

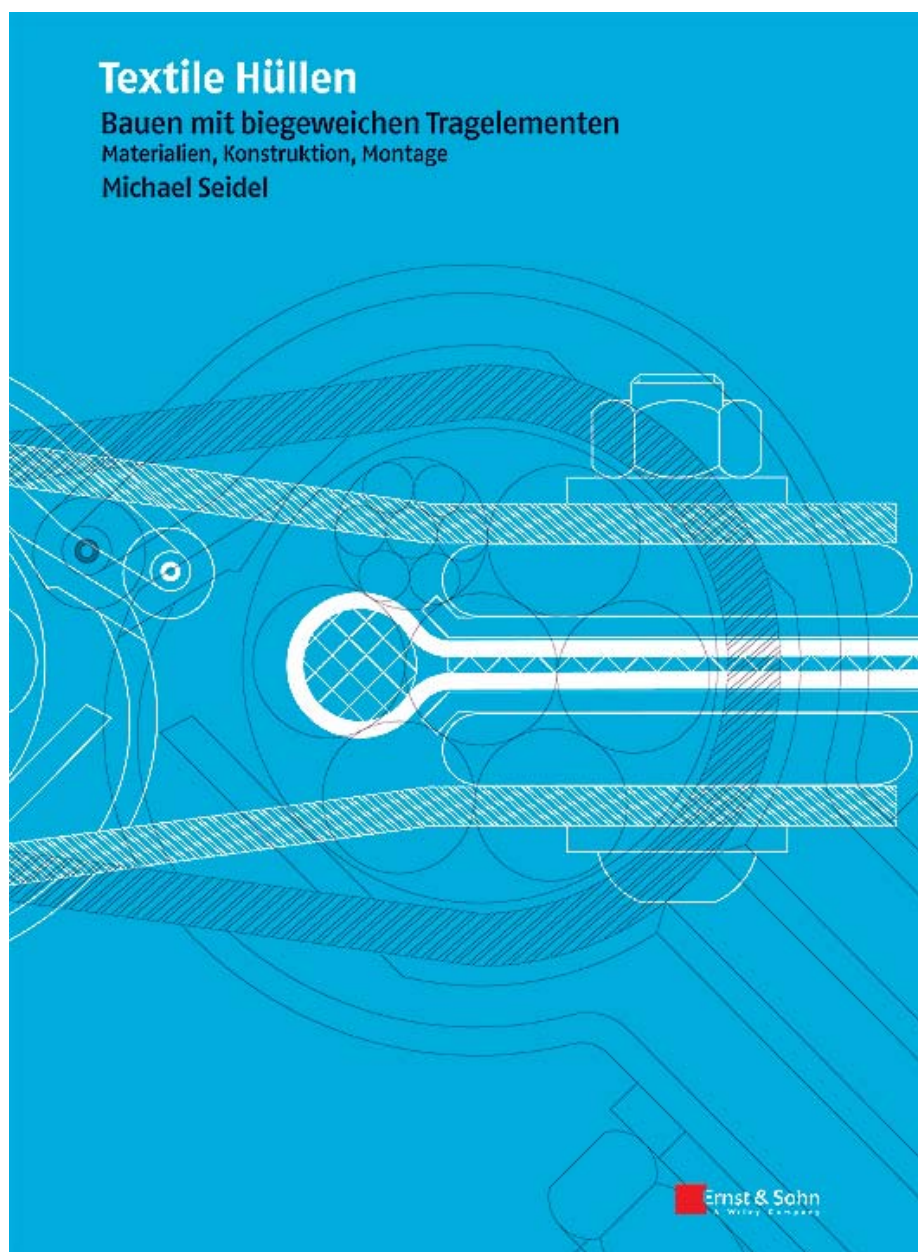
Probekapitel

Textile Hüllen - Bauen mit biegeweichen Tragelementen

Autor: Michael Seidel

Copyright © 2008 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-01865-1



Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
A Wiley Company

2.4 Konfektion beschichteter Gewebe

Um Gewebemembranen und Folien als lastabtragende Elemente verwenden zu können, müssen sie nach geometrischen und statischen Vorgaben in Bahnen eingeteilt, geschnitten und miteinander verbunden werden. Die Fertigung von Bahnlagen aus dem Rollenmaterial und deren stoff- oder kraftschlüssige Verbindung werden als **Konfektion** (lat. confectio = Anfertigung) bezeichnet.

Die aus der Form, dem Tragverhalten und der Montage resultierenden Randbedingungen für den Zuschnitt stehen in Wechselwirkung mit diesem Arbeitsgang und haben großen Einfluss auf die baupraktische Umsetzung von Membrankonstruktionen.

2.4.1 Abwicklung

Aus dem von der Weberei gelieferten Rollenmaterial, das in Bahnenbreiten bis ca. 5 m vorliegt, muss die aus der Statik errechnete und in Versuchen geprüfte Gleichgewichtsform der gekrümmten Membranfläche in Streifen eingeteilt und verebnet (in der Ebene abgebildet) werden. Dieser Vorgang des Ein ebne ns wird als **Abwicklung** bezeichnet. Mit der Abwicklung der einzelnen Streifen in die Ebene werden die Bahnlagen und damit die Anisotropieachsen zur Steifigkeitsverteilung in der Membrane festgelegt.

Geometrische Flächen gelten nur dann mathematisch als in die Ebene abwickelbar, wenn deren Gauß'sche Krümmung an jedem Punkt gleich null ist. Formgefundene, nicht ebene Flächentragwerke haben stets eine negative Gauß'sche Krümmung und sind daher nicht abwickelbar. Zur Verebnung der Bahnen müssen deshalb die sich aus den mathematisch-geometrischen Randbedingungen ergebenden, differenten Bahnenlängen über eine Zuschnittsberechnung ausgeglichen werden. In diese Berechnung fließen Materialkennwerte ein, die aussagen, wie sich das Material unter Verformung verhält.

Bedingung zum Aufbringen einer Verformung ist dabei, dass im Werkstoff keine oder nur sehr wenige Falten entstehen. Weil das Aufbringen dieser Verformung materialabhängig ist, existieren dazu für ebene Flächenelemente zwei grundsätzlich unterschiedliche Methoden der Abbildung in die Ebene: die längentreue Abbildung für gewebte Flächengebilde und die winkeltreue Abbildung für Folien (s. Abb. 85).

Bei Geweben wird durch Aufbringen einer Schubverformung, bei der eine Kante parallel zur gegenüberliegenden verschoben wird, die Fläche in zwei Richtungen längentreu abgebildet. Diese Parallelverschiebung darf keine oder nur sehr geringe Spannungen im Material erzeugen. Das Aufbringen dieser Art der Verformung gelingt nur bei Materialien mit geringer Schubsteifigkeit. Gewebte Flächengebilde haben eine geringe Schubsteifigkeit und eignen sich deshalb für eine Winkelverdrehung von Kett- und Schussfäden zueinander. Solange sich Kett- und Schussfäden beim Schieben nicht behindern, bilden sie über die Beschichtung nur einen geringen Widerstand gegen Schubverzerrung, ohne dass allzu große Spannungen entstehen.¹

Die Größe der Winkelverdrehung ist in erster Linie abhängig von der Bindungsart und der Beschichtung. Zur Abschätzung des Einflusses der Verschiebung zwischen Kett- und Schussfäden wird die Relation zwischen Kraft und Schubdeformation in Versuchen und Berechnungen ermittelt. Unterschiedliche Gewebematerialien erlauben unterschiedliche Verzerrungswinkel. Von zentraler Bedeutung für das Herstellen von Gewebbahnen ist die physikalische Größe des Schubmoduls (s. Abschnitt 2.3.1.5).

Bei isotropen Folien wird durch die winkeltreue Abbildung eine inhomogene Dehnung im Material erzeugt, bei der sich jeder Punkt der Fläche in einem anderen Spannungszustand befindet. Bei dünnen Folien liegt dieser Spannungszustand unterhalb des Fließbereiches, bei dicken Folien wird so viel Span-

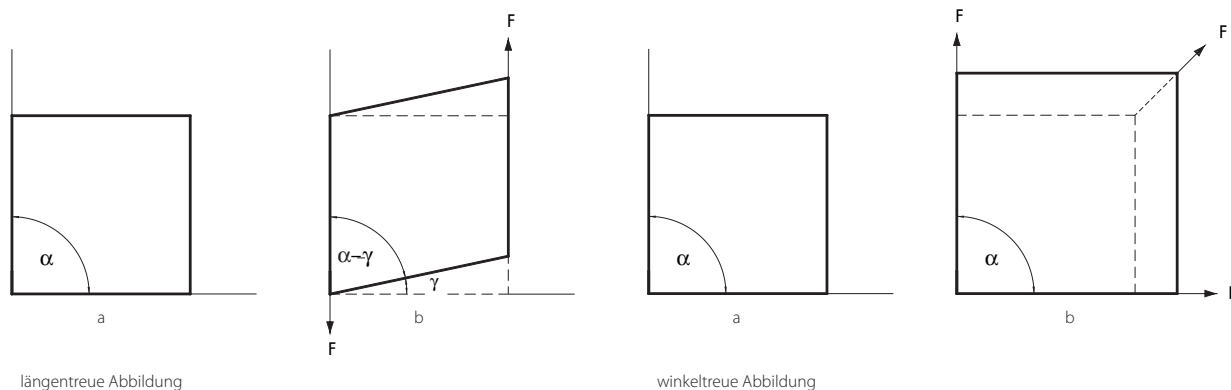


Abb. 85: Abbildungsmethoden

¹ Blum, R. (1990)

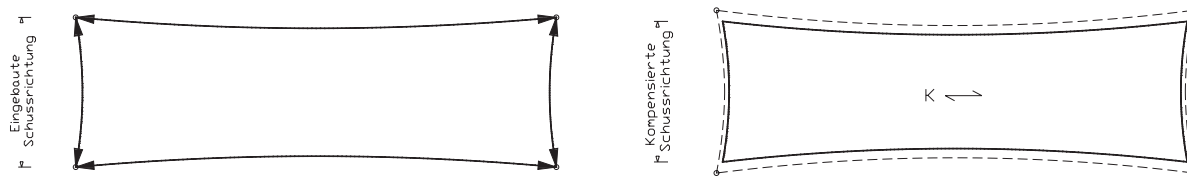


Abb. 86: In Kett- und Schussrichtung kompensierter Membranstreifen vor und nach dem Verankern an Festpunkten

nung erzeugt, bis das Material fließt.¹ Beim Einsatz von Folien als Pneumatische Hülle geschieht das Aufbringen dieser Dehnung durch das Herstellen von Druckunterschieden.

