

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 19

Artikel: Geotextilien im Strassenbau: Verformungsmodul oder Dehnfähigkeit - eine Kontroverse?: oder eher eine Konkurrenz?
Autor: Jaecklin, Felix P. / Steiger, Andreas / Martin, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76585>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 02.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

gress für dieses Gebiet am wirksamsten. Dabei kann man die Schlüsselfunktionen selbstverständlich selbst bekleiden und alle Honoratioren verpflichtend einspannen.

Sollten die Ehrungen daraufhin noch immer zu spärlich eintreffen, so lassen sich die richtigen Gremien gezielt gegeneinander aus-

spielen, bis das Eis gebrochen ist. Unsterblichkeit erringt, wer seine Stiftungen mit Namensnennungs-Klauseln sichert.

Pränatale Vorsorge bezüglich Geburtsland und Eigennamen wird zwar oft zu wenig beachtet, doch können Gastspiele und andere Affiliationen korrigierend helfen; bei

schwierigen Namensverhältnissen mag der Beizug eines gewiegten PR-Fachmanns angezeigt sein.

Dieser kurze Abriss zeigt bereits, wie vollständig und umsichtig die Abhandlung ist; sie ist auch zwischen den Zeilen beherzigenswert. BP

Geotextilien im Strassenbau

Verformungsmodul oder Dehnfähigkeit – eine Kontroverse? Oder eher eine Konkurrenz?

Ein Fachartikel zu diesem Thema von A. Steiger erschien im Schweizer Ingenieur und Architekt H. 7/87, S. 156, und fragt, welcher Typ Geotextilien für die Verwendung im Strassenbau geeignet wäre, nämlich solche mit hohem Verformungsmodul (Gewebe) oder solche mit hoher Dehnfähigkeit (Vliese).

Bezugsfeld

Konkurrenz

Um die Antwort klar vorwegzunehmen: Es besteht gar keine derartige Kontroverse, beide Geotextilien, ob Gewebe oder Vlies, sind verwendbar. Hingegen besteht eine klare Konkurrenzsituation, die im Interesse der Hersteller und der Anwender auf der Baustelle eine genauere Beleuchtung verdient.

Gewebe

Geotextilien mit hohem Verformungsmodul sind Gewebe und Geogitter mit relativ geringer Reissdehnung von etwa $E = 10\text{--}20\%$, jedoch mit mittlerer bis sehr grosser Reissfestigkeit.

Vliese

Geotextilien mit hoher Dehnfestigkeit sind Vliese, meist hergestellt aus Stapel- oder Endlosfasern, chemisch oder thermisch verfestigt oder mechanisch vernadelt. Durch Regulierung des Herstellungsprozesses lassen sich auch hier die Eigenschaften in weiten Bereichen einstellen. Typisch für diese non-woven Materialien sind eine geringe bis mittlere Reissfestigkeit und eine hohe bis sehr hohe Dehnfähigkeit (Reissdehnung $E = 25\text{--}60\%$).

Vergleich

Die Gegenüberstellung dieser beiden Haupttypen von Geotextilien zeigt somit einen gemeinsamen Bereich der Gewebe und Vliese in den mittleren Reissfestigkeiten, jedoch stark unterschiedliche und sich nicht überdeckende Bereiche der Dehnfähigkeit oder der Reissdehnung, meist bei etwa 15% für Gewebe und über 40% bei Vliesen.

Historischer Aspekt

Erste Anwendungen erfolgten zwar mit Geweben in den 60er Jahren. Der eigentliche Durchbruch zur breiten Verwendung der Geotextilien im Bauwesen brachten aber die Vliese in den späten 70er und frühen 80er

Jahren, dank deren vielseitigen Nutzen und wirtschaftlicher Anwendbarkeit.

Heute behaupten Vliese und Gewebe ihren Platz nebeneinander. Schwerpunkt der Gewebeanwendungen liegen zweifellos bei wesentlicher Armierungswirkung, wie etwa für Dämme und Stützkonstruktionen, aber auch im Strassenbau und Wasserbau. Demgegenüber haben Vliese ihre Hauptanwendungen bei Drainagen und im Strassenbau. Trotz dieser Schwerpunkte gibt es jedoch kaum ein Fachgebiet, wo nur der eine oder der andere Typ in Frage käme: das Nebeneinander von Gewebe und Vliese ist nicht grundsätzlich bedingt, sondern das geeignete Geotextil wird nach den projektbezogenen Anforderungen ausgewählt.

