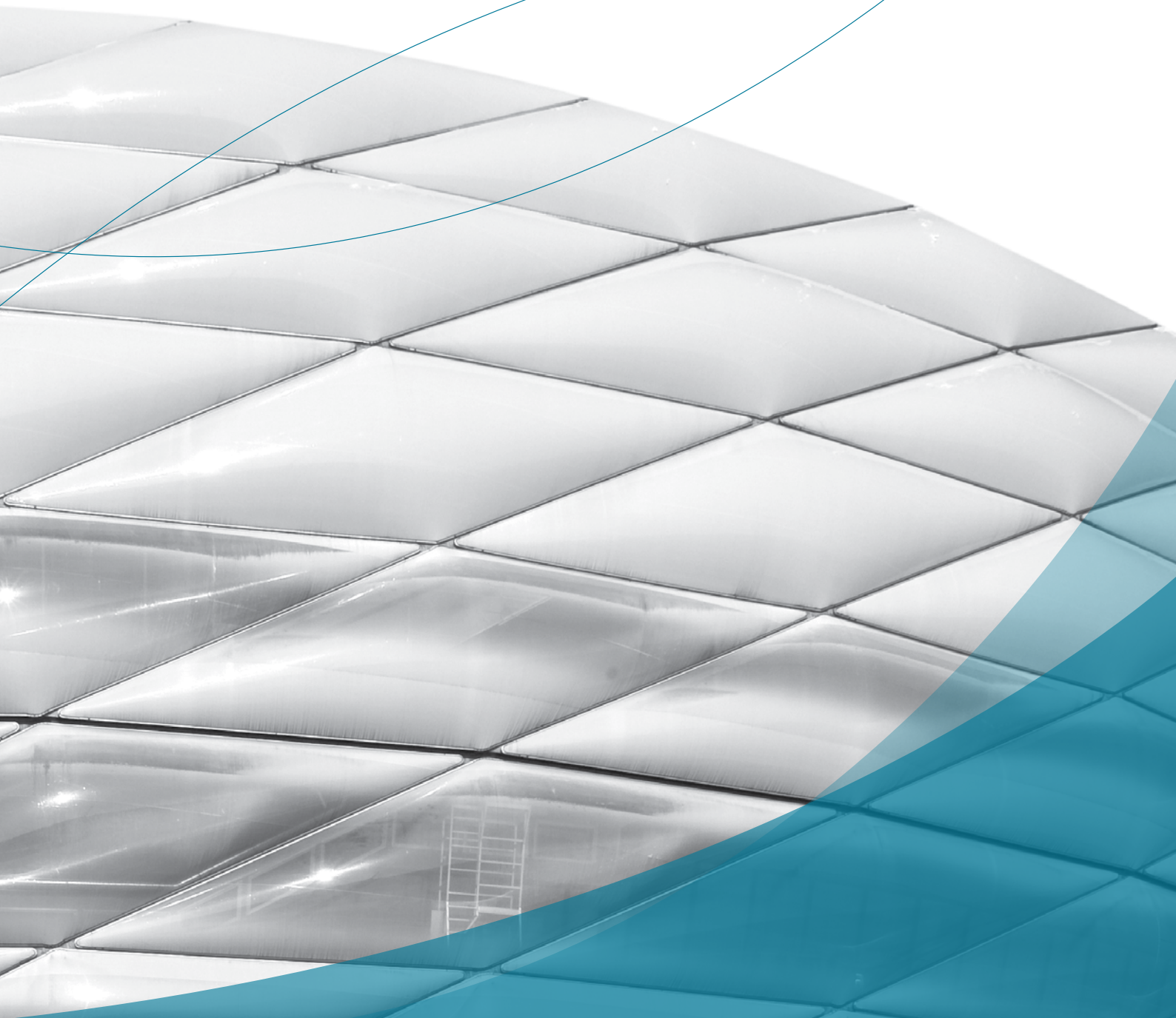


TEXTILE-BASED ARCHITECTURE

EXPLORING THE STATE-OF-THE ART

DIE TEXTILE ARCHITEKTUR
ERKUNDUNG DES STANDES DER TECHNIK

LA ARQUITECTURA TEXTIL
EXPLORANDO EL ESTADO DEL ARTE



The present manual is intended as an introduction to textile-based architecture and its state-of-the-art, for architects and students. It was produced in the framework of the ETFE-MFM project (www.ETFE-MFM.eu), which received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No.322459.

Written and edited by Simon Hunkin, James Ling and Astrid Severin of Greenovate! Europe EEIG, in collaboration with consortium partners.

This book reflects the authors' view only and the European Commission is not responsible for any use that may be made of the information it contains. All material featured in this manual is free to use for educational purposes, but may not be sold or distributed for commercial gain.

Graphic design:
Formas do Possível (www.formasdopossivel.com)

© ETFE-MFM 2017



“A SIGN OF SUSTAINABILITY”

PETER ACKERMANN

ARCHITECT AND URBAN PLANNER
ACKERMANN ARCHITEKTEN BDA

Peter Ackermann is one of many professionals turning to textiles to create innovative and sustainable architecture. He designed the award-winning solar roof for the Munich Waste Management Carport (featured on page 30), a milestone project in contemporary textile-based architecture.

Why did you choose to use an ETFE membrane?

We needed a **transparent and lightweight** material to build on the existing reinforced concrete structure. This means a roof structure that can meet the requirements for **ventilation, light transmission** and lightness with high efficiency. It was also essential for our project that the material, in addition to being strong, was **permeable to UV radiation**.

Which other examples of textile-based architecture have you been particularly impressed by?

We were inspired by the use of ETFE as a skin in front of the façade of the Unilever building by Stefan Behnisch in Hamburg. It was this approach, in terms of its construction and appearance, which we wanted to further develop.

To what extent was sustainability a motivation to use ETFE?

The client's request was to design a solar roof as **a sign of sustainability**. To achieve this, it was necessary to define the right material and shape for use with a light tensile structure. It was precisely this ETFE material, with its different applications and its ability to be **combined with amorphous silicon solar cells** that seemed to us the right way to go.

Warum haben Sie sich für eine ETFE-Membran entschieden?

Wir brauchten ein **transparentes und leichtes** Material, um auf der bestehenden Stahlbetonstruktur aufbauen zu können. Das bedeutet eine Dachstruktur, welche die Anforderung an **Luftigkeit, Licht** und Leichtigkeit bei einer hohen Wirtschaftlichkeit erfüllen kann. Für unser Projekt war es zudem essentiell, dass das Material neben seiner Festigkeit für die UV-Strahlung durchlässig sein musste.

Welche anderen Beispiele textilbasierter Architektur haben Sie besonders beeindruckt?

Angeregt durch den Einsatz von ETFE als Haut vor der Fassade des Unilever Gebäudes von Stefan Behnisch in Hamburg, stellte dieser Ansatz für mich eine Herausforderung für die Konstruktion und das Erscheinungsbild dar, welche es weiterzuentwickeln galt.

Inwieweit war Nachhaltigkeit eine Motivation für den Einsatz von ETFE?

Die Aufgabenstellung des Bauherrn war, ein Solardach zu entwerfen, als **Zeichen der Nachhaltigkeit**. Es galt die Gestalt und die Materialität in Verbindung mit einem leichten Flächentragwerk zu finden, welche diesem Anspruch gerecht wird. Und genau dieses Material ETFE, mit seinen unterschiedlichen Anwendungsmöglichkeiten und seiner **Kombinierbarkeit mit amorphen Solarzellen**, schien uns der richtige Weg zu sein.

¿Por qué decidieron utilizar una membrana de ETFE?

Necesitábamos un material **transparente y ligero** para edificar sobre la estructura existente de cemento reforzado. Esto significa una estructura de cubierta que pudiera cumplir los requisitos de **ventilación, transmisión de luz** y ligereza con una elevada eficiencia. También era fundamental para nuestro proyecto que el material, además de fuerte, fuera **permeable a la radiación UV**.

¿Qué otros ejemplos de arquitectura textil le han impresionado especialmente?

Nos inspiramos en el uso de ETFE como una carcasa frente a la fachada del edificio Unilever en Hamburgo diseñado por Stefan Behnisch. Fue este planteamiento, en lo que se refiere a la construcción y la apariencia, lo que nos propusimos seguir desarrollando.

¿En qué medida la sostenibilidad supuso una motivación para utilizar ETFE?

La petición del cliente consistía en diseñar una cubierta solar como **símbolo de sostenibilidad**. Para ello, fue necesario determinar el material y la forma adecuados para una estructura tensada ligera. Fue precisamente este material de ETFE, con sus distintas aplicaciones y su capacidad para **combinarse con células fotovoltaicas de silicio amorfo**, la solución que nos pareció más adecuada.