Bei beiden Abbildungsverfahren wird erkennbar, dass erst durch das Ausnutzen der Materialeigenschaften die Verzerrungen richtig beurteilt werden und das Einebnen der Fläche möglich wird.

Die Dehnfähigkeit des verwendeten Materials steht in direktem Zusammenhang mit der möglichen Krümmung einer Membrankonstruktion. Weil unterschiedliche Materialien auch unterschiedliche Verzerrungswinkel zulassen, muss beim eingesetzten Material untersucht werden, welche Elementverformungen der Werkstoff bei welcher Krümmung vollziehen muss. Steife Gewebe, die nur geringe rautische Verschiebungen zulassen, erfordern eine sehr präzise Zuschnittsermittlung. Größere Verformbarkeit des biegeweichen Materials hilft, Spannungsspitzen abzubauen, und hat meist kleinere Verformungen im Gesamttragsystem zur Folge.

Neben der Vorgabe, den Zuschnitt möglichst verschnittarm zu gestalten, spielt die Bahnenbreite der Gewebe eine maßgebliche Rolle für die Zuschnittsberechnung. So ist die Berechnung für kleinere Konstruktionen im Allgemeinen schwieriger als für größere. Der Anteil der Streifen mit maximaler Breite ist für kleinere Oberflächen in Relation zu der Gesamtabmessung höher als bei größeren Konstruktionen, bei denen die Längenverzerrungen zur Verebnung des räumlichen Zuschnitts für jeden einzelnen Streifen relativ gering ausfallen.²

2.4.2 Compensation, Bahnenlayout

Weil sich biegeweiche Werkstoffe unter dem Einfluss von Belastung (Konstruktionsdehnung) und Temperatureinwirkung (Kriechen, Relaxation) verformen, müssen die daraus resultierenden Dehnungen in Versuchen ermittelt und die geometrischen Abmessungen des Materials so korrigiert werden, dass am Ende der Lebensdauer noch die statischen Erfordernisse erfüllt werden. Die Korrektur der geometrisch abgewinkelten

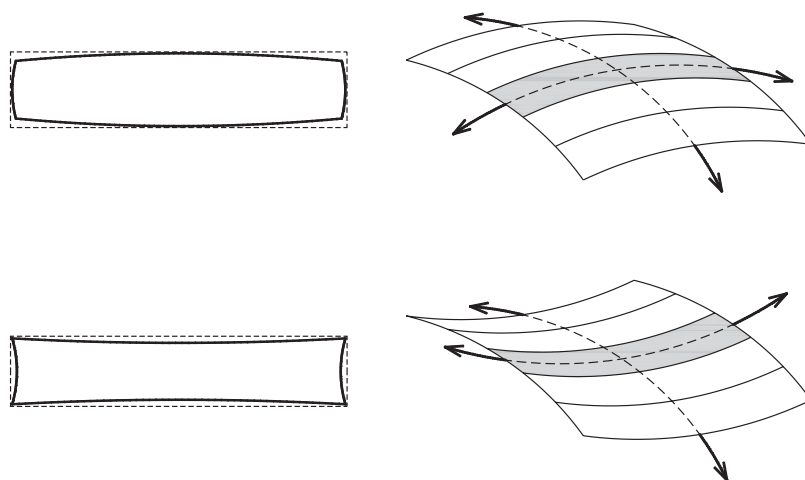


Abb. 87: Gekrümmter Bahnenchnitt bei synklastischen (oben) und antiklastischen Flächen (unten)

¹ Blum, R. (2004)

² Moncrieff, E.; Gründig, L.; Ströbel, D. (1999)

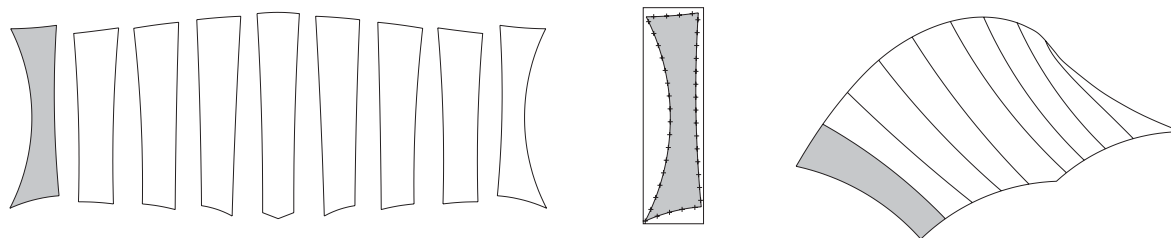


Abb. 88: Bahnenlayout, Bahnenschnitt und Sollgeometrie

Fläche um die sich aus den statischen Randbedingungen ergebenden Dehnungen wird als **Kompensation** bezeichnet. Treten aufgrund der errechneten Spannungsverteilung in bestimmten Bereichen negative Dehnungen auf, muss Material zugegeben werden. Man spricht dann von **Dekompensation**. Bei Membranflächen wird dies oft in Befestigungsbereichen mit erhöhter Steifigkeit notwendig.

Auftretende Belastungen bewirken bei Geweben mit ungleichen Dehnungseigenschaften in Kett- und Schussrichtung auch unterschiedliche Verschiebungen in den Hauptanisotropieachsen. Dort wird die steifere Kettrichtung meist wesentlich geringer als der Schuss kompensiert. Zur Bestimmung der für die Kett- und Schussrichtung unterschiedlichen Kompensationswerte sind die Daten der Kriechdehnung unter der aufgetragten Vorspannung und des Spannungsabfalls über die Lebensdauer maßgebend.

Die Lastabtragung bei leichten Flächentragwerken kann über gleichsinnig oder gegensinnig gekrümmte Flächen erfolgen. Die Art der Krümmung bestimmt auch den Zuschnitt der einzelnen Bahnen. Um aus den einzelnen Gewebepartien zweiseitig gleichsinnig oder zweiseitig gegensinnig gekrümmte Membranflächen herstellen zu können, werden die Bahnen entlang der Ränder gekrümmt geschnitten.

Oberflächen mit positiver Gauß'scher Krümmung erhalten Bahnen mit konvex geschnittenen Randlinien, Flächen mit negativer Gauß'scher Krümmung Bahnen mit konkav geschnittenen Rändern (Abb. 87).

Um die Sollgeometrie einer doppelt gekrümmten Fläche zu erhalten, muss die Membrane entlang vorgegebener Nahtlinien (in der Regel geodätische Linien) in Bahnen geschnitten werden. Dazu sind die Bahnenbreiten auf die Krümmung, die statischen Erfordernisse und die verfügbaren Rollenbreiten abzustimmen. Durch Zusammensetzen der um die Kompensationswerte korrigierten, eben hergestellten Bahnen entsteht die planmäßige Geometrie.

2.4.3 Kriterien zur Zuschnittsermittlung

Die Festlegung des räumlichen Zuschnitts mit der Ermittlung der Anordnung und Dimensionierung einzelner Membranbahnen auf der Membranoberfläche wird als Zuschnittsermittlung bezeichnet. Sie ist primär von der Form der Fläche, die hergestellt werden soll, abhängig.

Modelltechnische Verfahren zur Zuschnittsermittlung mit empirisch geschätzter Kompensation der Dehnungszunahme im Vorspannungszustand eignen sich nur für das Vorentwurfstadium. Im weiteren Projektlauf muss die Zuschnittsermittlung analytisch durchgeführt werden. Dabei werden die rechnerischen Kompensationswerte auf Basis von durchgeführten Biaxialversuchen unter Dauerlast der eintretenden Dehnungen im Vorspannungszustand durch Verkleinerung der Einzelzuschnitte vorweggenommen.¹

Zur Festlegung der Bahnenlage ist neben dem optischen Eindruck des Membrantragwerks eine möglichst hohe Ausnutzung der vorhandenen Materialfestigkeiten – unter Einhaltung der maximal zulässigen Verformungen und der Montierbarkeit – ein wichtiger Parameter. Die Zuschnittsermittlung hat nicht zuletzt auch entscheidende Bedeutung für die Wirtschaftlichkeit eines Membrantragwerks. Sie sollte deshalb integraler Bestandteil der Formfindung sein.

Ziel der Zuschnittsermittlung ist es, die gerechnete Gleichgewichtsform hinsichtlich der oben genannten Aspekte möglichst genau nachzuvollziehen.

Zusammengefasst lassen sich die Kriterien zur Zuschnittsermittlung einteilen in: optische Kriterien, topologische Kriterien, statische Kriterien, montage-technische Kriterien und Verarbeitungskriterien (Abb. 89).