Arbeitsgleichung und Geotextilienkennwert G

Zum Zerreißen eines Geotextiles braucht es Energie, d.h. die Zerreibarbeit ist Kraft \times Dehnung:

$$A = r \times E$$

Diese Formel bedeutet, dass Vliese mit grosser Reissdehnung den möglichen Beschädigungen durch Deformation ausweichen, während Gewebe mit geringer Reissdehnung dazu in geringerem Mass in der Lage sind und entsprechend eine grössere Festigkeit aufzuweisen haben als Vliese. Der Geotextilfaktor G berücksichtigt diese Besonderheit physikalisch korrekt:

$$G = E \text{ erforderlich} / E \text{ vorhanden}$$

Das Geotextil-Handbuch (vgl. H. 40/86) schränkt dieses physikalische Grundgesetz nicht ein, auch nicht für die wichtigen Mindestanforderungen. Im Gegenteil, das Handbuch prägte dazu den Begriff des Geotextilfaktors zu dessen Berücksichtigung.

Richtigstellungen

Der Artikel Steiger enthält mehrere Einzelheiten, die nicht zutreffen und denen darum klar zu widersprechen ist.

1. «Hauptkriterium bildet das rein mechanische Trennen des Schichtmaterials vom Untergrundmaterial.»

In Wirklichkeit sagt das Geotextil-Handbuch, Seite 4.6: «Die genauere Betrachtung der Verhältnisse zeigt jedoch, dass die mögliche Verstärkungswirkung des Geotextiles ...

eine Teilaufgabe ist und dass das Zusammenwirken mehrerer Aufgaben entscheidend ist.» Ein Hauptkriterium gibt es somit nicht.

2. «In gewissen Fällen wird eine Unterschreitung der geforderten Minimaldehnungen bei erhöhter Reissfestigkeit zugelassen.»

Das ist nicht richtig, weil dies *nicht nur gewisse Fälle* betrifft, sondern allgemein und immer gilt, siehe Geotextil-Handbuch, Seite 2.12 und 4.15: «Geht es jedoch um wenig dehnungsfähiges Material, das zwar die Reisskraft, jedoch die geforderte minimale Reissdehnung nicht erfüllt, so kann es trotzdem verwendet werden, falls ein Typ gewählt wird mit erhöhter Reisskraft r^* , wobei $r^* = r \times G$.

3. «Die Verstärkungsfunktion von Geotextilien wird von einzelnen Fachleuten [12, Geotextil-Handbuch] grundsätzlich in Frage gestellt.»

Dies trifft nicht zu, die Verstärkungsfunktion ist auch im Strassenbau eine wichtige Geotextilfunktion und wird nicht in Frage gestellt.

4. «Nachdem insbesondere die Eignung relativ steifer Gewebe angezweifelt wird ...»

Die Eignung relativ steifer Gewebe wird im Geotextil-Handbuch nicht angezweifelt, sondern es wird angegeben, wie diese mit dem geeigneten G -Faktor zu messen sind.

5. «Bei den oft schwierigen Verhältnissen im Strassenbau sollten unter keinen Umständen die international mit Erfolg angewendeten Produkte mit hohem Verformungsmodul und niedriger Reissdehnung von der Verwendung ausgeschlossen werden, wie dies Rüegger und Mitautoren [12, Geotextil-Handbuch] mit der Forderung nach einer grossen Dehnfähigkeit als Hauptkriterium indirekt vorschlagen.»

Diese Forderung wird nicht gestellt, da mit dem Handbuch nie die Reissdehnung allein, sondern immer in Kombination mit der Reissfestigkeit oder Reisskraft bestimmt wird. Eine grosse Reissdehnung wird nicht absolut gefordert, sondern dient als Ausgangspunkt für die Umrechnung bei G grösser als 1.