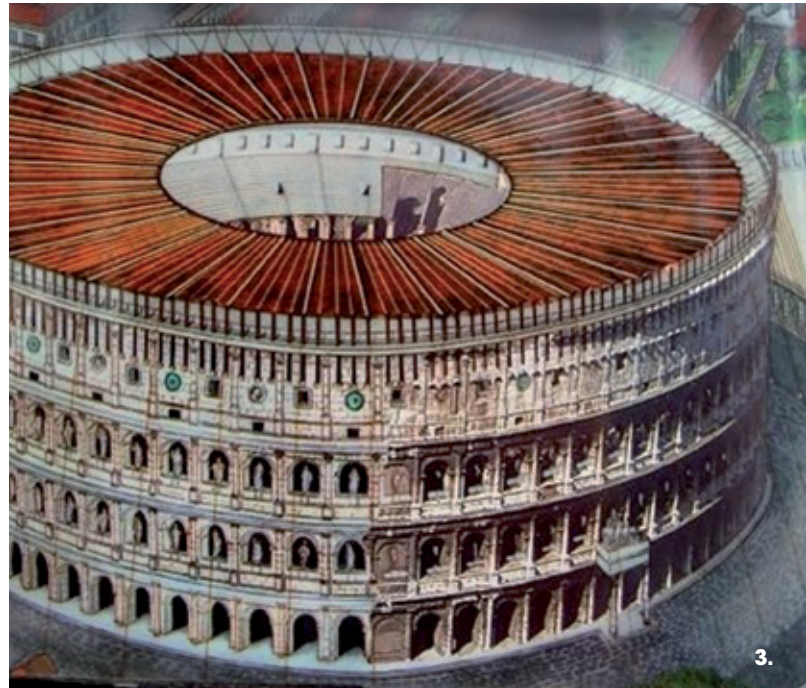




01

INTRODUCTION TO TEXTILE-BASED ARCHITECTURE

EINFÜHRUNG IN DIE TEXTILE ARCHITEKTUR
INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA TEXTIL



INTRODUCTION TO TEXTILE-BASED ARCHITECTURE

EINFÜHRUNG IN DIE TEXTILE ARCHITEKTUR
INTRODUCCIÓN A LA ARQUITECTURA TEXTIL

Most people have at one time or another spent the night in a tent, thankful for the shelter it provides while at the same time enjoying the sensation of being close to nature. **Textiles are light, easy to convert or dismantle, and provide protection against the elements, and for these reasons have been used by humans for millennia:** be it as dwellings for nomadic tribes in Central Asia, or as sun shades in Roman amphitheatres.

The twentieth century witnessed the rediscovery and further development of textile-based architecture - not just for temporary structures but also for permanent buildings. The invention of advanced fabrics, combined with developments in engineering and computer-aided design, have opened a wealth of new possibilities in terms of form and scale.

Die meisten Menschen haben irgendwann mal eine Nacht in einem Zelt verbracht und waren dabei dankbar für den Schutz, den es bot und genossen zugleich das Gefühl, der Natur nah zu sein. **Textilien sind leicht, einfach um- und abzubauen, bieten Schutz vor der Witterung und werden deshalb seit Jahrtausenden vom Menschen genutzt:** sei es als Behausung für nomadische Stämme in Zentralasien oder als Sonnenschutz in römischen Amphitheatern.

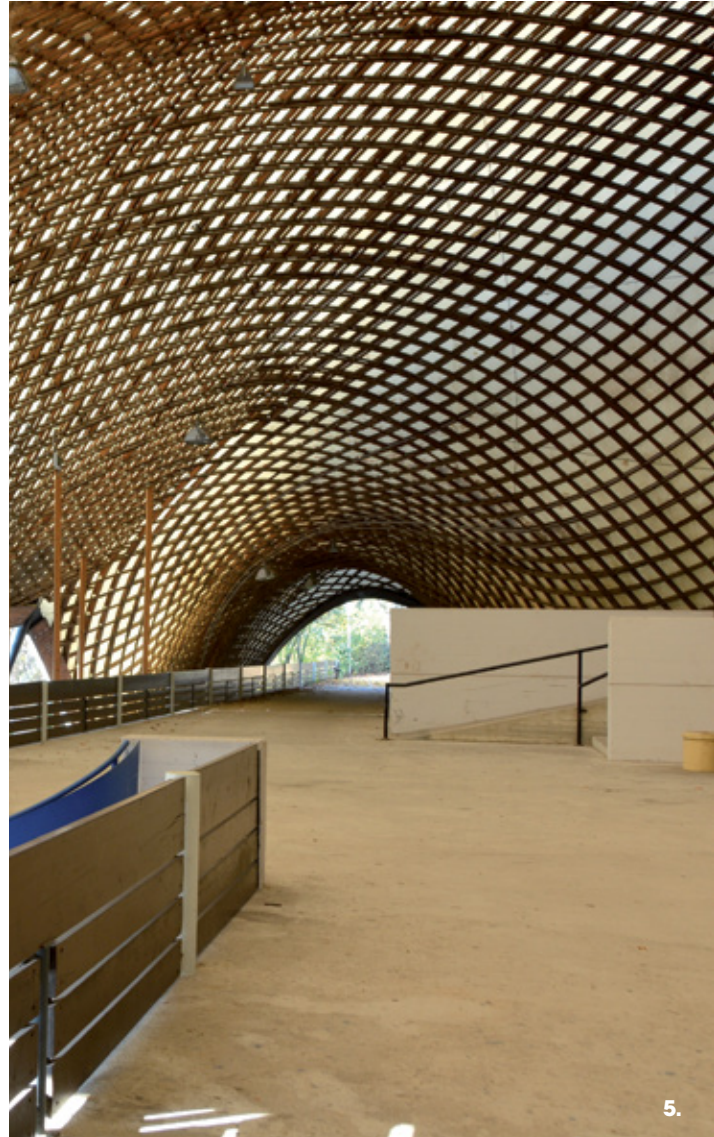
Im 20. Jahrhundert vollzogen sich die Wiederentdeckung und die Weiterentwicklung der textilen Architektur - und das nicht nur für provisorische Strukturen, sondern auch für permanente Gebäude. Die Erfindung hochentwickelter Gewebe und Folien hat, zusammen mit den Entwicklungen in der Ingenieurskunst und im computergestützten Design, in Sachen Form und Format eine ganze Reihe von neuen Möglichkeiten geschaffen.

Casi todas las personas han dormido alguna vez en una tienda de campaña, agradecidas por la protección que les brinda mientras disfrutaban de la sensación de cercanía con la naturaleza. **Los materiales textiles son ligeros, fáciles de adaptar o desmontar, y protegen de la intemperie. Es por todo ello que los humanos llevan milenios utilizándolos,** ya fuera en las moradas de tribus nómadas de Asia Central o como cortinas para protegerse del sol en los anfiteatros romanos.

En el siglo XX se asistió al redescubrimiento y perfeccionamiento de la arquitectura textil, no solo para estructuras temporales, sino también para edificios permanentes. La invención de tejidos avanzados, junto con los avances en ingeniería y diseño asistido por ordenador, han abierto todo un abanico de posibilidades en lo que se refiere a formas y dimensiones.



4.



5.



6.

- 2.** A traditional yurt - a round tent covered with skins or felt.
- 3.** The Roman Colosseum incorporated a retractable, panelled, awning.
- 4.** The illuminated façade of the Allianz Arena in Munich, Germany.
- 5.** The Multihalle in Mannheim, Germany, designed by textile-based architecture pioneer Frei Otto.
- 6.** Geodesic biome domes made from ETFE plastic at the Eden Project, UK.



20TH CENTURY DEVELOPMENTS

DIE ENTWICKLUNGEN DES 20. JAHRHUNDERTS

AVANCES EN EL SIGLO XX



A new wave of innovative materials revolutionised the way textiles are used in architecture. Exhaustive research into man-made plastic membranes took place during the 1950s and '60s, gradually converging on a small number of promising materials.

Plastics replaced natural fabrics such as cotton as the textile of choice. The new membranes were far superior to their predecessors and could endure weathering and stretching, meaning they could be used for permanent buildings and installations. The result has been a proliferation of textile-based architecture, using a variety of plastics with different advantages in terms of strength, flexibility and transparency.

Eine ganze Reihe von innovativen Materialien hat die Art und Weise, wie Textilien in der Architektur genutzt wurden, revolutioniert. In den 1950er und 1960er Jahren wurde eingehende Forschung an Kunststoffmembranen betrieben, die allmählich einige wenige vielversprechende Materialien hervorbrachte. **Kunststoff ersetzte natürliche Materialien wie Baumwolle als Textil erster Wahl.** Die neuen Membranen waren ihren Vorgängern weit überlegen und hielten dem Wetter und den Belastungen besser Stand, was bedeutet, dass man sie für permanente Gebäude und Bauteile einsetzen konnte. Dies führte dazu, dass die textile Architektur sich ausbreitete und dabei eine Vielfalt an Kunststoffen mit verschiedenen Vorteilen in Sachen Festigkeit, Flexibilität und Durchlässigkeit zum Einsatz kam.

Una nueva generación de materiales innovadores revolucionó el uso de los textiles en la arquitectura. Durante las décadas de 1950 y 1960 se investigaron a fondo las membranas sintéticas de plástico, que gradualmente fueron convergiendo en un pequeño grupo de materiales prometedores. **El plástico sustituyó a los tejidos naturales, como el algodón, erigiéndose como material textil predilecto.** Las nuevas membranas eran muy superiores a sus predecesoras y mostraban resistencia al desgaste y el estiramiento, por lo que podían utilizarse en edificios e instalaciones permanentes. Todo ello ha contribuido al auge de la arquitectura textil, en la que se utiliza una variedad de plásticos con diferentes ventajas en términos de resistencia, flexibilidad y transparencia.