¹ Mühlberger, H. (1984)

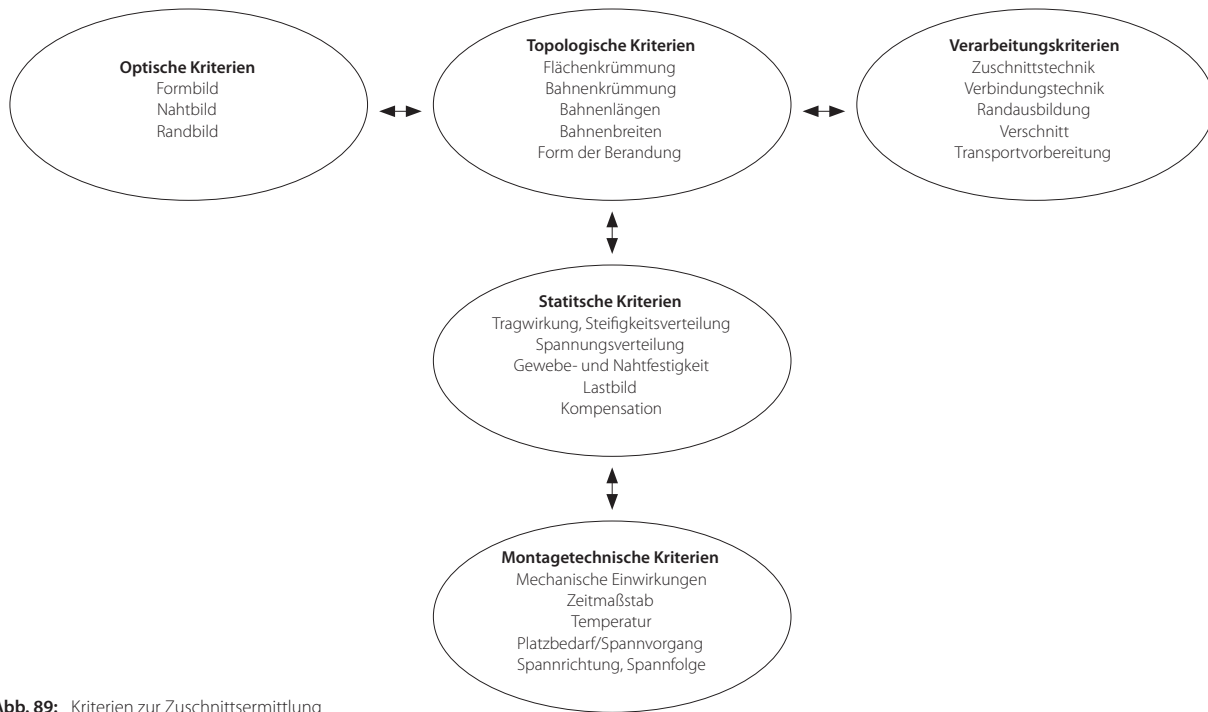


Abb. 89: Kriterien zur Zuschnittsermittlung

2.4.3.1 Topologische und statische Kriterien

Steifigkeitsverteilung – Bahnenlage

Aufgrund des anisotropen Verhaltens von Geweben wird mit der Festlegung der Bahnenlage (Streifeneinteilung) die Steifigkeitsverteilung in der Membrane festgelegt. Die Zuschnittsrichtung spielt daher eine wesentliche Rolle für die Richtung der Lastabtragung in der Membranfläche und hat Einfluss auf die Statik des Tragsystems bis zur Verformung der Primärkonstruktion.

Die Zuschnittsermittlung ist primär von der Form der Fläche, die hergestellt werden soll, abhängig. Bevor das Gewebe in Bahnen zugeschnitten werden kann, müssen daher auf er-

rechneter Grundlage die Hauptanisotropierichtungen des Gewebes relativ zu den Hauptkrümmungsrichtungen bestimmt werden.

Maßgebend für die Wahl der Bahnenlage sind die in der Membranoberfläche und an ihren Rändern entstehenden Spannungen und die daraus resultierenden Dehnungen im Gewebe. Wenn die herzustellende Membranoberfläche einer Minimalfläche entspricht, bei der die Spannungen nach allen Richtungen gleich groß sind, ist bei Verwendung von Geweben mit gleichen Dehnungen in den beiden Fadenrichtungen die Bahnenlage frei wählbar. Das Material wird so optimal ausgenutzt und lokale Überspannungen werden weitgehend ver-

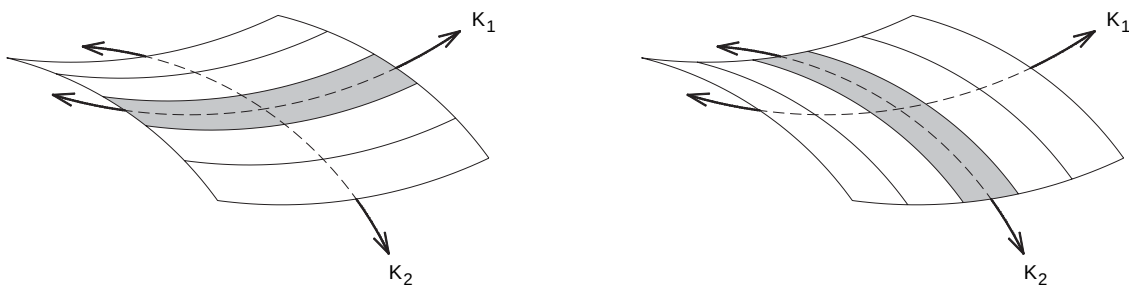


Abb. 90: Steifigkeitsverteilung / Bahnenlage in Hauptkrümmungsrichtungen

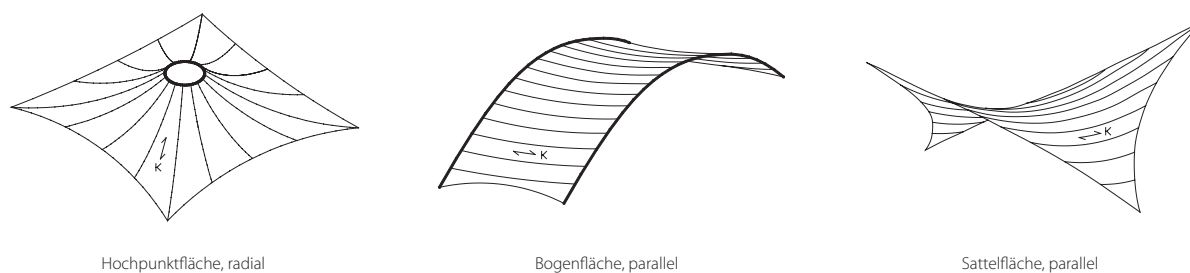


Abb. 91: Bahnenlagen mit Kette in Haupttragrichtung

mieden. In der Praxis ist dies allerdings äußerst selten der Fall; dort kommen meist Membranflächen zur Anwendung, deren Membranhauptspannungen voneinander abweichen.

Bei solchen Formen werden die Bahnen meist in Richtung der Hauptbeanspruchungen gelegt, um die auftretenden Flächen- und Membranhauptspannungen durch Kompensation der Hauptanisotropie-richtungen optimal ausgleichen zu können. Die Hauptkrümmungen müssen dabei so gewählt werden, dass die unter den äußeren Lasten auftretenden Membranspannungen vom jeweiligen Gewebetyp aufgenommen werden können.

Die Haupttragrichtung einer Membranoberfläche ist die Richtung der größten Ausdehnung. Weil in gewebten Flächengebilden der Kettfaden aufgrund der Gewebeherstellung einen

höheren E-Modul als der Schussfaden hat, das Material also in der Gewebelängsrichtung die höhere Zugsteifigkeit als in Schussrichtung besitzt, wird darauf geachtet, dass zur Festlegung der Bahnenlage die Kette meist in Haupttragrichtung gelegt wird, weil dann ein geringerer Durchhang der Konstruktion bei Lastangriff zu erwarten ist. Ein weiterer Vorteil dieser Streifeneinteilung ist, dass die weniger belastbaren Nähte nicht die höchstmöglichen Zugspannungen in Querrichtung aufnehmen müssen.