Beispiel 1: Baupiste Nordumfahrung N 20

Die im Artikel Steiger aufgeführten Anwendungsbeispiele enthielten leider keine vollständigen Angaben, so dass unklar war, wie diese Projekte nach den Formeln und Diagrammen des Geotextil-Handbuches bemessen worden wären. Auf Anfrage lieferte der Autor die Materialbeschreibungen nach und es ergab sich folgendes Bild:

- schwere bis sehr schwere
Verkehrsbelastung

$V = 2,5$

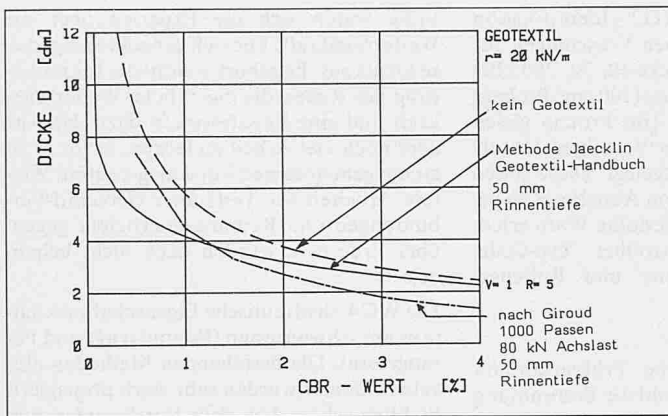


Bild 1. Mit der angegebenen Methode berechnete, durchgehende Linie wird mit der strichpunktierten Linie, gemäss der Berechnungsmethode nach Giroud verglichen

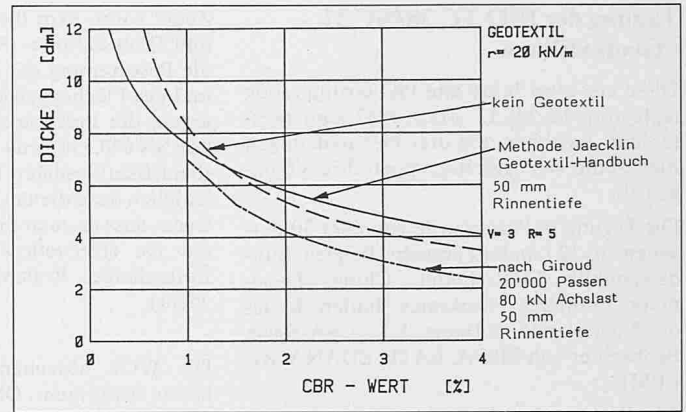


Bild 2. Ähnlich wie im Bild 1 werden die zwei Kurven verglichen, jedoch bei grösserem Verkehrsvolumen

- Spurrinnen etwa 10 cm R = 10
- Untergrund gering bis sehr gering tragfähig U = 2
- Schüttmaterial Kiessand II K = 2
- Schüttdicke 40-50 cm D = 4

Die Formeln führen zu einer erforderlichen Reisskraft von $r = 16,8 \text{ kN/m}$ und einer Reissdehnung von $E = 20\%$. Bei einem Evorh. = 13% ergibt sich $G = 1,54$ und die erforderliche Reisskraft für das Geotextilgewebe $r^* \text{ erf.} = 25,8 \text{ kN/m}$. Eingebaut wurde ein Geotextil von $r^* = 28,6 \text{ kN/m}$, also gerade richtig.

Beispiel 2: Güter- und Forststrasse Kt. Glarus

- leichte bis mittlere Verkehrsbelastung V = 1
- Spurrinnen 3-5 cm R = 5
- Untergrund gering bis sehr gering tragfähig U = 3
- Schüttmaterial Kiessand II K = 2
- Schüttdicke 35-60 cm D = 5

Nach dem Handbuch ergibt sich daraus die erforderliche Reissfestigkeit von $r = 15,1 \text{ kN/m}$ und die Reissdehnung von $E = 17,5\%$. Bei einem E vorh. = 13% ergibt dies einen Faktor $G = 1,35$ und entsprechend die erforderliche Gewebe-Reissfestigkeit von $r^* = 20,3 \text{ kN/m}$. Vorhanden ist Reissfestigkeit $r \text{ vorh.} = 28,6 \text{ kN/m}$. Wiederum ist das Geotextil genügend dimensioniert.

Geotextilien im Strassenbau - Verformungsmodul oder Dehnfähigkeit - eine Kontroverse?

Stellungnahme des Verfassers zur Entgegnung Jaecklin

In seiner Entgegnung bestätigt Dr. F. P. Jaecklin die in verschiedenen Anwendungsfällen im Strassenbau wichtige Armierungsfunktion der Geotextilien. Er zeigt, dass das relativ steife Gewebe den Anforderungen der Dimensionierung der beiden Beispiele entspricht. Die im Geotextilhandbuch (S.4.24/25) aufgeführten Mindestanforderungen, die auch in anderen Veröffentlichungen Jaecklins (Fünfte Geotextiltagung 1986, Schweizer Ingenieur und Architekt H. 40/86, S. 990ff) enthalten sind, können ebenfalls mit dem Geotextilfaktor umgerechnet werden.