7. Tanzbrunnen, Cologne, Germany. An early example (1957) of new membrane forms.

8. A range of different plastic membranes are suitable for use in construction. Fluoropolymers include ETFE, PVDF, FEP and THV.

Fabrics must be stressed when used as a surface in buildings. It was only in the last century that advances in structural mathematics and civil engineering made it possible for lightweight textile-based architecture to take on **new forms, and operate on a much larger scale.**

Der textile Stoff muss gespannt sein, wenn er als Gebäudeoberfläche genutzt wird. Erst im vergangenen Jahrhundert ermöglichten die Fortschritte in der Strukturmechanik und in der Ingenieurbaukunst es der leichten, textilen Architektur, **neue Formen anzunehmen und in viel größerem Stil zu agieren.**

Los tejidos deben tensarse cuando se utilizan como revestimiento en los edificios. No fue hasta el siglo pasado cuando los avances en matemáticas estructurales e ingeniería civil permitieron que la arquitectura textil ligera adoptase **nuevas formas y opere a una escala mucho mayor.**

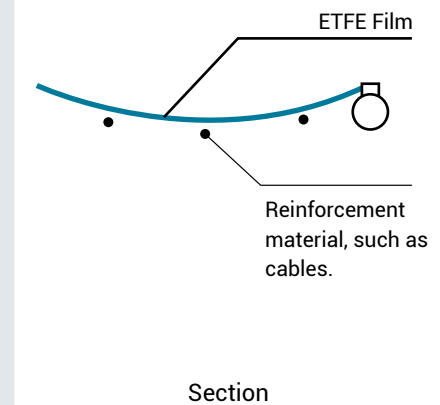
SINGLE LAYER MEMBRANE: MECHANICAL PRE-STRESS

EINLAGIGE MEMBRAN: MECHANISCHE VORSPANNUNG
MEMBRANA MONOCAPA: PRETENSADO MECÁNICO

Pre-stress can be applied to a membrane by stretching it from its edges or by supporting it with wire cables, lightweight steel or aluminium to maintain shape and stabilisation. This enables a flexible single layer membrane to span large areas.

Vorspannung kann bei einer Membran erreicht werden durch das Spannen an den Enden oder durch die Stützung mit Drahtseilen, Leichtstahl oder Aluminium, um die Form und Stabilität zu erhalten. So kann eine flexible, einlagige Membran große Flächen überspannen.

El pretensado puede aplicarse a una membrana estirándola desde sus bordes o sosteniéndola con cables, acero ligero o aluminio para mantener la forma y la estabilidad. Esto permite que una membrana flexible monocapa abarque superficies amplias.



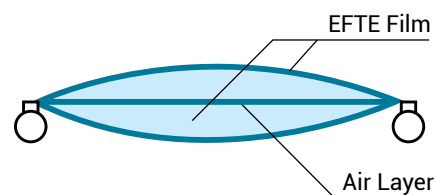
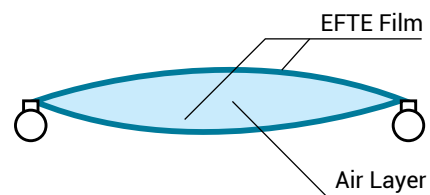
MULTI-LAYER MEMBRANE: MECHANICAL PRE-STRESS

MEHRLAGIGE MEMBRAN: PNEUMATISCHE VORSPANNUNG
MEMBRANA MULTICAPA: PRETENSADO NEUMÁTICO

Pressurised air can also be used to give fabric stiffness. This is usually done by creating air-supported 'cushions', made up of multiple layers of fabric. As pneumatic pre-stress involves inflating individual cushions, this requires a modular, approach to construction.

Auch Druckluft kann verwendet werden, um eine Membran zu stabilisieren und vor zu spannen. Dies geschieht meist durch die Schaffung von Luftkissen, die aus mehreren Lagen bestehen. Da bei der pneumatischen Vorspannung einzelne Luftkissen aufgeblasen werden, bedarf es hier einem modularen Baukonzept.

También se puede utilizar aire comprimido para dotar de rigidez a los tejidos. Generalmente esto se hace creando «cojines» inflables por presión neumática, compuestos por varias capas de tejido. Dado que el pretensado neumático supone inflar cada uno de los cojines, se necesita un sistema de estructuras modulares para la construcción.





APPLICATIONS AND BUILDING TYPES

ANWENDUNGEN UND BAUARTEN
APLICACIONES Y TIPOS DE EDIFICIOS



We have witnessed an unprecedented expansion in textile-based architecture in the last 40 years or so. Whereas once textiles may have been associated just with circus tents, **now they can be used for a range of different building elements, such as façades or skylights, and are incorporated into all building typologies.**

Etwa in den vergangenen 40 Jahren haben wir eine noch nie dagewesene Ausbreitung der textilen Architektur erlebt. Während Textilien früher wahrscheinlich nur mit Zirkuszelten in Verbindung gebracht wurden, **können sie heute für eine Vielzahl von Bauelementen verwendet werden, von Fassaden über Decken bis hin zu Dächern, und in alle Gebäudetypen integriert werden.**

Desde hace aproximadamente cuarenta años asistimos a una expansión sin precedentes de la arquitectura textil. Aunque puede que en otras épocas los materiales textiles se asociaran a las carpas de circo, **actualmente pueden utilizarse para toda una gama de elementos de construcción, como fachadas o claraboyas, y se incorporan en todo tipo de edificios.**





12.



13.

9. Passengers can plane-watch through the PTFE skylight at San Francisco Airport, USA.
Application: Skylight / *Deckenbeleuchtung* / Claraboya

Building typology: Travel / *Reisen* / Viajes

10. A PTFE-Glass fibre fabric roof shelters visitors to the Sony Centre, Berlin, Germany.

Application: Roof / *Dach* / Cubierta

Building typology: Commercial / *Kommerz* / Comercial

11. Retractable PTFE fabric umbrellas provide shade for pilgrims in Medina, Saudi Arabia.

Application: Canopy / *Segeltuch* / Carpa

Building typology: Leisure / *Freizeit* / Ocio

12. The San Mamés football stadium in Bilbao, Spain has ETFE on its façade and roof.

Application: Façade / *Fassade* / Fachada

Building typology: Sports / *Sport* / Deportes

13. The Cargolifter hanger in Brand, Germany, is the largest self-supporting hall in the world. In 2002 it was converted into a tropical theme park.

Application: Building envelope /

Gebäudeumhüllung / Revestimiento de edificios

Building typology: Industry / *Industrie* / Industria

14. 'Solar trees' at the German Pavilion, Expo Milan 2015.

Application: Sculpture / *Skulptur* / Escultura

Building typology: Culture / *Kultur* / Cultura



14.





02

ETFE: “A WONDER MATERIAL”

ETFE, EIN „WUNDERMATERIAL“
EL ETFE: UN «MATERIAL PRODIGIOSO»

MATERIAL OF CHOICE

MATERIAL ERSTER WAHL
EL MATERIAL PREDILECTO



Of the new high performance plastics which revolutionised textile-based architecture, **ETFE has become the material of choice for many architects**. It has been described as a 'wonder material' due to its physical properties, which make it an extremely versatile, durable and sustainable option, with a wide range of possible functions and applications. ETFE (ethylenetetrafluoroethylene) is closely related to PTFE (polytetrafluoroethylene or Teflon), and is available as a flexible transparent film.

Von allen leistungsfähigen Kunststoffen, die die textile Architektur revolutioniert haben, **ist ETFE für viele Architekten zum Material erster Wahl geworden**. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften, die es zu einem extrem vielseitigen, langlebigen und nachhaltigen Produkt mit zahlreichen Funktionen und Anwendungsmöglichkeiten machen, wird es auch als „Wundermaterial“ beschrieben. ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen) ist eng verwandt mit PTFE (Polytetrafluorethylen oder Teflon) und als flexible, transparente Folie erhältlich.

De entre los nuevos plásticos de alto rendimiento que revolucionaron la arquitectura textil, **el ETFE se ha convertido en el material predilecto para muchos arquitectos**. Se le ha calificado como «material prodigioso» debido a sus características físicas, que hacen del mismo una opción extraordinariamente versátil, duradera y sostenible, con una amplia variedad de funciones y aplicaciones posibles. El ETFE (etileno-tetrafluoroetileno) está estrechamente relacionado con el PTFE (politetrafluoroetileno o teflón) y se comercializa como película transparente flexible.



2. ETFE resin is extruded into sheets called foil or film.
3. Different printing patterns can alter colour and light transmission properties.
4. ETFE film is one of the most lightweight and transparent building materials.



5.

“ENORMOUS DEVELOPMENT POTENTIAL”

Karsten Moritz is an architect and structural engineer, and Director of R&D at Taiyo Europe GmbH. As a Doctor in engineering sciences, he researches the mechanical behaviour of ETFE foils, pneumatic structures and membrane structures in general.

Which future material innovations do you predict?

ETFE was only developed in 1970. We are therefore dealing with a very young construction method that still has enormous development potential. In the future, for example, metallised ETFE films will be available not just as a prototype but as a standard product. These so-called low-emissivity (low-E) films reflect the radiation in the infrared spectrum of the sun, while the visible light passes through the film almost unhindered. This could significantly reduce the energy losses of heated buildings, despite the fact that the building envelope is transparent.

In which global markets do you see growth potential in the future?