Die Anordnung der Streifen in die Haupttragrichtungen kann parallel, radial oder in Kombination dieser beiden Zuschnittsarten erfolgen. Bei Konstruktionen mit parallel angeordneten Streifen lässt sich meist eine gute Spannungsverteilung er-

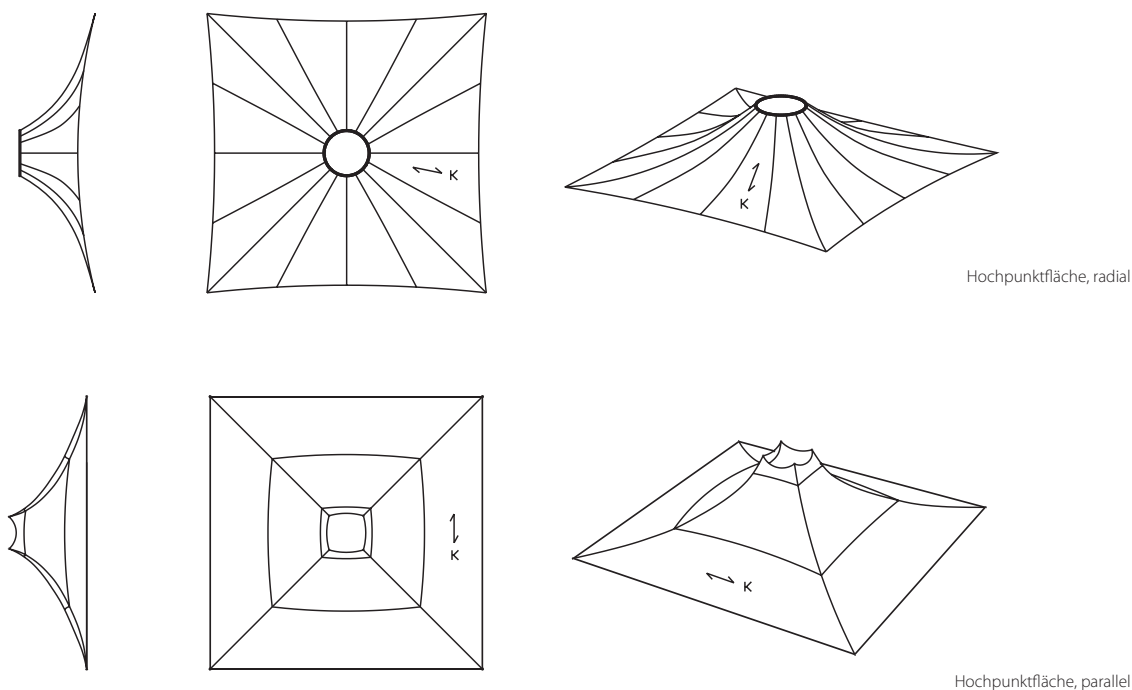


Abb. 92: Mögliche Bahnenlagen bei Hochpunktmembranen

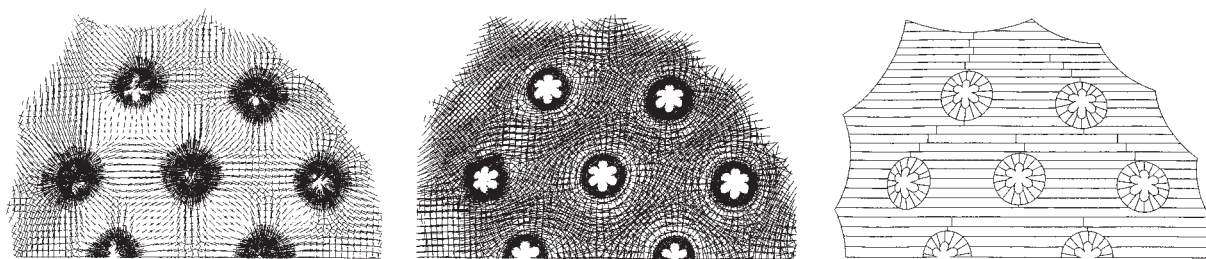


Abb. 93: Hauptspannungen und Bahnenlayout einer Schwimmbadüberdachung in Malaysia

zielen. Radialschnitte sind aufgrund des höheren Verschnitts materialintensiver als Parallelzuschnitte und wesentlich schwieriger zu bemessen und zu kompensieren.

Weil durch die zunehmende Steifigkeit einer Konstruktion die Verformungen reduziert werden, spielt beim Festlegen der Bahnenlage auch das Material eine wesentliche Rolle. Nur wenig dehnfähige Membranen bewirken demnach eine Steifigkeitszunahme. Ziel ist es, die Bahnenlage so zu wählen, dass der Zuschnitt die geringsten Verzerrungen bringt.

Die Festlegung der Hauptanisotropierichtungen unterliegt bei Flächen, die über Hochpunkte gestützt werden, besonderen Bedingungen. Durch die stetige Verkleinerung der Fläche in Richtung des Hochpunkts entstehen dort Spannungskonzentrationen und hohe Ringkräfte. Daraus ergeben sich im Bereich des Hochpunkts höhere Festigkeitsanforderungen bei geringerer Materialkapazität.

Bei Hochpunktstrukturen ergibt sich die Möglichkeit, die Bahnen entweder parallel oder radial um den Hochpunkt anzuordnen. Liegt die steifere Kettrichtung in der Haupttragrichtung (oben in Abb. 92), ist zwar ein geringerer Durchhang der Konstruktion zu erwarten, bei stärkeren Materialien muss die Schussrichtung aber wesentlich stärker kompensiert werden, um eine homogene Spannungsverteilung zu erreichen.¹ Legt man die Kette in Richtung der Ringkräfte (unten in Abb. 92), kann zwar über die steife Richtung Kraft in den Ring gebracht werden, ein hoher Verschnitt kann diese Lösung aber unwirtschaftlich machen.

Aus statischen und herstellungstechnischen Gründen ist die parallele Bahnenlage allerdings nur bei Hochpunktstrukturen mit gerader, biegesteifer Berandung und eckiger Hochpunktausbildung sinnvoll.

Bei zusammenhängenden Hochpunktstrukturen treffen Flächen mit stark ausgeprägten Krümmungen auf schwach gekrümmte Flächen. Dort ist es aufgrund der Geometrie sinnvoll, eine Kombination aus parallelen und radialen Bahnenlagen

anzuordnen (Abb. 93). Dabei spielt die Spannungsverteilung bei unterschiedlichen Lastzuständen eine maßgebliche Rolle.

Bei einer 9.000 m² großen Schwimmbadüberdachung in Kuala Lumpur (Malaysia) sind die in den Hochpunkten wirkenden Kraftkonzentrationen beim Lastfall „Schnee“ deutlich zu sehen, es erfolgt eine stetige Spannungszunahme zum Mittelpunkt hin (links in Abb. 93). Beim Lastfall „Windsog“ laufen die Kräfte wellenförmig um die Hochpunkte (mittig in Abb. 93). Aus der Analyse der Spannungsverteilungen mit den maßgebenden Lastfällen ergab sich die optimale Bahnenlage mit kombinierten Parallel- und Radialzuschnitten (rechts in Abb. 93). Die Spannungskonzentrationen bei Lasteinwirkungen nach unten bedingen die radial angeordneten Membranstreifen. Um ein möglichst ungestörtes Durchlaufen der Kräfte zu ermöglichen, achtete man auf die Anordnung möglichst weniger Quernähte oder quer liegender Bahnen.²

Flächenkrümmung – Bahnenlage – Bahnenform

Weil die Zuschnittsbahnen an den Hauptkrümmungen ausgerichtet werden, hat die Zuschnittsermittlung großen Einfluss auf die Krümmungseigenschaften einer Membranfläche. Die sich aus der nicht abwickelbaren Form ergebenden Winkelfehler müssen über die Zuschnittsberechnung so ausgeglichen werden, dass eine der zur Verfügung stehenden Materialkapazität angepasste, möglichst gleichmäßige Spannungsverteilung in der Fläche erzeugt wird. Diese wird meist dann erreicht, wenn die Hauptspannungsrichtungen Übereinstimmung mit den Hauptkrümmungsrichtungen finden.

Die Größe der Flächenkrümmung steht in direktem Zusammenhang mit der Zuschnittsart der einzelnen Bahnen und der Streifeneinteilung zur Steifigkeitsverteilung. Stark gekrümmte Flächen beeinflussen zwar das Tragverhalten positiv, erschweren aber die Zuschnittsermittlung. Bei starker Flächenkrümmung und hoher Materialsteifigkeit ist eine präzise Zuschnittsberechnung notwendig, um eine homogene Spannungsverteilung in der Membranfläche zu erreichen. Dabei spielt die Streifeneinteilung eine wesentliche Rolle. So ist es bei flach gekrümmten Membranflächen (f_k in Abb. 94) eher möglich, Kett- und Schuss-

¹ Moncrieff, E.; Gründig, L.; Ströbel, D. (1999)

² Schlaich, J.; Bergemann, R.; Göppert, K. (1999)

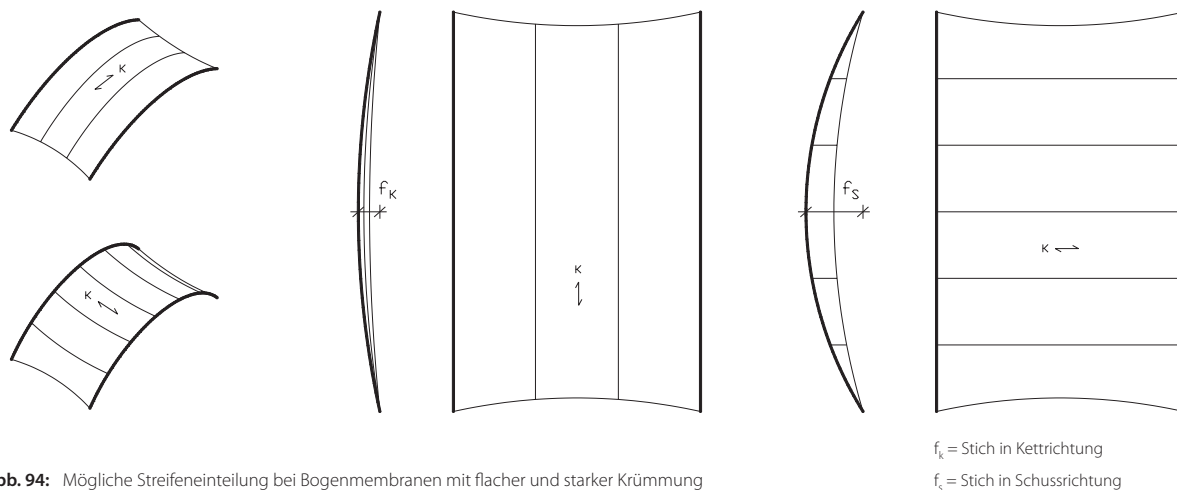


Abb. 94: Mögliche Streifeneinteilung bei Bogenmembranen mit flacher und starker Krümmung

richtung im Zuschnitt zu drehen als bei größeren Stichhöhen (f_s in Abb. 94), weil kleinere Krümmungen geringere Winkelfehler der Gewebeverzerrung hervorrufen.¹