Die Mindestanforderungen des Geotextilhandbuches enthalten sehr hohe Mindest-

Schlussfolgerungen

Nach den Darstellungen Steiger hätten die beiden Beispiele eine grosse Diskrepanz zwischen diesen ausgeführten Projekten und der Bemessung nach dem Geotextil-Handbuch erwarten lassen. Dies ist jedoch gerade nicht der Fall, indem bei Annahme der genannten Variablen sogar genau die gleichen Geotextilien bestimmt würden.

Statt einer Kontroverse besteht somit eine erstaunliche Übereinstimmung: Die Bemessung für Gewebe und Vliese liegen gar nicht Welten auseinander.

Trotzdem liesse sich die Kontroverse weiter führen, z.B. mit etwas anderen Variablenwerten bei den Beispielen, um divergierende Resultate zu ermitteln. Darum wurde der Versuch unternommen, die Bemessungsformeln des Handbuches mit amerikanischen Bemessungskurven zu vergleichen, und es zeigte sich eine gute Übereinstimmung der Theorien und detaillierte weitere Vergleiche würden sehr begrüsst.

In der Praxis darf jedoch keine grosse Genauigkeit erwartet werden, da das Resultat je nach Wahl der Variablen und der örtlich wechselnden Bedingungen in einem breiten Band variiert.

reissdehnungen, insbesondere bei weichem Untergrund. Die Armierungsfunktion wird durch eine direkte Anwendung dieser Kriterien in den Hintergrund gerückt. Die entsprechende Tabelle im Handbuch ist mit folgender Formulierung erläutert «... generelle Mindestanforderungen, die in keinem Anwendungsfall unterschritten werden dürfen...». Diese Formulierung kann missverstanden werden. Sie sollte deshalb korrigiert werden.

Es ist im diskutierten Zusammenhang noch darauf hinzuweisen, dass die Dimensionierung nach dem Geotextilhandbuch Minimalwerte der Reissdehnung und der Reisskraft ergibt. Der Anwender muss sich bewusst sein, dass durch Verwendung eines Geotextils mit einer höheren Reissdehnung aber gerade der minimal geforderten Reisskraft ein Teil des Armierungseffektes verlohrengt, weil das verwendete Material einen niedrigeren Verformungsmodul aufweist.

Zudem basieren die im Geotextil-Handbuch erwähnten Formeln zur Bestimmung der geeigneten Geotextileigenschaften im Strassenbau nicht auf festigkeitsmässig und theoretisch bestimmten Beanspruchungsformeln, sondern auf empirischen Werten und sollen die einzelnen Einflüsse auf das Gesamtergebn gewichtet einwirken lassen. Entsprechend der empirischen Herleitung ist daher eine breite Toleranz normal, die zu einem späteren Zeitpunkt durch Verfeinerungen einzugrenzen ist.

Abschliessend bleibt dankbar festzuhalten, dass diese Diskussion um die unterschiedliche Bemessung von Geweben oder Vliesen geeigneten Anlass bietet, wichtige Prinzipien und Konzepte der Bemessung des Geotextil-Handbuches zu beleuchten und Missverständnisse auszuräumen. Möge dies mit helfen, enges Produkte- oder Konkurrenzdenken zu verlassen und vermeintliche Gegensätze mit technischen und physikalischen Grundregeln zu überbrücken.

Adresse des Verfassers: Dr. Felix P. Jaecklin, Geotechnikbüro, 5400 Ennetbaden.

Bei Verwendung eines Geotextils mit kleinerer Reissdehnung (Geotextilfaktor grösser 1) und entsprechend erhöhter Reisskraft wird umgekehrt die Armierungswirkung verstärkt.

Die vorliegende Diskussion hat gezeigt, dass - wie bereits im Titel des Artikels («... eine Kontroverse?») angedeutet - keine Kontroverse zu bestehen scheint. Die Mindestanforderungen im Geotextilhandbuch dürfen mit dem Geotextilfaktor umgerechnet werden, womit der Armierungseffekt bei Bedarf verstärkt werden kann. Die Erläuterung zu den Mindestanforderungen sollte im Handbuch um den Hinweis betreffend die Umrechnung mit dem Geotextilfaktor ergänzt werden.