The global spread of construction methods with ETFE films in warmer regions shows a trend towards increased printing on the films (sun protection) and towards multilayer multifunctional modules, with integrated mobile sun protection systems and integrated energy utilisation systems (photovoltaic, heat collectors). On the other hand, in moderate and cold climatic regions, the increasing energetic demands on the building envelope and on climate protection lead to increased demands on thermal insulation. This is noticeable in an increasing number of film layers. Foil cushions with 4 layers have already been produced. As a result, the U-value, which represents the thermal insulation of the building envelope, is improved.

Welche Materialentwicklungen kann man bereits absehen?

ETFE wurde 1970 entwickelt. Wir haben es also mit einer recht jungen Bauweise zu tun, die noch ein enormes Entwicklungspotential hat. In absehbarer Zeit wird es beispielsweise metallisch bedampfte ETFE-Folien nicht nur als Prototyp sondern als Standardprodukt geben. Diese so genannten low-emissivity (low-E) Folien reflektieren die Strahlung im Infrarotspektrum der Sonne, während das sichtbare Licht fast ungehindert durch die Folie hindurch geht. Damit könnten die Energieverluste beheizter Gebäude deutlich gesenkt werden, und dies trotz transparenter Gebäudehülle.

Auf welchen globalen Märkten sehen Sie ein zukünftiges Wachstumspotential?

Die globale Verbreitung der Bauweisen mit ETFE-Folien in wärmeren Regionen zeigt sich in einer zunehmenden Tendenz hin zu verstärkter Bedruckung der Folien (Sonnenschutz) und zu mehrschichtigen multifunktionalen Modulbauweisen, mit integrierten beweglichen Sonnenschutzsystemen und integrierten Energienutzungssystemen (Photovoltaik, Wärmekollektoren). Hingegen führen in moderaten und kalten Klimaregionen die steigenden energetischen Anforderungen an die Gebäudehülle und an den Klimaschutz zu einem erhöhten Anspruch an die Wärmedämmung. Dies macht sich in einer zunehmenden Anzahl von Folienlagen bemerkbar. Folienkissen mit 4 Lagen wurden bereits hergestellt. Hierdurch wird der U-Wert, also die Wärmedämmung der Gebäudehülle, verbessert.

¿Qué innovaciones futuras en materiales vaticina?

El ETFE no se desarrolló hasta 1970. Por tanto, estamos hablando de un método de construcción muy reciente que sigue teniendo un potencial de desarrollo enorme. En el futuro, por ejemplo, las películas metalizadas de ETFE no estarán disponibles solo como prototipo, sino como producto estándar. Las llamadas películas de baja emisividad (o low-E) reflejan la radiación en el espectro de infrarrojos del sol, mientras que la luz visible atraviesa la película sin apenas resistencia. Esto podría reducir enormemente las pérdidas de energía de los edificios con calefacción, aunque el revestimiento de los mismos sea transparente.

¿En qué mercados mundiales observa potencial de crecimiento en el futuro?

La difusión global de los métodos de construcción con películas de ETFE en las regiones más cálidas demuestra una tendencia hacia una mayor impresión sobre las películas (protección solar) y hacia módulos multifuncionales de varias capas, con sistemas móviles integrados de protección solar y sistemas integrados de utilización de la energía (fotovoltaicos, colectores térmicos). Por otro lado, en regiones con climas moderados y fríos, las crecientes exigencias energéticas para el revestimiento de los edificios y la protección climática derivan en mayores requisitos de aislamiento térmico, algo que se aprecia en el número cada vez mayor de capas de películas. De hecho, ya se han producido cojines de 4 láminas. Esto redundará en una mejora del valor U, que representa el aislamiento térmico del revestimiento del edificio.

CHARACTERISTICS OF ETFE

EIGENSCHAFTEN DES MATERIALS
CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL



Lightweight

ETFE is a super-lightweight material: in cushions made of ETFE, the mass of the air inside is greater than that of the ETFE structure itself. ETFE film weighs only 1% of an equally-sized glass panel, and a double layered cushion less than 5%. This means structural support can be much more slender, opening up new design possibilities while reducing material use, build time and costs.

ETFE film weighs
1% of an equally
sized glass panel

Transparent

ETFE lets in more light than glass, producing bright and welcoming indoor spaces. Practically the whole visible light spectrum passes the material unfiltered and creates a natural lighting atmosphere. This makes it particularly well suited for many applications, for example greenhouses, and for use in combination with photovoltaics.

Insulating

A single layer of ETFE film is not very effective for thermal insulation. Multi-layer air-filled ETFE cushions on the other hand have a much higher insulation performance. Recently cushions with up to five layers have been developed, achieving U values in the region of 1.4 w/m²k.

Leichtigkeit

ETFE ist extrem leicht: In Kissen aus ETFE ist das Gewicht der eingeschlossenen Luft innendrin größer, als das der ETFE Struktur selbst. ETFE-Folie wiegt nur 1 % des Gewichts einer Glasplatte gleicher Größe und ein doppelagiges Luftkissen weniger als 5 %. Dies bedeutet, dass die tragende Struktur viel bescheidener ausfallen kann, was neue Designmöglichkeiten mit sich bringt während zugleich Materialeinsatz, Bauzeit und Baukosten abnehmen.

Durchlässigkeit

ETFE ist lichtdurchlässiger als Glas und sorgt innen für eine helle, einladende Atmosphäre. Nahezu das gesamte sichtbare Lichtspektrum dringt ungefiltert durch das Material und schafft eine natürliche Lichtatmosphäre. Deshalb eignet sich ETFE ausgezeichnet für viele Anwendungen, wie z. B. Treibhäuser, und für Anwendungen in Kombination mit Photovoltaikanlagen.

Wärmedämmung

Eine einlagige ETFE-Folie hat keine besonders effiziente Wärmedämmung. Mehrlagige ETFE-Luftkissen haben hingegen eine viel bessere Dämmleistung. Kürzlich wurden Luftkissen mit bis zu fünf Lagen entwickelt, die einen U-Wert von etwa 1,4 w/m²k erreichten.

Ligero

El ETFE es un material extremadamente ligero: en cojines contruidos con ETFE, la masa de aire interior es superior a la de la propia estructura de ETFE. El peso de una película de ETFE equivale a solo el 1 % del peso de un panel de vidrio de igual tamaño, y el peso de un cojín bicapa sería inferior al 5 %. De esta forma, el apoyo estructural puede ser mucho más estilizado, abriendo así nuevas oportunidades de diseño mientras se reduce el uso de materiales, el tiempo de construcción y los costes.

Transparente

El ETFE permite que traspase más luz que el vidrio, creando así espacios interiores luminosos y acogedores. Prácticamente la totalidad del espectro lumínico atraviesa el material sin filtros y crea un ambiente luminoso casi natural. Esta capacidad resulta especialmente adecuada para algunas aplicaciones, como invernaderos, y para su uso en combinación con paneles fotovoltaicos.

Aislante

Una película de ETFE de una sola capa no resulta muy eficaz para el aislamiento térmico. Sin embargo, los cojines neumáticos multicapa de ETFE ofrecen una capacidad de aislamiento muy superior. Recientemente se han desarrollado cojines con hasta cinco capas, logrando valores U cercanos a 1,4 w/m²k.



	ETFE FILM			GLASS	
	SINGLE-LAYER	DOUBLE-LAYER	TRIPLE-LAYER	SINGLE	DOUBLE
Thickness / Composition	200µm	200µm + 200µm	200µm + 200µm + 200µm	6mm	6mm + A12mm + 6mm
Weight (kg/m ²)	0.35	0.70	1.05	15.0	30.0
Visible light transmittance (%)	90.5	82.4	75.4	88.9	79.6
Ultraviolet transmittance (%)	83.5	71.5	62.3	61.4	45.5
Weather resistance	***	←	←	****	←
Self-cleaning	****	←	←	**	←

Above: ETFE film and glass comparison. Source: MakMax. Opposite: Thermal performance of ETFE cushions. Source: MakMax.

Dirt resistant

Similar to PTFE, ETFE roofs require no cleaning: dirt is washed away by the rain. This eliminates the use of cleaning chemicals, and represents a significant cost saving over the lifespan of a building.

ETFE requires no cleaning: dirt is washed away by the rain

Durable

ETFE has high resistance to chemical damage from pollutants and is resilient to UV rays and weather effects. While no ETFE structures have been in place for long enough to gain a true understanding of its life cycle, it has been extensively researched and tested and it is anticipated that the material has a lifespan in excess of 30 years. ETFE is resistant to tearing, and any holes can be repaired with a patch.

Fire resistant

ETFE is flame retardant and self-extinguishing. This is confirmed by numerous national and international fire safety certificates (DIN EN 13501-1, B-S1, d0).

Schmutzresistenz

Ähnlich wie PTFE-Dächer, brauchen auch ETFE-Dächer nicht geputzt zu werden: Der Schmutz fließt mit dem Regen ab. Dadurch erübrigt sich der Einsatz von chemischen Putzmitteln und über die Lebensdauer eines Gebäudes werden erhebliche Kosten eingespart.