Je stärker die Krümmung einer Fläche ist und je länger die zugeschnittene Bahn, desto größer werden die Verzerrungen, die rechnerisch ausgeglichen werden müssen.² Eine günstige Spannungsverteilung lässt sich daher bei stark gekrümmten Flächen durch die Anordnung kürzerer und schmalerer Streifen erzeugen. Das Verhältnis der Bahnenbreite zur Bahnenlänge spielt demzufolge ebenfalls eine wesentliche Rolle zur Lastabtragung.³

Bei der Festlegung der Bahnenlage für flach gekrümmte Flächen ist insbesondere auf einen möglichen Wechsel der Lastabtragsrichtungen während eines Windangriffs zu achten. Die Spannungen im Material bauen sich dann in die andere

Geweberichtung ab, wo sie zu einer Fadenverkürzung führen. Das Gewebe wird so weich, bis es durchschlägt. Es findet eine Formänderung von einer antiklastischen zu einer synklastischen Fläche statt. An der Innen- oder Außenseite der Membranfläche eingearbeitete Windsogseile können ein solches Durchschlagen verhindern. Die Sogseile können in die Membranfläche konfektioniert oder lose an die Fläche gespannt werden. Eine solche Maßnahme kann auch bei stärker gekrümmten Flächen in Gebieten mit zu erwartendem dauerhaften, gleichmäßigem Windangriff sinnvoll sein (Abb. 95).

Weil die Längendifferenzen aus der Kompensation nur in den Ecken der zugeschnittenen Streifen aufgenommen werden können, muss das Material in diesem Bereich über Winkelverdrehtungen zwischen Kett- und Schussfäden teils große Ver-

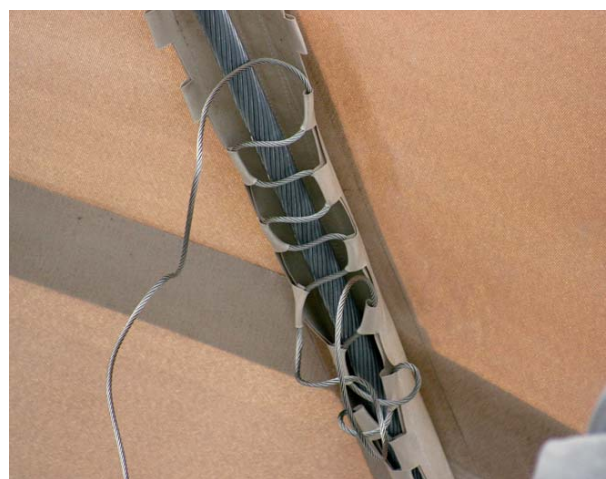


Abb. 95: Diagonal verlaufende Sogseile an der Unterseite einer Segelfläche

¹ Essrich, R. (2004)

² Ziegler R.; Wagner, W. (2001)

³ Anm.: Dem Autor sind keine Veröffentlichungen bekannt, in denen das Verhältnis von Stichhöhen und Hauptkrümmungen zu möglichen Spannweiten und Bahnenlagen anisotroper Membranflächen untersucht wurde. Allgemeingültige Aussagen über die ideale Bahnenlage können daher an dieser Stelle nicht getroffen werden.

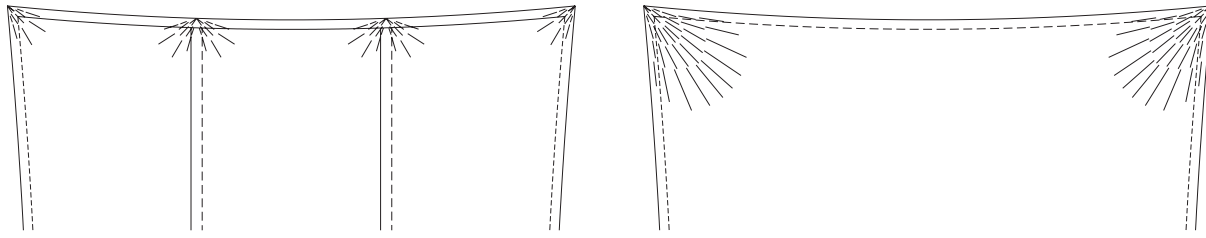


Abb. 96: Singuläre Beanspruchung in Abhängigkeit von der Zuschnittsbreite

zerrungen ermöglichen. Bei großen Bahnenbreiten sind in spitzwinkligen Eckbereichen aufgrund fehlender Materialkapazitäten Lastsingularitäten zu erwarten. Dort müssen dann Verstärkungsmaßnahmen angeordnet werden.

Um singuläre Überbeanspruchungen in den Eckbereichen zu verhindern, kann es auch sinnvoll sein, die Zuschnittsbreite der einzelnen Bahnen zu verringern. Die Anordnung von Zwei- oder Dreifachbahnen kann ein Auftreten unerwünschter Spannungen in den Eckbereichen deutlich reduzieren. Der errechnete Gesamtkompensationswert kann so über mehrere Eckpunkte der zusammengefügt Bahnen aufgeteilt werden.

Auch der Umstand, dass der Zuschnitt kleiner Membranflächen im Allgemeinen schwieriger zu bemessen ist als der größerer Flächen, ist auf diese Tatsache zurückzuführen, weil eine große Membranfläche meist aus einer Vielzahl von Zuschnittsbahnen besteht. Die bei der Abwicklung entstehenden Verzerrungen fallen somit für jeden einzelnen Streifen relativ gering aus.¹

Für den Spannvorgang ist die damit verbundene Anordnung vieler Nähte jedoch nicht ideal. Ungünstige Steifigkeitsverhältnisse zwischen Naht und Gewebematerial erschweren das Spannen erheblich.

Form der Berandung

Wie die Flächenkrümmung hat auch die Geometrie der Berandung einer Membranfläche Einfluss auf ihr Trag- und Verformungsverhalten. Tragelemente aus Membranmaterialien können mit biegeweichen oder biegesteifen Berandungen begrenzt werden (s. Abschn. 2.6).

Bei mechanisch vorgespannten Membranen mit gekrümmter Teilflächenberandung gilt, dass die Krümmung der Randlinie konkav sein muss. Eine Änderung des Krümmungsradius der Randlinie bewirkt auch eine Änderung der Krümmungseigenschaften der Membranfläche. Bei gekrümmten, biegeweichen Rändern sind die Geometrie der Fläche beeinflussenden Parameter die Randseilkraft (S_s), der Randseilradius (R) und die sich aus der Last und dem Material ergebende Membranspannung (S_M).²

Das Verhältnis der Randseilkraft zur Membranspannung bestimmt die Geometrie des Randes; die Form der Membrane ist demnach eine Funktion der Randgeometrie.³

Je stärker die Krümmung des Randseilradius ausgeprägt ist und je weniger Kraft im Randseil wirkt, umso höher wird die maximale und umso kleiner die minimale Gauß'sche Krümmung. Mit der Vergrößerung des Randkrümmungsradius erfolgt auch eine Spannungszunahme im Material. Ideale Bedingungen ergeben sich bei einer Minimalfläche, in welcher der Betrag der minimalen und maximalen Hauptkrümmungen ident ist.

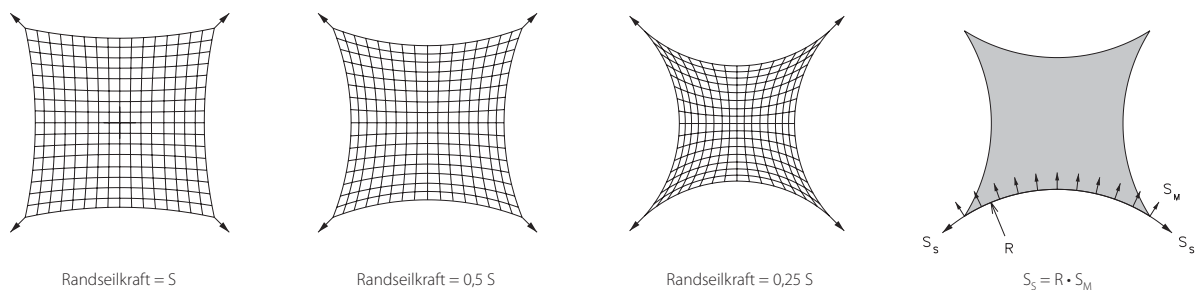


Abb. 97: Änderung der Hauptkrümmungen eines Vierpunktsegels durch Variierung von Randseilradius und Randseilkraft

¹ Moncrieff, E.; Gründig, L.; Ströbel, D. (1999)

² Ziegler, R.; Wagner, W. (2001)

³ Ziegler, R. (2001)

2.4.3.2 Montagetechnische Kriterien

Neben der Festlegung der für das Deformationsverhalten günstigsten Bahnenlage nach statischen und topologischen Kriterien sowie herstellungstechnischen Einschränkungen, wie Bahnenbreiten, Verschnitt und Nahtverbindungen, unterliegt die Streifeneinteilung einer Membranfläche auch Randbedingungen der Montage. Insbesondere beim Spannvorgang wird deutlich, welche Bedeutung das verwendete Material, dessen Zuschnitt, die Flächenform und die Form der Berandung für die Montage hat. So wird insbesondere das Spannkonzzept zur ökonomischen Größe einer Montagedurchführung, die sich wesentlich auf die Montagekosten des Projekts auswirken kann.