Dr. F. P. Jaecklin möchte ich für seine Entgegnung, die wesentlich zur Klärung beigetragen hat, bestens danken.

Andreas Steiger, dipl. Ing. ETH, Zürich

Tagung der ISO TC 38/SC 21 «Geotextilien»

Diese erst zwei Jahre alte ISO-Gruppierung tagte vom 10. bis 13. März 1987 zum zweitenmal. Zwischen den drei Plenarsitzungen hielten die vier Arbeitsgruppen ihre Sitzungen ab.

Die Tagung in Paris wurde von über 30 Personen aus 12 Ländern besucht (Belgien, Bundesrepublik Deutschland, China, Dänemark, Finnland, Frankreich, Italien, Kanada, Niederlande, Schweiz, UK, USA sowie Beobachter von BISFA, EATP, EDANA, RILEM).

Die WG 1 «Terminologie» verabschiedete einige Definitionen, die vom SC 21 gutgeheissen wurden. Danach ist nun ein Geotextil: Ein permeables textiles Produkt, das in geotechnischen Anwendungen eingesetzt wird. Dabei werden nichttextile Produkte, wie gezogene, perforierte Folien oder andere extrudierte Polymere, die für ähnliche Anwendungen gebraucht werden und gleich geprüft und identifiziert werden, für diese Zwecke ebenfalls als Geotextilien betrachtet. Auch wurden «Trennen», «Filtern», «Drainieren», «Verstärken» und «Schutz» definiert.

Zügig voran kam die WG2 «Identifikation und Probenahme». Neben Vorschlägen für die Bestimmung der Dicke (2, 20, 200 kPa) und des Flächengewichtes (100 cm²-Proben) wurde die Probenahme (im Prinzip gleich wie SN 640 550) und ein Vorschlag für die Identifikationsdaten festgelegt. Diese sollen lediglich dazu dienen, dem Abnehmer zu belegen, dass er auch die bestellte Ware erhalten hat (Hersteller/Vertreiber, Typ-Code, Rollenlänge, Rollenbreite und Rollengewicht).

Die WG3 «Mechanische Prüfverfahren» harzte etwas mehr. Obwohl die Bestimmung der Reisskraft eigentlich eine einfache Sache ist, hatten die Experten die verschiedensten Ansichten über Probengrösse und Abzugsgeschwindigkeit. Zur freien Einspannfläche konnte man sich durchringen, drei Versionen festzulegen (20 x 10 cm, 50 x 10 cm (jeweils 10 cm in Längsrichtung) und unbestimmt für spezielle Materialien wie Netze usw.). Für die Abzugsgeschwindigkeit wurde alles zwischen 1%/min und 50%/min vorgeschlagen. Ein Kompromiss schien erreicht, als man für alle Materialien den 2 Min.-Riss festlegte. Ein abschliessender Entscheid liegt allerdings noch nicht vor.

Einig waren sich die Experten über die Weiterreisskraft: Für sich genaueres sagt diese nichts aus. Es gehört sowohl die Initialisierung des Risses, die eigentliche Weiterreisskraft und eine Reissfestigkeit dazu. Hier ist aber noch viel Arbeit zu leisten, bevor es zu einem gemeinsamen Vorschlag kommt. Weitere Arbeiten wie Tests über Geotextil-Verbindungen und Reibungskoeffizient gegenüber Erde usw. wurden noch nicht behandelt.

Die WG4 «hydraulische Eigenschaften» hatte es am schwierigsten (Permittivität und Porengrösse). Die bestehenden Methoden einzelner Länder wurden sehr stark propagiert. Es blieb schliesslich dem Vorsitzenden nur noch möglich, Rundversuche zu organisieren, um zu zeigen, wie nahe zusammen die Resultate der verschiedenen Methoden sind, wenn gewisse Prüfparameter festgehalten werden. Als weitere Arbeit wurde die Transmissivität ins Auge gefasst.

Trotz z. T. sehr unterschiedlicher Meinung muss gesagt werden, dass die vier Tage fruchtbar für alle Teilnehmer waren. Es ist zu hoffen, dass der gute Geist, der heute in dieser Gruppe herrscht, beibehalten werden kann.