Langlebigkeit

ETFE hat eine hohe Resistenz gegenüber chemischen Schadstoffen und ist UV-Strahlen- und wetterbeständig. Zwar sind ETFE-Strukturen noch nicht lange genug im Einsatz, um ihre Lebensdauer genau zu bewerten, jedoch wurden sie eingehend erforscht und getestet, sodass man davon ausgeht, dass das Material eine Lebensdauer von mehr als 30 Jahren hat. ETFE ist rissresistent und jegliche Löcher können mit einem Patch repariert werden.

Feuerresistenz

ETFE ist schwer entflammbar und selbstlöschend. Dies wird durch zahlreiche nationale und internationale Brandschutzzertifikate bestätigt (DIN EN 13501-1, B-S1, d0).

Resistente a la suciedad

Tal y como ocurre con el PTFE, las cubiertas fabricadas con ETFE no requieren limpieza: la suciedad se retira con la lluvia. Esto elimina la necesidad de utilizar productos químicos de limpieza y supone un importante ahorro de costes durante toda la vida útil del edificio.

Duradero

El ETFE es un material muy resistente al daño químico provocado por la contaminación y soporta los rayos UV y los efectos climáticos. Si bien ninguna estructura de ETFE lleva construida suficiente tiempo como para tener una idea precisa de su ciclo de vida, este material se ha investigado y probado de manera exhaustiva y se prevé que su duración supere los treinta años. El ETFE es resistente a los desgarros y los agujeros pueden repararse con parches.

Incombustible

El ETFE es ignífugo y autoextinguible. Numerosos certificados nacionales e internacionales de seguridad contra incendios confirman estas cualidades (DIN EN 13501-1, B-S1, d0).

LIGHTS AND MUSIC

LICHT UND MUSIK

LUZ Y SONIDO

COCA-COLA BEATBOX

Architect: Pernilla Ohrstedt & Asif Khan, London, UK

Engineer: AKT II, London, UK; LEICHT, Rosenheim, Germany; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany

Year: 2012

Location: Olympic Park London, UK

Size: 1,560 m²

Material: ETFE dual-layer cushions

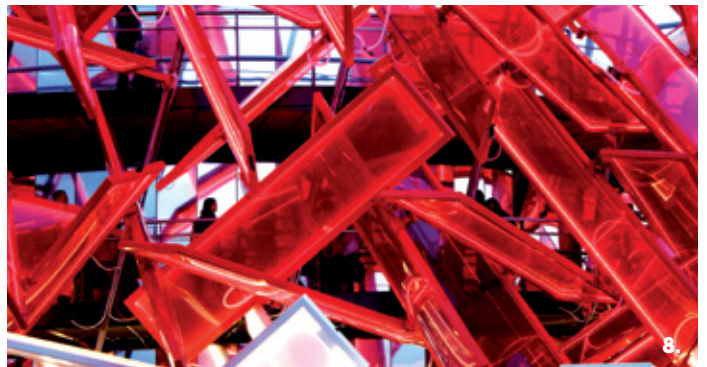
Functions: LED illumination, acoustic sensor technology



6.



7.



8.

The Coca-Cola Beatbox was a temporary installation developed for the London 2012 Olympics. The façade consists of 230 LED illuminated ETFE cushions. 40 cushions have **built-in audio speakers, and are equipped with motion sensors**, allowing visitors to create sounds through physical interaction with the structure.

Die Coca-Cola Beatbox war eine temporäre Installation, die für Olympia 2012 in London entwickelt wurde. Die Fassade besteht aus 230 LED-beleuchteten ETFE-Kissen. 40 Kissen sind mit **integrierten Lautsprechern und mit Bewegungssensoren ausgestattet**, was es den Besuchern ermöglicht, durch physische Interaktion mit der Struktur Töne zu erzeugen.

Coca-Cola Beatbox fue una instalación temporal creada con motivo de los Juegos Olímpicos de Londres de 2012. La fachada está formada por 230 cojines de ETFE con luces LED. Cuarenta cojines llevan altavoces **incorporados y están equipados con sensores de movimiento**, lo que permite a los visitantes crear sonidos mediante la interacción física con la estructura.

TECHNICOLOUR RAINCOAT

FARBENPRÄCHTIGER REGENMANTEL

IMPERMEABLE EN TECNICOLOR

LODZ TRAM STATION



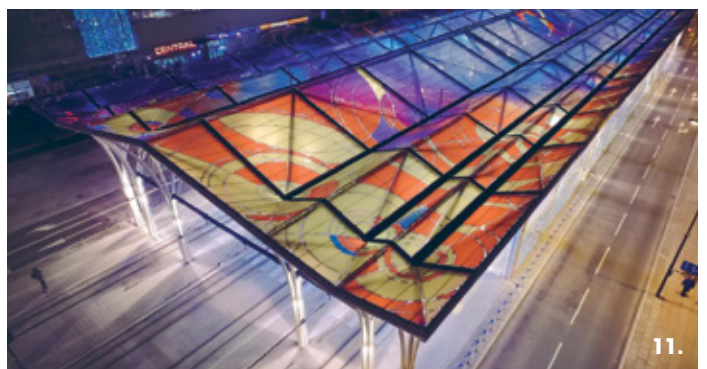
Architect: FOROOM, Warsaw, Poland
Engineer: Buro Happold, Warsaw, Poland; konstrukt, Rosenheim, Germany; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany
Year: 2014
Location: Łódź, Poland
Size: 4,000 m²
Material: ETFE, colour printed, single-layer
Functions: Weather protection, solar shade, decoration



9.



10.



11.

The roof of the Piotrkowska Street tram station in Lodz, Poland, contains a **colour printed ETFE cover**, featuring a customised, non-repeating pattern. Printing can also be used to manipulate the light transmission properties of ETFE, or for branding purposes.

Das Dach der S-Bahn-Station in der Piotrkowska-Straße in Lodz, Polen, besteht aus einer **farbbedruckten ETFE-Bedeckung**, die ein kundenspezifisches, sich nicht wiederholendes Muster zeigt. Das Bedrucken kann ebenfalls zur Änderung der lichtübertragenden Eigenschaften des ETFE oder zu Werbezwecken genutzt werden.

La cubierta de la estación de tranvía de la calle Piotrkowska, en la ciudad polaca de Lodz, contiene paneles de **ETFE impresos** que incorporan un patrón no repetitivo personalizado. También se puede recurrir a la impresión para manipular las propiedades de transmisión de luz del ETFE, o para fines de publicidad de marcas.

SHIP SHAPE

SCHIFFSFORM

FORMA DE BARCO

RIVER CULTURE THEATRE PAVILION



Architect: Asymptote, Hani Rashid, New York, USA

Engineer: Withworks, South Korea; konstrukt, Rosenheim, Germany; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany

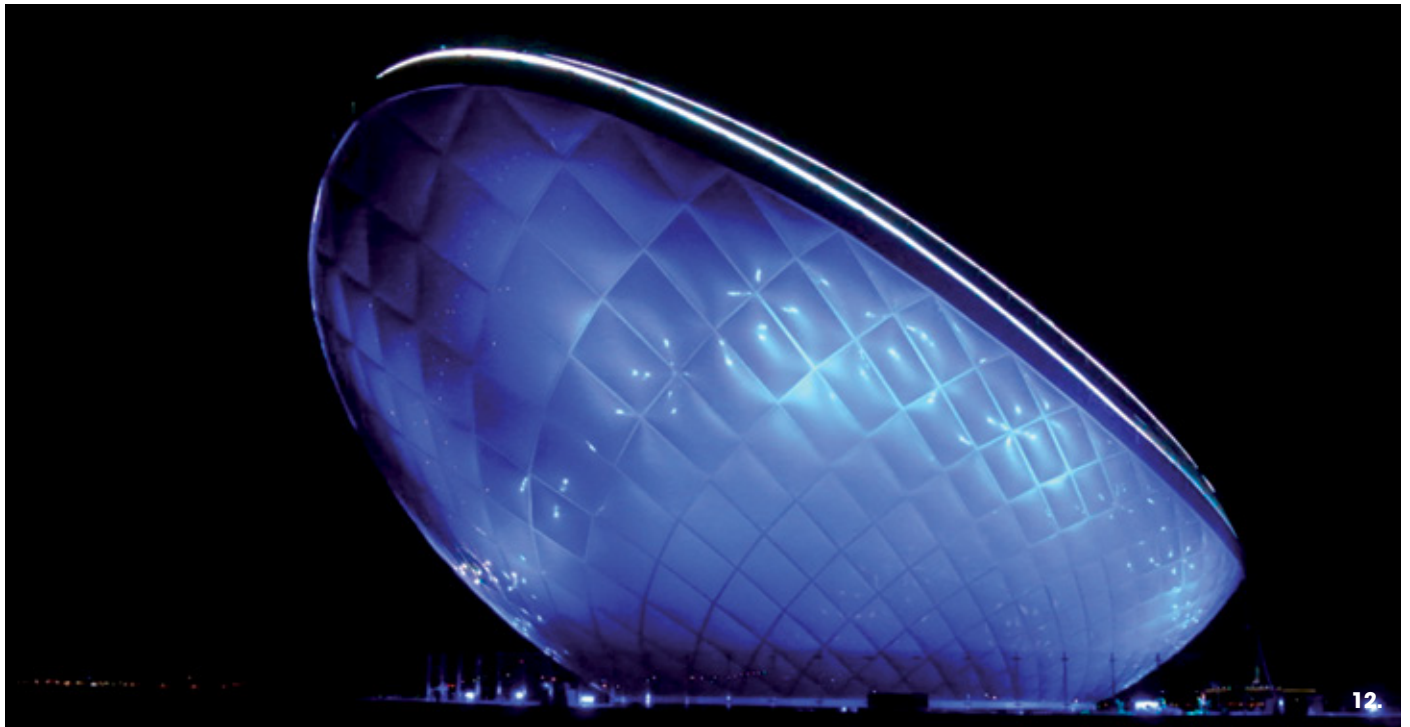
Year: 2012

Location: Daegu, South Korea

Size: 1,990 m²

Material: ETFE, silver printed (twice), white, black, quadruple layer cushions, moiré effect

Functions: Illumination



Multi-layer ETFE cushions supported by lightweight steel can be transformed into a **myriad of different shapes**. The River Culture Theatre Pavilion, a state of the art multimedia and exhibition space in Daegu, South Korea, dazzles visitors with its exciting form.