Spannweg, Spannrichtung – Zuschnittsrichtung

Um eine Membrane ausreichend tragfähig zu machen, muss sie in entsprechender Krümmung biaxial gespannt und fixiert werden. Der berechnete Anteil an Kompensation muss über die Berandung und deren Ecken aus dem Material gezogen werden.

Der Aufwand zur Durchführung des Spannvorgangs wird vor allem von der Streifeneinteilung der einzelnen Teilflächen bestimmt. Außer dem optischen Erscheinungsbild des Nahtverlaufs und den statischen Verhältnissen in einer Membranfläche hängen sämtliche Montagemaßnahmen, wie das Dimensionieren und Installieren von Spannvorrichtungen, Maßnahmen zur Stabilisierung der Primärkonstruktion oder das Anordnen von Montagegerüsten, von der Orientierung der Bahnen in der Fläche ab.

Weil je nach Kompensation und Länge des Spannwegs unterschiedliche Kräfte aufzuwenden sind, um eine Membrane in Position zu ziehen, spielt die Zuschnittsrichtung eine wesentliche Rolle für den Spannvorgang. Die errechnete Verkürzung der wesentlich stärker kompensierten Schussrichtung wird meist über die Längs- oder Querrichtung aus der Membranfläche gezogen (Abb. 98). Zur Festlegung der primären Spannrichtung ist abzuwägen, wie groß das für die Zurücklegung des Spannwegs notwendige Kraftniveau und der damit verbundene Montageaufwand sind.

Bei Krafteinwirkung verkürzen sich die Hauptanisotropierichtungen gegenseitig. Für den Spannvorgang ist es daher von zentraler Bedeutung, wie bei Krafteinwirkung in die eine Geberichtung die Kräfte und Dehnungen in die andere Geberichtung beeinflusst werden. Bei Flächenformen, bei denen beim Spannvorgang keine Interaktion zwischen Kett- und Schussrichtung stattfinden kann, wird man die Lage der Bahnen überdenken müssen.

Für Geometrien mit unterschiedlichen Längen in Kett- und Schussrichtung kann der Einsatz von Geweben mit ungleichen Dehnungseigenschaften sehr vorteilhaft für die Montage sein. Bei solchen Geweben wird man im Idealfall den größeren Anteil der Kompensation in die weichere Schussrichtung legen. Die Dehnung in der steiferen Kette ist sehr gering, sie wird deshalb möglichst wenig kompensiert. Nach Möglichkeit wird man die Streifeneinteilung nach Prüfung aller bisher besprochenen Kriterien dann so vornehmen, dass ausschließlich über das

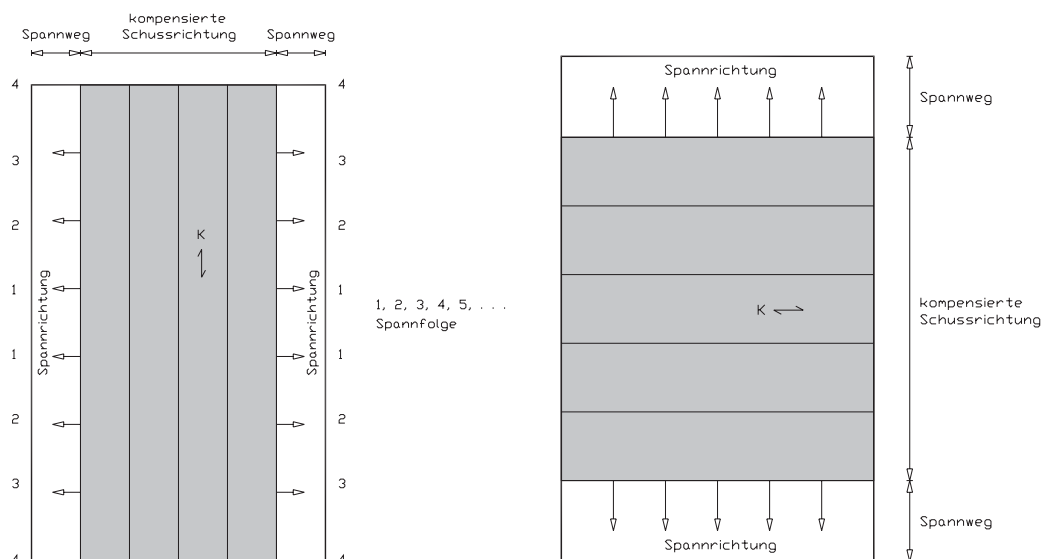


Abb. 98: Skizze zum idealisierten Spannvorgang bei Behinderung der Querdehnung

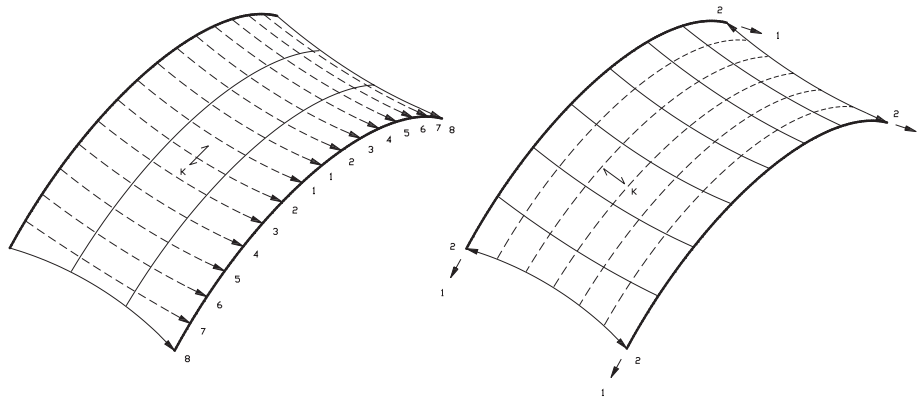


Abb. 99: Spannrichtung und Spannfolge von Bogenmembranen in Abhängigkeit von der Zuschnittsrichtung

Spannen in Schussrichtung die gewünschte biaxiale Vorspannung erzeugt wird. Um ausreichende Spannung in Kettrichtung durch alleiniges Spannen in Schussrichtung aufzubauen, muss eine Randverformung senkrecht zur Spannrichtung verhindert werden. Diese Spannmethode kann montage-technisch ein großer Vorteil sein, weil sich Arbeitszeit und Vorspanneinrichtungen einsparen lassen.

Muss die Fläche zwischen zwei Bögen aufgespannt werden, wie es oft bei Tribünenüberdachungen von Sportstätten der Fall ist, kann die Membrane parallel oder senkrecht zum bogenförmigen Binder abgewickelt werden. In Abhängigkeit von Material, Bogenkrümmung, Randgeometrie und Randausbildung macht die Richtung des Bahnenverlaufs jedoch einen großen Unterschied für den Spannvorgang und die damit ver-



Abb. 100: Einziehen und Spannen der Membrane für die Tribünenüberdachung im Stadion Wolfsburg



Abb. 101: Einziehen und Spannen der Membrane für die Tribünenüberdachung im Stadion Faro, Portugal

bundenen Maßnahmen. Nach Aussagen von Montageunternehmen liegt hier unter Berücksichtigung des Platzbedarfs für Spannvorrichtungen ein beträchtliches Einsparungspotenzial bei den Montagekosten vor.

Vergleicht man eine parallel zum Bogenbinder und eine senkrecht dazu abgewinkelte Membranfläche, lässt sich leicht feststellen, dass beim Spannen der Bahnen senkrecht zum Bogen (links in Abb. 99) die Vorspannung in mehr Punkten eingebracht werden muss, als bei der Variante (rechts in Abb. 99). Ein höherer Arbeits- und Geräteaufwand wird dadurch erforderlich.

Abgesehen vom Einrichten und Bedienen der Montagemittel an den Stellen der Krafteinleitung, wird dieser Mehraufwand auch oft durch die Art der Randausbildung verursacht.

Lässt sich die Verwendung einzelner Klemmplatten-Randelemente aufgrund des statischen Erfordernisses nicht vermeiden, müssen die Kräfte sukzessive von der Mitte weg eingeleitet und die Randelemente einzeln montiert, verschoben und fixiert werden (Abb. 100).

Liegt die Kettrichtung senkrecht zum Bogenbinder, lässt sich die Fläche bei geeigneter Krümmung und Kederschienen-Randausbildung gut und schnell durch die Schiene ziehen und spannen (Abb. 101).

Beim Spannen von zwischen biegesteifen Rändern gespannten Membranflächen ist auch auf die Beanspruchung der Nähte zu achten.

Wird in Kettrichtung gespannt, müssen die Steifigkeitsverdoppelung in Nahtichtung sowie der Schweißschumpf berücksichtigt werden. Liegt die Zuschnittsrichtung quer zur Spannrichtung, müssen geeignete Maßnahmen überlegt werden, die eine Überbeanspruchung der Naht in Querrichtung verhindern.

Bei stark gekrümmten Flächen sind hohe Verzerrungen im Gewebematerial zu erwarten, die Bahnen müssen wesentlich stärker kompensiert werden als bei flach gekrümmten Flächen. Deutlich wird dies vor allem bei Hochpunkt Konstruktionen mit schweren Geweben. Dort hat man die Wahl, die Streifeneinteilung so vorzunehmen, dass die Kettrichtung der Bahnen radial um den Hochpunkt oder parallel zur unteren Berandung angeordnet ist.