E. Martin

Zehn Jahre Deutsch-Niederländischer Windkanal

Ein vorbildliches Beispiel europäischer Technologie-Kooperation nahm vor zehn Jahren seinen Anfang, und inzwischen hat sich der Deutsch-Niederländische Windkanal (DNW) mit einem Messflächen-Durchmesser von zwölf Metern und vielen anderen Superlativen zu einem viel gesuchten und auch finanziell tragenden aerodynamischen Versuchsstand der Extraklasse entwickelt. Sogar die amerikanische Luft- und Raumfahrtbehörde NASA und der Flugzeugkonzern Boeing haben ihre neuesten Modelle in dem äusserst exakt arbeitenden grossen Windkanal auf dem Nordost-Polder in den Niederlanden getestet.

Mitte 1976 vereinigten die niederländische Raumfahrtorganisation NLR und die «Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt» (DFVLR) ihre beiden recht ähnlichen Konzepte für einen neuen grossen Windkanal. Nach nur drei Jahren schwieriger Bauzeit und Baukosten in Höhe von 120 Mio. DM begann 1979 der Testbetrieb.

Windkanal-Tests über Tausende Stunden

Windkanäle dienen der Simulation von Strömungen und der genauen Untersuchung ihrer Auswirkungen auf umströmte Körper jeder Art, besonders auf Flugzeuge, Autos, Lokomotiven usw. Der Windkanal-Test ist dem Freiflug oder dem Versuch in der offenen Landschaft praktisch gleichwertig, ermöglicht aber die bequeme, exakte und schnelle Messung aller aerodynamischen Parameter, speziell des Auftriebs und des Widerstands. Jedes moderne Flugzeug, jeder neue «strom-

linienförmige» Personenwagen ist hinsichtlich seiner Form einige tausend Stunden lang in einem Windkanal getestet worden.

In den modernen Windkanälen «Göttinger Bauart» wird in einem geschlossenen Kreislauf die Luft von einem Gebläse in gleichmässige Strömung versetzt. Durch Erwärmung des Luftstrahls und räumliche Komprimierung der sich ausdehnenden Luftmassen wird eine weitere Intensität der Strömung und der Durchlaufgeschwindigkeit an der Messtrecke erreicht.

Der Luftstrom des «Deutsch-Niederländischen Windkanals» wird durch ein beeindruckend grosses Gebläse von 12,3 m Durchmesser erzeugt; der Antrieb erfolgt durch einen Elektromotor mit 14,5 MW Leistung, der in der Gebläsenabe installiert wurde. Die Drehzahl von maximal vier Umdrehungen pro Sekunde kann äusserst genau geregelt und damit die Geschwindigkeit des Luftstroms exakt dosiert werden. Der Luftdurchsatz beträgt bei voller Leistung 8500 m³ pro Sekunde.

Statt Autos jetzt Flugzeuge im Test

Die geschlossene Röhre aus Stahlblechen für die Luftzirkulation hat bei rechteckigem Grundriss eine Länge von 318 m. In den vier Ecken wird die Windstörung von eng gestaffelten Leitblechen mit geringem Energieverlust umgelenkt. Im grössten Bereich des Windkanals mit einem Querschnitt von 18 mal 24 m begrenzt ein mit Wasser durchströmter Rippenrohrkühler die Lufttemperatur auf 42 °C. Ein wabenförmiger Gleichrichter und vier feinmaschige Netze dienen der Verbesserung der Strömungsqualität. Bei Versuchen mit Original-Triebwerken werden deren Abgabe durch Luken abgeleitet und Frischluft angesaugt.

Windkanal-Messungen sind umso zuverlässiger, je grösser ein Modell im Verhältnis zum Original und je grösser der Kanalquerschnitt gegenüber dem Modell ist, damit keine Randverwirbelungen die Messergebnisse verfälschen. Bei dem DNW können drei verschieden grosse geschlossene Messtrecken im Format 6 mal 6 m, 6 mal 8 m und 9,5 mal 9,5 m gegeneinander ausgewechselt werden, die bei gleichbleibend maximaler Luftströmung Windgeschwindigkeiten von 550, 420 und 220 km/h ergeben. Die grössten einsetzbaren Flugzeugmodelle haben immerhin 6,5 m Spannweite, sie werden in der Mitte der Messtrecke entweder durch einen Heckstiel gehalten oder auf drei senkrechten Stützen montiert. Diese sind mit einer extrem emp-