Mehrlagige ETFE-Kissen, die von einer leichten Stahlsstruktur getragen werden, können in **eine Vielzahl von Formen** umgewandelt werden. Der River Culture Theatre Pavillon, ein hochmodernes Multimedia- und Ausstellungsgebäude in Daegu, Südkorea, zieht seine Besucher mit seiner spannenden Form in seinen Bann.

Los cojines multicapa de ETFE soportados por acero ligero pueden adquirir **multitud de formas**. El River Culture Theatre Pavilion, un espacio vanguardista multimedia y de exposiciones ubicado en Daegu, Corea del Sur, sorprende a los visitantes con su forma emocionante.

GREEN BUILDING 2.0

GRÜNES BAUEN 2.0

O EDIFICIO VERDE 2.0

ALGAE BIOREACTOR

Architects: ecoLogicStudio, London, UK
Engineer: Maffei Engineering, Solagna, Italy; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany
Year: 2015

Location: EXPO Milano, Italy

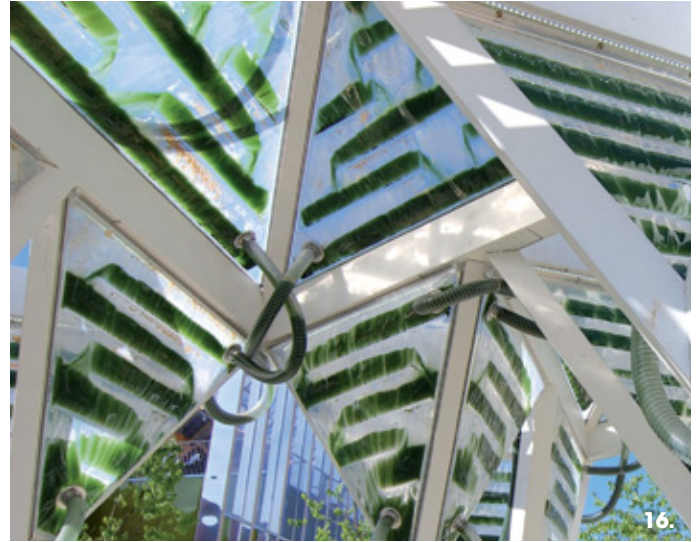
Size: 82 m²

Material: ETFE two-layer cushions

Functions: Algae Reactor, solar shade



15.



16.



17.



18.

Algae are emerging to be one of the most promising long-term, sustainable sources of fuel, food, feed, and other co-products. An installation at the 2015 EXPO Milan showed how algae can grow in ETFE cushions, **creating a living 'skin'** for buildings. The super-fast growing algae also provided shade for visitors, while absorbing CO₂ from the surroundings.

Algen entwickeln sich zu einer der vielversprechendsten langlebigen, nachhaltigen Quelle für Treibstoff, Nahrungsmittel, Futter und andere Koppelprodukte. Eine Installation auf der Weltausstellung 2015 in Mailand hat gezeigt, wie Algen in ETFE-Kissen wachsen können und **eine lebende „Gebäudehaut“ bilden**. Die rasant wachsenden Algen boten zudem Schatten für die Besucher und nahmen zugleich CO₂ aus der Umgebung auf.

Las algas están resultando ser una de las fuentes más prometedoras y sostenibles a largo plazo de combustible, alimentación humana y animal, y otros productos asociados. Una instalación en la EXPO de Milán 2015 mostraba cómo las algas pueden crecer en cojines de ETFE, **creando un revestimiento vivo** para los edificios. Las algas de crecimiento ultrarrápido también proporcionaban sombra a los visitantes, al tiempo que absorbían CO₂ del entorno.





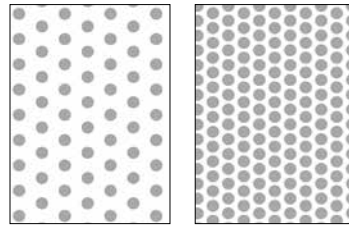
03

ETFE SUSTAINABILITY
NACHHALTIGKEIT VON ETFE
SOSTENIBILIDAD DEL ETFE

RESOURCE AND ENERGY EFFICIENT

RESSOURCEN- UND ENERGIEEFFIZIENZ

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y DE LOS RECURSOS



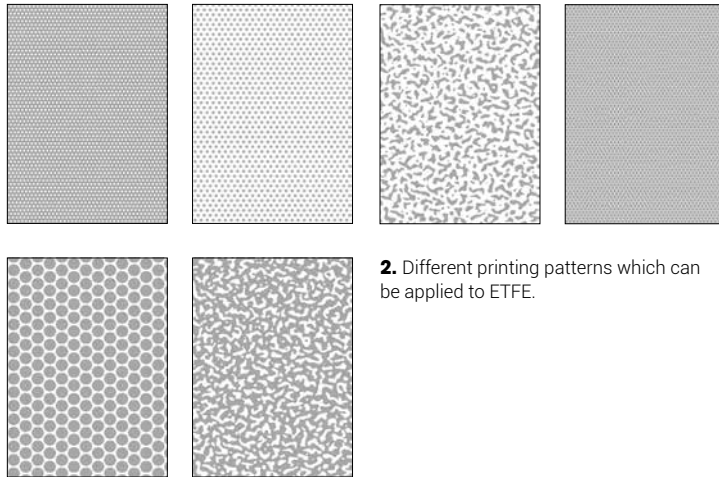
Building more with less

Besides the desire to create new and distinctive forms, sustainability concerns were central to the rise of lightweight textile-based architecture in the twentieth century. **Lightweight structures often weigh only 1% of a conventional alternative.** This reduces the overall material resources used in a project considerably, and saves energy throughout the build process; from production, transport, assembly and dismantling through to eventual disposal. ETFE is also recyclable, and after use can be remoulded into new products.

Energy efficient

The versatility of ETFE lends it to solar control and shading. Through printing and other techniques, the transparency of ETFE can be modified to allow in more or less light, acting as a solar shield where needed. ETFE can also be highly effective for thermal insulation. Air-filled ETFE cushions are as efficient as double glazed glass, and triple-layered (and above) cushions have higher insulation performance.

As well as being low energy to produce, ETFE is almost completely recyclable.



2. Different printing patterns which can be applied to ETFE.

Weniger ist mehr

Neben dem Wunsch nach neuen, unverwechselbaren Formen, war auch das Streben nach Nachhaltigkeit einer der Motoren für die Entwicklung der textilen Architektur im 20. Jahrhundert. **Leichtgewichtige Strukturen wiegen oft nur 1 % vom Gewicht konventioneller Alternativen.** Dadurch wird der gesamte Materialbedarf für ein Projekt deutlich gesenkt und während der Bauphase wird Energie eingespart, sowohl bei der Produktion und beim Transport als auch bei der Montage, der Demontage und der möglichen Entsorgung. ETFE ist wiederverwertbar und kann nach der Verwendung recycelt und zu neuen Produkten verarbeitet werden.

Energieeffizienz

Die Vielseitigkeit von ETFE resultiert auch aus der Solarsteuerung und der Verschattung zurück. Durch Bedrucken und andere Techniken kann die Durchlässigkeit von ETFE verändert werden, um mehr oder weniger Licht hereinzulassen und so bei Bedarf als Sonnenschutz zu fungieren. ETFE kann auch für die Wärmedämmung sehr effizient sein. ETFE-Luftkissen sind genauso effizient wie Doppelverglasung. Luftkissen mit drei Lagen (oder mehr) haben eine noch bessere Dämmleistung.

Construir más con menos

Además del deseo de crear formas nuevas y distintivas, la preocupación por la sostenibilidad fue crucial en el auge de la arquitectura textil ligera en el siglo XX. **El peso de las estructuras ligeras suele suponer tan solo un 1 % del de las alternativas convencionales.** Esto reduce considerablemente los recursos materiales globales que se utilizan en un proyecto y ahorra energía durante todo el proceso de construcción: desde la producción, el transporte, el montaje y el desmontaje, hasta su eliminación final. El ETFE también es reciclable, y tras su uso puede transformarse en nuevos productos.

Bajo consumo energético

La versatilidad del ETFE le otorga propiedades para la regulación solar y el sombreado. Mediante la impresión y otras técnicas, la transparencia del ETFE puede modificarse para regular la intensidad de la luz, actuando como un escudo solar cuando sea necesario. El ETFE también puede ser sumamente eficaz para el aislamiento térmico. Los cojines neumáticos de ETFE son tan eficientes como el acristalamiento y los cojines de tres capas (o más) pueden tener mayor capacidad de aislamiento.