Liegt die steifere Kettrichtung in Haupttragrichtung, ist bei schweren Geweben eine weitaus höhere Kompensation der Schussrichtung erforderlich, um eine gleichmäßige Spannungsverteilung zu erreichen (links in Abb. 103). Dort ist beim Spannen zu den Rändern ein höheres Kraftniveau erforderlich als bei paralleler Bahnenlage (rechts in Abb. 103).¹ Bei parallel zur Berandung verlaufenden Bahnen ist allerdings deren Nahtbeanspruchung beim Spannvorgang zu beachten.

Wird ausschließlich durch vertikales Verschieben des Hochpunkts gespannt, muss darauf geachtet werden, dass während des Spannvorgangs die zulässige Membranspannung in diesem sensiblen Bereich nicht überschritten wird. Wird peripher zur Berandung gespannt, ist ein geringerer Kraftaufwand erforderlich, und die Spannungen können sich besser im Gewebe verteilen. Der Aufwand, entlang der Ränder oder an den Ecken Dehnwege einzubauen, kann jedoch hohe Kosten verursachen.

Zur Festlegung der primären Spannrichtung ist daher abzuwägen, wie groß das für den Spannvorgang notwendige Kraftniveau ist. Meist ist es besser, eine Membranfläche über lange Wege mit geringen Kräften zu ziehen, als kurze Spannwege mit hoher Kraft zu bewältigen. Die Entscheidung, aus welcher Richtung die Verkürzung einfacher und somit kostengünstiger

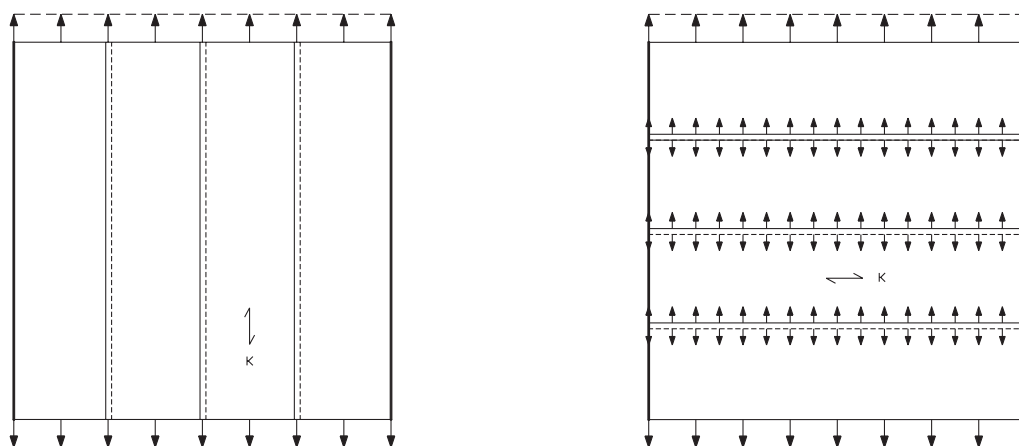


Abb. 102: Nahtbeanspruchung beim Spannvorgang

¹ Moncrieff, E.; Gründig, L.; Ströbel, D. (1999)

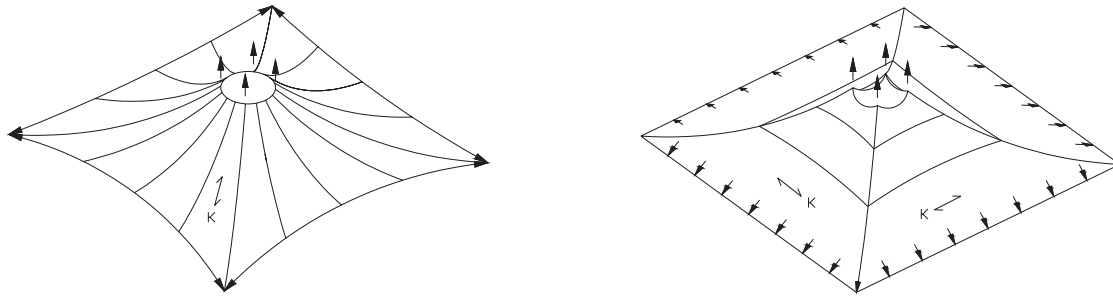


Abb. 103: Spannen von Hochpunktflächen bei unterschiedlicher Streifeneinteilung

zu ziehen ist, hängt daher auch von der Bahnenlänge ab. Beim Ziehen über große Längen sollten die Dehnungen möglichst gleichmäßig von der Mitte weg eingeleitet werden. Dies berücksichtigt die Interaktion zwischen Kett- und Schussfäden; ein seitliches Abwandern der Kräfte aufgrund von Kraftumlenkungen in der Fläche wird so erschwert.¹

Bei Topologien, bei denen das Membranmaterial über gleich lange Spannwege mit gleichem Kraftniveau gespannt werden muss, kann die Verwendung von Geweben mit annähernd gleichen Dehnungseigenschaften in Kett- und Schussrichtung (Preconstraint-Gewebe, Fa. Ferrari) vorteilhaft für die Montage sein. Zu beachten ist allerdings ein generell höherer Kraftaufwand für das Spannen solcher Gewebe, was ihren Einsatz eher für flach gekrümmte Membranflächen mit geringeren Gewebeverzerrungen begünstigt.

Überspannen stark gekrümmte Flächen große Spannweiten, sind stark kompensierte, lange Bahnenlängen notwendig. Dort muss insbesondere darauf geachtet werden, dass in allen Bereichen der Zuschnittsbahnen ausreichend Materialkapazität zur Verfügung steht.

Platzbedarf und Zugänglichkeit beim Spannvorgang

Ein wichtiges baupraktisches Kriterium für die Zuschnittsermittlung ist der Platzbedarf für zu montierende Spanngeräte, Hilfskonstruktionen und Gerüste. Die Festlegung der Bahnenlage und somit der primären Spannrichtung ist in montagetechnischer Hinsicht auch von den verfügbaren Befestigungsmöglichkeiten für die einzusetzenden Spanngeräte und Hilfskonstruktionen abhängig. Dabei sollte auf die Dimensionierung der Montagehilfsmittel geachtet werden. Eine große Anzahl aufwendig zu montierender Spannvorrichtungen und Hilfskonstruktionen kann mehr Arbeitszeit und letztlich hohe Kosten verursachen.

Die Festlegung der für das Deformationsverhalten günstigsten Bahnenlage ist nicht immer optimal für die Montage. So kann es sein, dass die Zuschnittsrichtung geändert werden muss, weil die Teilflächen sonst nur schwer oder gar nicht montiert werden können. Deshalb sollte schon in der Entwurfsphase ein funktionierendes Montagekonzept überlegt und ausreichende Befestigungsmöglichkeiten für Spanngeräte und deren Widerlager für den Spannvorgang berücksichtigt werden. Dies zeigt, dass die Festlegung der Bahnenlage auch mit baupraktischen Überlegungen zum Spannvorgang korrespondieren muss.



Abb. 104: Vorbereiten von Membranrandausbildungen zum Spannvorgang

¹ Essrich, R. (2004)

2.4.4 Herstellung des Zuschnitts

Unter **Zuschneiden** wird in der Konfektion das Zerteilen einzelner oder mehrerer übereinanderliegender textiler Flächen (Lagen) nach Maßen oder Schnittlagenbildern bezeichnet.¹

Die Zuschnittsermittlung und -planung werden in der Regel vom Ingenieur durchgeführt. Im Dialog mit dem Architekten werden Flächengrößen, Randausbildungen und Nahtverbindungen festgelegt. Die Durchführung des Zuschnitts sowie die Fügung, Verpackung und Lieferung der Teilflächen erfolgt durch den Konfektionär.

Ziel des Zuschnitts ist, die gerechnete Zuschnittsermittlung möglichst genau nachzuvollziehen. Dazu müssen die Zuschnittspläne der einzelnen Bahnen auf die Gewebbahn übertragen und zugeschnitten werden. Die Zuschnittspläne enthalten im Wesentlichen Angaben zum Material, zur konstruktiven Durchbildung der Stöße und Ränder sowie zum Zuschneiden der Bahnen. Zum Verbinden der Bahnen werden Nahtbreiten und Nahtzugaben ebenso angegeben wie die Längentoleranzen der Fertigungslängen.

Die Materialinformationen beinhalten Flächengrößen, maximale Bahnenbreiten, Gewebeat und -typ. Darüber hinaus werden Geweberichtung und Reißfestigkeit in Kett- und Schussrichtung angegeben.

In den Plänen mit der Darstellung der Teilflächen sind die Art der Rand- und Eckausbildung sowie Flächenstöße bezeichnet. Dort wird auch auf dazugehörige Detailpläne verwiesen (a in Abb. 105). Aus der Darstellung der einzelnen Bahnschnitte können die Informationen zur Geometrie des Zuschnitts entnommen werden. Dort finden sich sämtliche Koordinaten und Längen der kompensierten Ränder. Der Einzelschnittplan wird dann vom Konfektionär auf die Gewebbahn projiziert und mit den Angaben zu Verschnitt und Schneidefenster des Automaten versehen (b in Abb. 105). Die darin angegebenen Systemlinien bezeichnen die Naht-, Gurt- und Seilachsen (c in Abb. 105).

Zum Fügen der Flächen werden die Bahnenkanten mit Randmarkierungen versehen, sodass beim Nähen, Schweißen oder Kleben keine Verschiebung mit unerwünschter Faltenbildung auftreten kann (Abb. 106).

