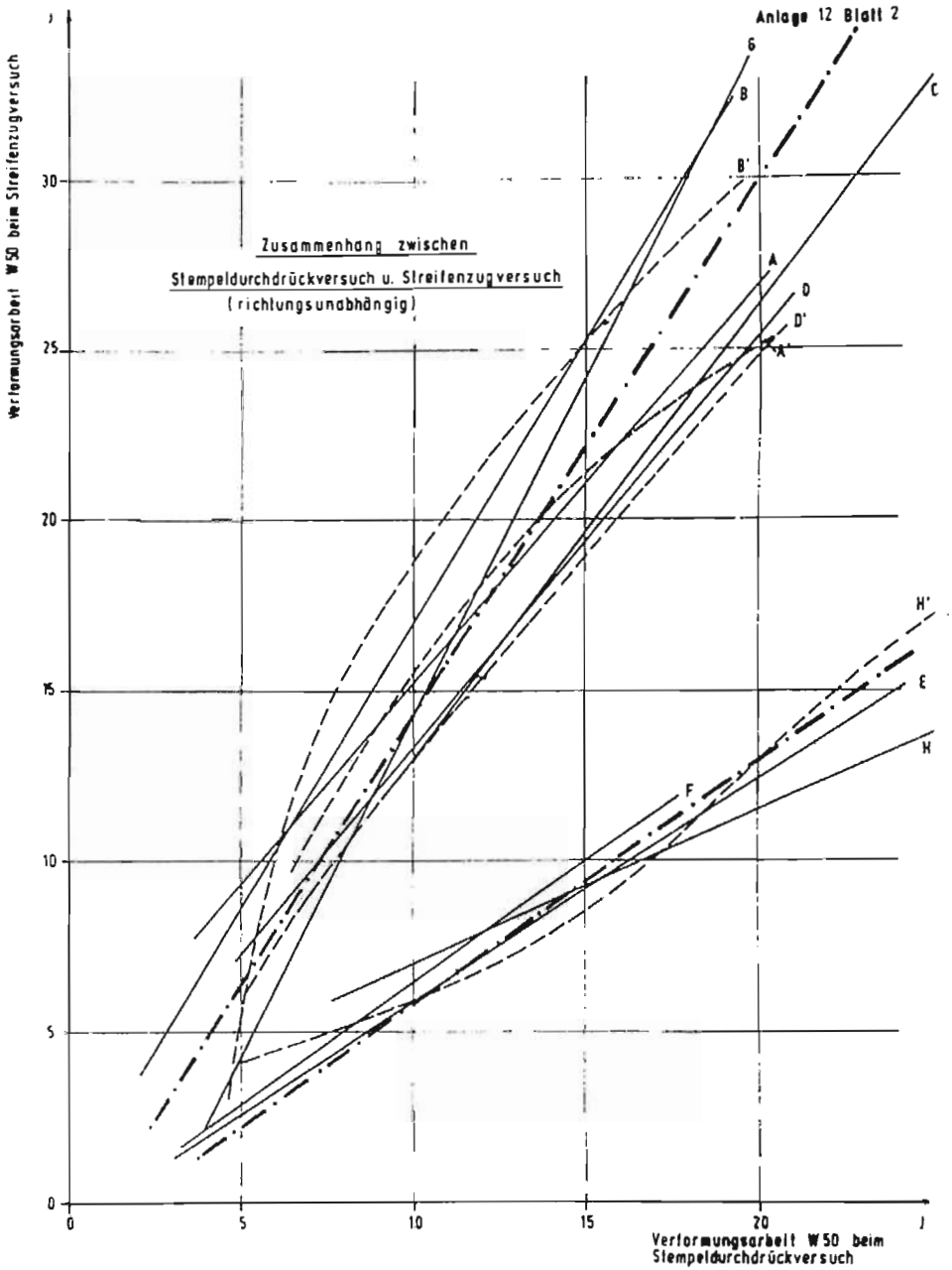




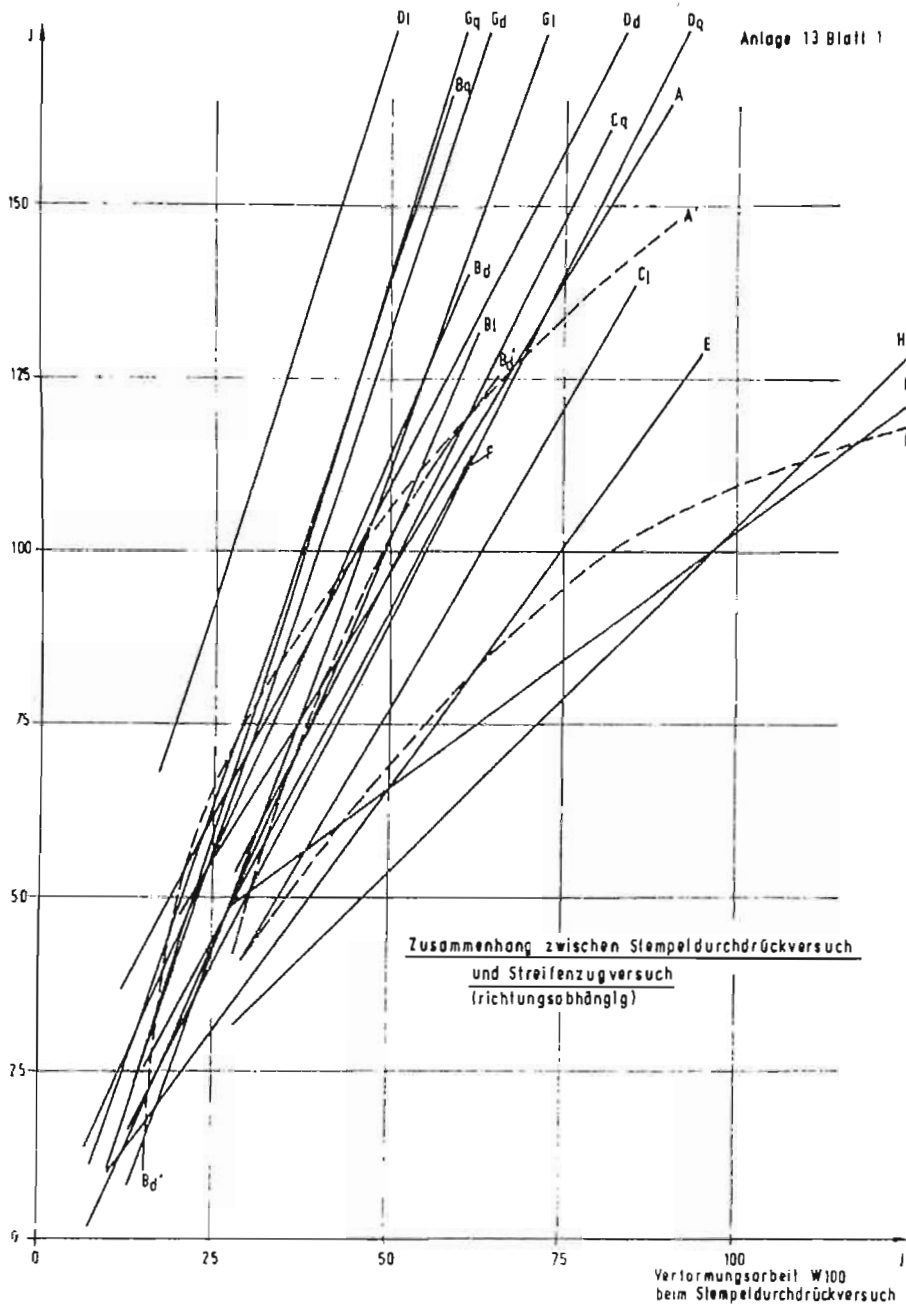


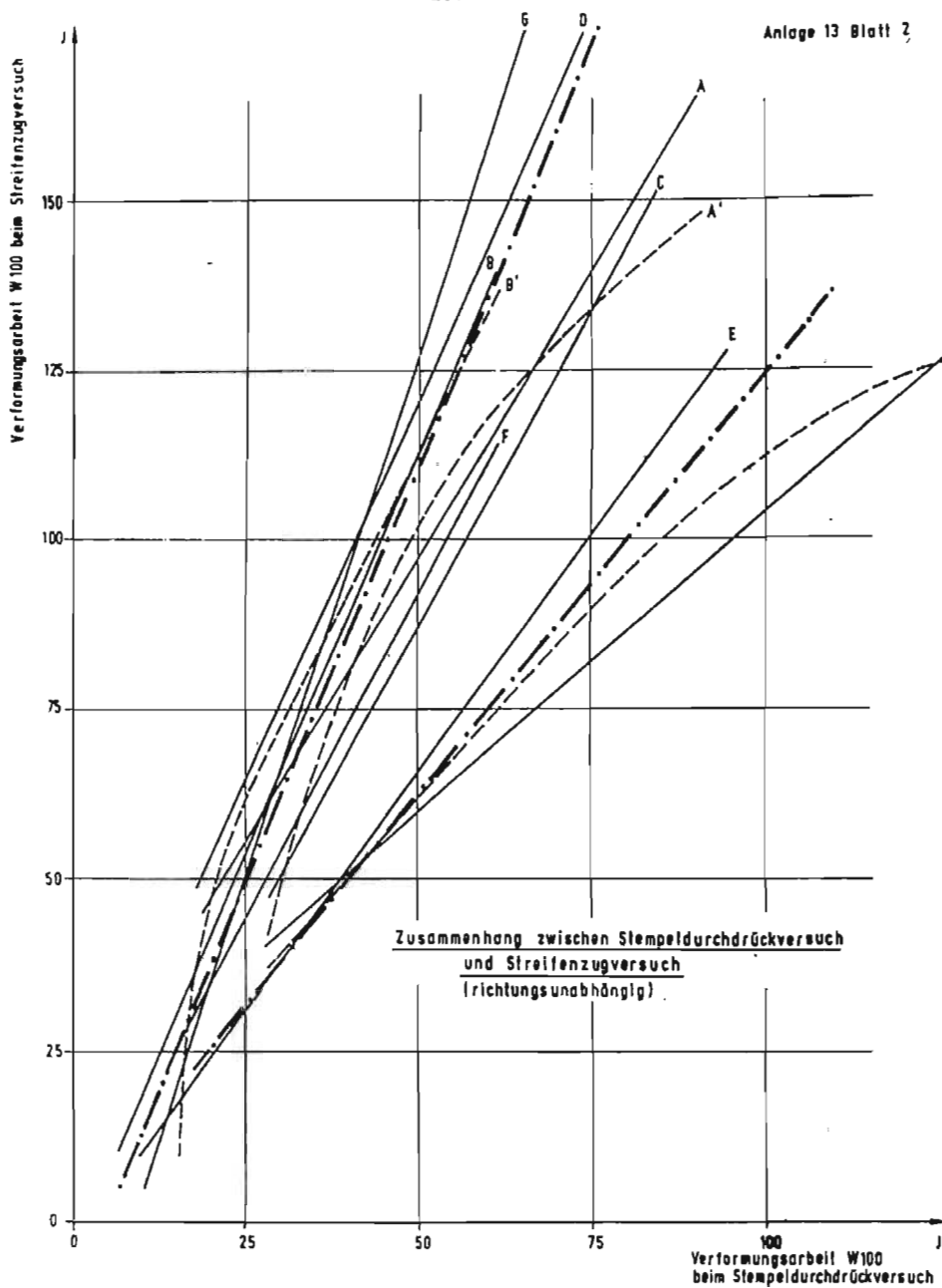






Verformungsarbeit W100 beim Streifenzugversuch





Schriftenreihe
Lehrstuhl und Prüfam
für
Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik
der Technischen Universität München

Herausgegeben von
Prof. Dr.-Ing. Rudolf Floss
Ordinarius für Grundbau, Bodenmechanik
und Felsmechanik

- | | |
|-----------------|--|
| Heft 1
1982 | Tragfähigkeit von Verpreßankern in nichtbindigem Boden |
| Heft 2
1983 | Beiträge zur Anwendung der Stochastik und Zuverlässigkeitstheorie in der Bodenmechanik |
| Heft 3
1984 | In situ-Versuche zur Ermittlung der Unterbausteifigkeit an zwei Pfeilern der Sinnthalbrücke Schaippach |
| Heft 4
1985 | Ein Beitrag zum Spannungs-Verformungsverhalten silikatgel-injizierter Sande |
| Heft. 5
1985 | Beiträge zum Tragverhalten axial zyklisch belasteter Pfähle |
| Heft 6
1986 | Forschungsbeiträge zum mechanischen Verhalten von Geotextilien |