IN THE SHADE

IM SCHATTEN
EN LA SOMBRA

US EMBASSY IN LONDON



Architect: Kieran Timberlake,
Philadelphia, USA

Engineer: Arup UK; Birdair, USA

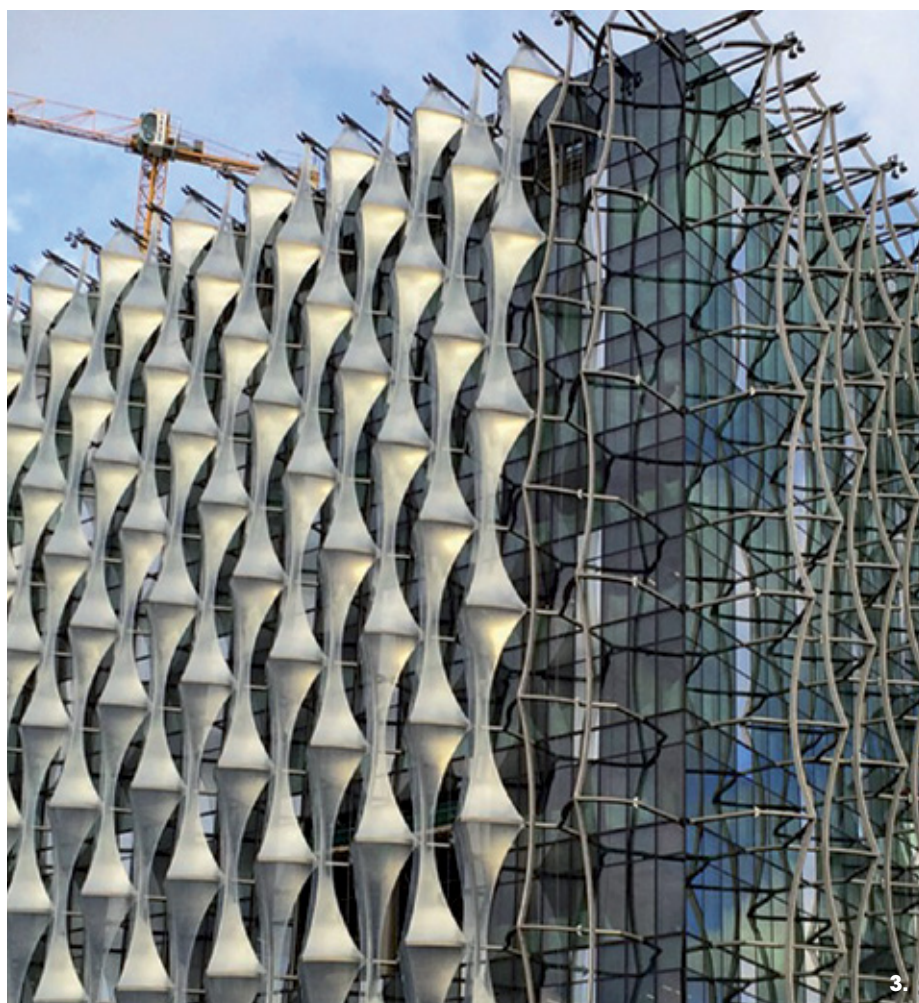
Year: 2017

Location: London, UK

Size: 8,000 m²

Material: ETFE single layer panels

Functions: Distribution of daylight,
reduction of solar heat transmission



The new US Embassy in London incorporates 400 sails made of ETFE foil panels on the building façade. The sails are mounted on the east, west and south facing elevations to screen excessive solar gain and glare while ensuring a uniform distribution of daylight to the building interior. This helps **moderate indoor temperature** and reduces the need for artificial lighting.

Die Fassade der neuen US-Botschaft in London besteht aus 400 ETFE-Folien Panels in Segelform. Die Segel wurden im Osten, Westen und Süden angebracht, um grelles Sonnenlicht abzublenken und zugleich die gleichmäßige Verteilung des Sonnenlichts im Inneren des Gebäudes zu gewährleisten. Dies trägt dazu bei, eine **angemessene Innentemperatur zu erzielen** und den Bedarf an künstlichem Licht zu senken.



La nueva Embajada de Estados Unidos en Londres incorpora 400 velas fabricadas con cojines de ETFE en la fachada del edificio. Las velas están montadas sobre elevaciones en dirección este, oeste y sur para apantallar una captación solar y un deslumbramiento excesivos, garantizando a su vez una distribución uniforme de la luz diurna por todo el interior del edificio. Esto ayuda a **moderar la temperatura interior** y reduce la necesidad de luz artificial.

SMART FAÇADES

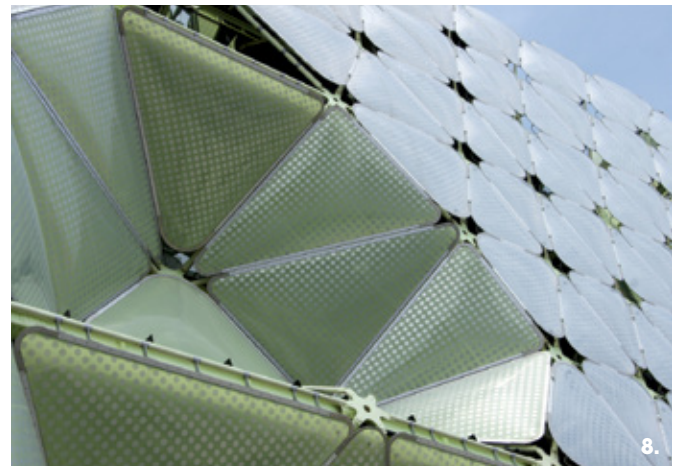
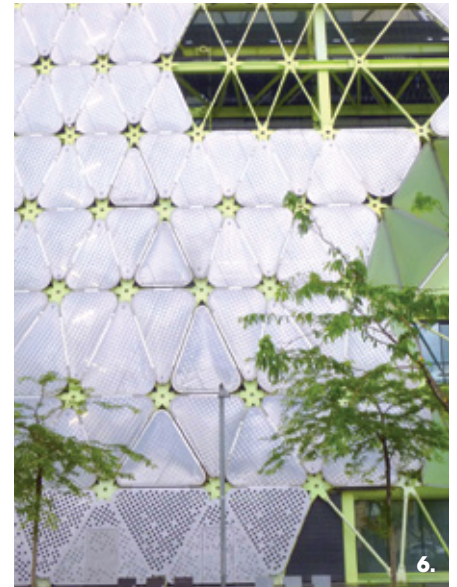
SMARTE FASSADEN

FACHADAS INTELIGENTES

MEDIA-TIC BARCELONA



Architect: Cloud9, Barcelona, Spain
Engineer: Boma, Tecnics G3
Year: 2012
Location: Barcelona, Spain
Size: 3,572 m²
Material: ETFE
Functions: Distribution of daylight,
reduction of solar heat transmission



The Media-TIC building, an ICT hub in Barcelona, is able to **react to climatic changes in real time in order to save energy**. It is fitted with an intelligent system that allows for both transparency and solar protection. When sun strikes the sensors, the automated system injects the pillows with a dense cloud of nitrogen gas, to diffuse the sun's rays.

Das Media-TIC-Gebäude, ein IKT-Drehkreuz in Barcelona, kann **in Echtzeit auf Wetterveränderungen reagieren, um Energie zu sparen**. Es ist mit einem intelligenten System ausgestattet, das sowohl Sonnenlicht reinlässt als auch davor schützt. Wenn die Sonnenstrahlen auf die Sensoren treffen, besprüht das automatische System die Kissen mit einer dichten Stickstoffgasschicht, um die Sonnenstrahlen zu zerstreuen.

El edificio Media-TIC, un centro de empresas del sector de las TIC ubicado en Barcelona, es **capaz de reaccionar a los cambios climatológicos en tiempo real para ahorrar energía**. Está equipado con un sistema inteligente que ofrece transparencia a la vez que protección solar. Cuando el sol llega a los sensores, el sistema automatizado inyecta una nube densa de gas de nitrógeno en los cojines para difuminar los rayos solares.

BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS

GEBÄUDEINTEGRIERTE PHOTOVOLTAIKANLAGEN

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA INTEGRADA EN EDIFICIOS

The high transparency and self-cleaning nature of ETFE make it an ideal material for use with photovoltaic solar cells. This means an ETFE roof or façade can also be a source of renewable energy. Because building integrated photovoltaics (BIPV) replace a building element, rather than being attached to one, the added cost can be relatively low.