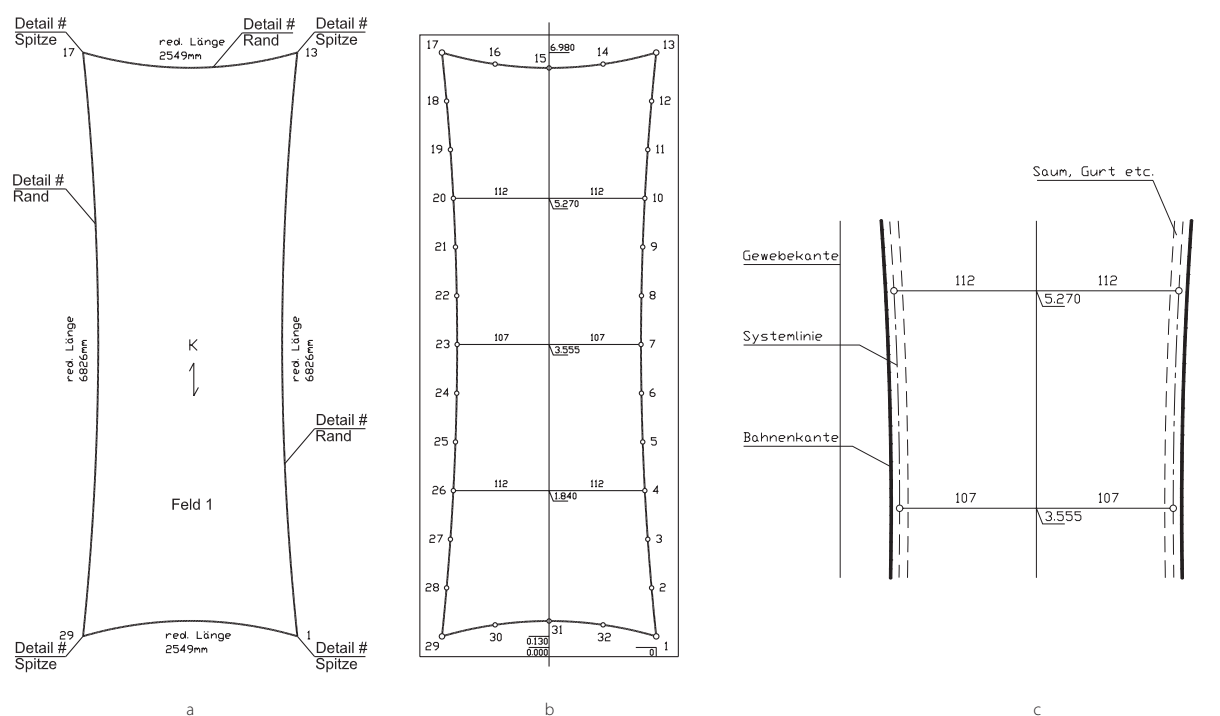


Abb. 105: schematischer Zuschnittsplan einer antiklastischen Membranfläche

¹ Burkhard, W. (1998)

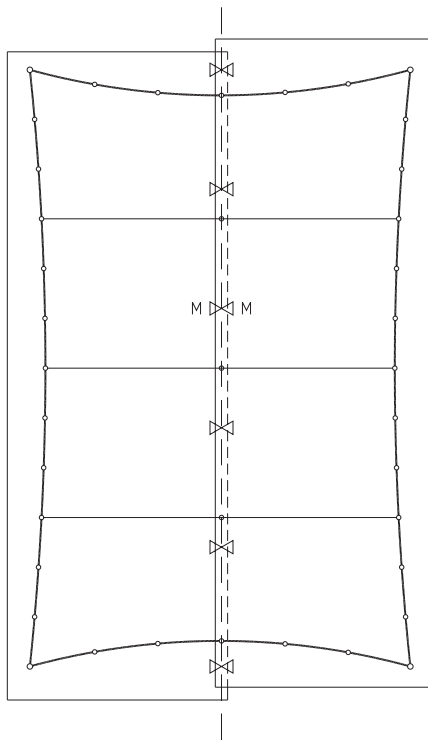


Abb. 106: Markierung der Bahnenkante

Der Bahnenschnitt beschichteter Textilgewebe wird je nach Schneidkapazitäten, Lagenhöhe und Randgeometrie entweder mit Handwerkzeugen oder mit Schneidautomaten durchgeführt.

Geschnitten wird meist im mechanischen Schneideverfahren mit definierten Messerschneiden. Abhängig von Radius, Bahnenlänge und Lagenhöhe werden wahlweise Zieh-, Stoß-, Rund- oder oszillierende Messerwerkzeuge im automatischen Schneideverfahren (Cutter) oder im händischen Lagenschnitt bei Handgeräten eingesetzt.

Thermische Schneideverfahren sind wegen der Gefahr des Verklebens der Schnittkanten nicht geeignet.¹ Der Einsatz von Lasercuttern ist wegen des während des Schneidvorgangs freigesetzten Chlorgas-Luftgemischs problematisch. Ultraschall-Schneideanlagen können, in Verbindung mit einem Vakuumtisch, prinzipiell eingesetzt werden, sind aber wegen der hohen Anschaffungskosten meist keine wirtschaftliche Lösung. Der Einsatz des Wasserstrahl-Schneideverfahrens konnte für den Zuschnitt von Gewebebahnen nicht festgestellt werden.

Bei sich wiederholenden Bahnen gleicher Geometrie können vorgeschchnittene Schablonen aus stärkerem Gewebematerial verwendet werden. Die Bahnen können je nach Geometrie und Erfordernis aus der Stückzahl auch mehrlagig geschnitten werden. Die Zurichtmaße (Schnittlängen) müssen in jedem Fall überprüft werden.

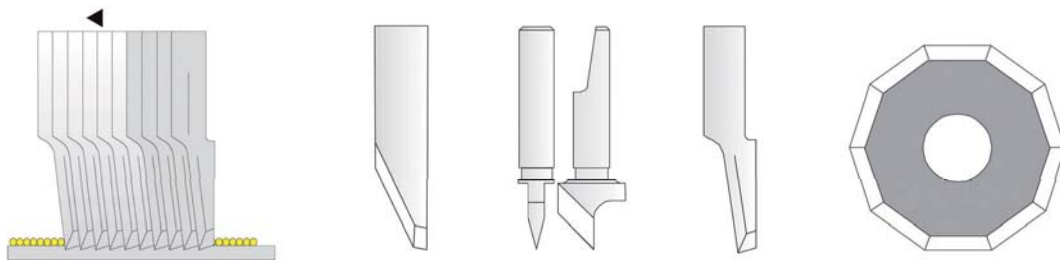


Abb. 107: Messerformen



Abb. 108: links, mitte: Mechanische Zuschnideanlage mit Rundmesser; rechts: Stoßmesser-Handmaschine

¹ Steckelbach, C. (2005)



Seidel, M.

Textile Hüllen - Bauen mit biegeweichen Tragelementen

Materialien, Konstruktion, Montage

Textile Hüllen sind Ausdruck einer intensiven Auseinandersetzung von Planern mit dem Thema Haut in der Architektur. Fortschritte in der Entwurfsmethodik, Werkstofftechnik, Bauteilentwicklung und Montageplanung im Technologiefeld Hoch-Leichtbau ermöglichen zunehmend anspruchsvollere Anwendungen von Textilien Hüllen mit raumbildender und tragender Funktion, insbesondere bei der Überdachung großer, stützenfreier Räume.

Die Besonderheiten des mechanischen Verhaltens der beim Bau von Textilien Hüllen verwendeten Werkstoffe werfen allerdings zwingend die Frage nach der "Baubarkeit" auf. Im vorliegenden Buch wird daher der grundsätzliche Einfluss von Fragen der Materialherstellung und Montage auf die Festlegung des

bestgeeigneten Bau- oder Tragwerkstypus und dessen Detaillierung im Entwurfs- und Planungsprozess besprochen. Die Grundlagen über den stofflichen Aufbau, den Fertigungsprozess, die Zuschnittsermittlung und das Materialverhalten von biegeweichen Tragelementen werden ebenso erläutert wie deren Funktion als Trag- und Verbindungselement. Ausführlich behandelt wird die Montage von Weitgespannten Flächentragwerken. Dazu werden die Montagemittel, die Hebe- und Spannprozesse und die Montageverfahren zur Errichtung charakteristischer Strukturformen beschrieben und anhand ausgewählter Projekte dokumentiert.

(234 Seiten, 350 Abb. Gebunden. Neuerscheinung April 2008)

Aus dem Inhalt:

- EINLEITUNG
- MATERIALIEN BIEGEWEICHER TRAGELEMENTE
 - Struktureller Aufbau
 - Materialverhalten beschichteter Gewebe
 - Konfektion beschichteter Gewebe
 - Arten der Fügung in der Fläche
 - Arten der Krafteinleitung am Rand
 - Eckausbildungen
- MONTAGE BIEGEWEICHER TRAGELEMENTE
 - Montageplanung
 - Montagemittel
 - Montageverfahren
 - Montagedurchführung
 - Kontrolle
- LITERATUR
- STICHWORTVERZEICHNIS



Link Online-Bestellung



per Fax bestellen +49(0)30 47031 240

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis
	978-3-433-01865-1	Textile Hüllen - Bauen mit biegeweichen Tragelementen	€ 79,- / sFr 126,-
	904574	Gesamtverzeichnis Verlag Ernst & Sohn	kostenlos
	2092	1 Probeheft Fachzeitschrift STAHLBAU	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift:

☐ privat

☐ geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße//Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21
10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de



Datum/Unterschrift

Ernst & Sohn
A Wiley Company

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 20.05.08 (homepage_Leseprobe)