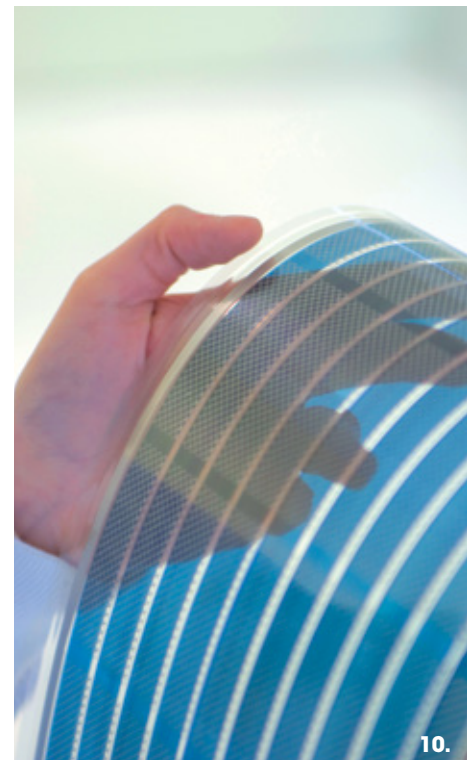
As photovoltaic technology gets more advanced it is becoming increasingly well suited for use with flexible membranes. Bulky cells are being replaced with flexible lightweight alternatives such as silicon based thin films. Organic photovoltaic cells, which are printed on thin, flexible membranes, and can be transparent, also create new design possibilities. Improvements in solar cell efficiency will continue to make them more commercially attractive.

Die hohe Durchlässigkeit und die selbstsäubernden Eigenschaften machen ETFE zu einem idealen Material für die Nutzung in Kombination mit photovoltaischen Solarzellen. Dies bedeutet, dass ein Dach oder eine Fassade aus ETFE auch eine Quelle für erneuerbare Energie sein kann. Da gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen ein Bauelement ersetzen, statt an einem Bauelement dran zu hängen, sind die zusätzlichen Kosten relativ gering. Da die Photovoltaiktechnologie sich ständig weiterentwickelt, eignet sie sich immer besser für eine Verwendung in Kombination mit flexiblen Membranen. Sperrige Paneele werden durch flexible, leichte Alternativen wie dünne Silikonfolien ersetzt. Organische Photovoltaikzellen, die auf dünne, flexible Membrane gedruckt werden und durchlässig sein können, schaffen ebenfalls neue Designmöglichkeiten. Verbesserungen bei der Effizienz der Solarzellen werden auch weiterhin dazu beitragen, sie wirtschaftlich attraktiver zu machen.



La elevada transparencia y las propiedades de autolimpieza del ETFE hacen que sea un material idóneo para utilizarse junto con células fotovoltaicas.

De esta forma, una cubierta o fachada de ETFE también puede ser una fuente de energía renovable. Dado que los sistemas de energía solar fotovoltaica integrada en los edificios (BIPV) sustituyen a un elemento del edificio en lugar de incorporarse a una parte del mismo, el coste añadido puede ser relativamente bajo. Cuanto más avanza la tecnología fotovoltaica, más adecuada resulta para su uso con membranas flexibles. Las células voluminosas están siendo reemplazadas por alternativas ligeras y flexibles, como por ejemplo, las películas finas de silicio. Las células fotovoltaicas orgánicas, que van impresas sobre membranas delgadas y flexibles, y pueden ser transparentes, también ofrecen nuevas posibilidades de diseño. La integración fotovoltaica en edificación seguirá ganando atractivo comercial a medida que se vaya mejorando su eficiencia.



9. An example of BIPV: the roof at Perpignan Station, France.

10. A sheet of organic photovoltaics.



"THESE TECHNOLOGIES WILL BECOME FAR MORE WIDESPREAD"

Ana Rosa Lagunas Alonso is Director of the Photovoltaic Solar Energy Department at CENER, the National Renewable Energy Centre of Spain.

What is the current state-of-the-art in photovoltaic solar energy?

The potential of flexible and lightweight 'thin cell' technologies, including organic PV, are well known and currently being demonstrated in a range of pilot projects. Increasing the efficiency is the focus of much research and development and should result in **these technologies becoming far more widespread in the near future.**

How is this being integrated into buildings?

When we look at creating low and zero-energy buildings, there are lots of possibilities for incorporating photovoltaics. Obviously one is to put solar panels on buildings, like on rooftops. **But why not integrate them in building structures?** New PV modules can substitute traditional building elements like roofs or façades, therefore saving materials.

How do you see the future of building integrated photovoltaics?

With thin cell photovoltaics, in the future we will be able to **maximise the energy generation potential of all exposed building surfaces.** This should see the creation of more 'autonomous' buildings, that are fully off-grid. This could be in remote locations, or, why not, in the middle of the city.

Wie ist der aktuelle Stand in Sachen Photovoltaik-Solarenergie?

Das Potenzial der flexiblen, leichten „Dünnschichtpaneele“, einschließlich organischer PV, ist bestens bekannt und wird derzeit in einer Reihe von Pilotprojekten demonstriert. Die Verbesserung der Effizienz steht im Mittelpunkt zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsprojekte und sollte dazu beitragen, dass **diese Technologien sich in der nahen Zukunft weiter ausbreiten.**

Wie werden PV in Gebäude integriert?

In Niedrigenergie- oder Null-Energie-Gebäuden gibt es zahlreiche Möglichkeiten zum Anbringen von Photovoltaikanlagen. Offensichtlich besteht eine Möglichkeit darin, Solarpaneele auf dem Gebäude, sprich auf dem Dach, anzubringen. **Aber warum sollte man sie nicht auch in die Gebäudestruktur einbringen?** Neuartige PV-Module können traditionelle Bauelemente wie Dächer oder Fassaden ersetzen und so Material einsparen.

Wie sehen Sie die Zukunft für gebäudeintegrierte Photovoltaikanlagen?

Dank der Dünnschichtpaneele werden wir in Zukunft in der Lage sein, **das Energiegewinnungspotenzial aller der Sonne ausgesetzten Gebäudeoberflächen zu maximieren.** Infolge dessen werden mehr „autonome“ Gebäude entstehen, die vollkommen unabhängig vom Netz sind. Das könnte es in abgelegenen Regionen geben oder warum auch nicht mitten in der Stadt.

¿Cuál es actualmente la vanguardia en energía solar fotovoltaica?

El potencial de las tecnologías de «células delgadas» flexibles y ligeras, incluidas las células fotovoltaicas orgánicas, es de sobra conocido y se está demostrando actualmente en diversos proyectos piloto. Se está llevando a cabo una intensa labor de investigación y desarrollo para mejorar la eficiencia, cuyo resultado previsible es **un uso más generalizado de estas tecnologías en un futuro cercano.**

¿Cómo se integran estas tecnologías en los edificios?

Cuando hablamos de la creación de edificios de consumo energético bajo y nulo, hay un sinfín de oportunidades para incorporar soluciones fotovoltaicas. Evidentemente, una de ellas consiste en instalar paneles solares encima de los edificios, como por ejemplo en las azoteas. **Pero, ¿por qué no integrarlas dentro de las propias estructuras de los edificios?** Los nuevos módulos fotovoltaicos pueden sustituir elementos tradicionales de las construcciones, como las cubiertas o las fachadas, con el consiguiente ahorro de materiales.

¿Cómo ve el futuro de las tecnologías fotovoltaicas integradas en los edificios?

Con las células fotovoltaicas delgadas, en un futuro podremos **maximizar el potencial de generación de energía de todas las superficies expuestas de los edificios.** Esto debería dar lugar a la creación de edificios más «autónomos», totalmente desconectados de la red eléctrica. Estas construcciones pueden estar en lugares remotos o también en el centro de la ciudad, ¿por qué no?

SOLAR TREES

SOLARBÄUME

ÁRBOLES SOLARES

GERMAN PAVILION EXPO MILANO



Architect: Schmidhuber + Partner, Munich, Germany
Engineer: Maffei Engineering, Solagna, Italy; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany
OPV: Belectric, Kitzingen, Germany
Year: 2015
Location: Milan, Italy
Size: 2,680 m² (300m² PV)
Material: ETFE thin film, organic PV cells
Functions: Electricity generation, solar shade



12.



13.

The German Pavilion was one of the first installations to **showcase the potential of organic photovoltaics – lightweight and flexible printed cells – in an architectural context**. The organic PV cells were laminated between two layers of ETFE film and suspended from a net of steel cables. As well as generating electricity for the pavilion the 'solar trees' also provided shade for visitors.

Der deutsche Pavillon war eine der ersten Installationen, die **das Potenzial organischer Photovoltaikanlagen - bestehend aus leichten, flexiblen bedruckten Paneelen - in einem architektonischen Kontext zeigte**. Die organischen PV-Paneele waren zwischen zwei Schichten aus ETFE-Folie geklebt und hingen an einem Netz von Stahldrähten. Die „Solarbäume“ erzeugten so einerseits Strom für den Pavillon und boten den Besuchern andererseits Schatten.

El Pabellón de Alemania fue una de las primeras instalaciones en **exhibir el potencial de las células fotovoltaicas orgánicas –células impresas ligeras y flexibles– en un contexto arquitectónico**. Las células fotovoltaicas orgánicas estaban laminadas entre dos capas de película de ETFE y suspendidas de una malla de cables de acero. Además de generar electricidad para el pabellón, los «árboles solares» también daban sombra a los visitantes.

HIGH TECH ROOFING

HIGHTECH-DACH

CUBIERTAS DE ALTA TECNOLOGÍA

AWM CARPORT MUNICH



Architect: Ackermann and Partners, Munich, Germany

Engineer: Ackermann Engineers, Munich, Germany; Taiyo Europe, Sauerlach, Germany

Year: 2011

Location: Munich, Germany

Size: 8,000 m² (3,300 m² PV-modules)

Material: ETFE three-layer cushions, PV-modules

Functions: Weather protection, reduction of solar heat gain, production of solar energy

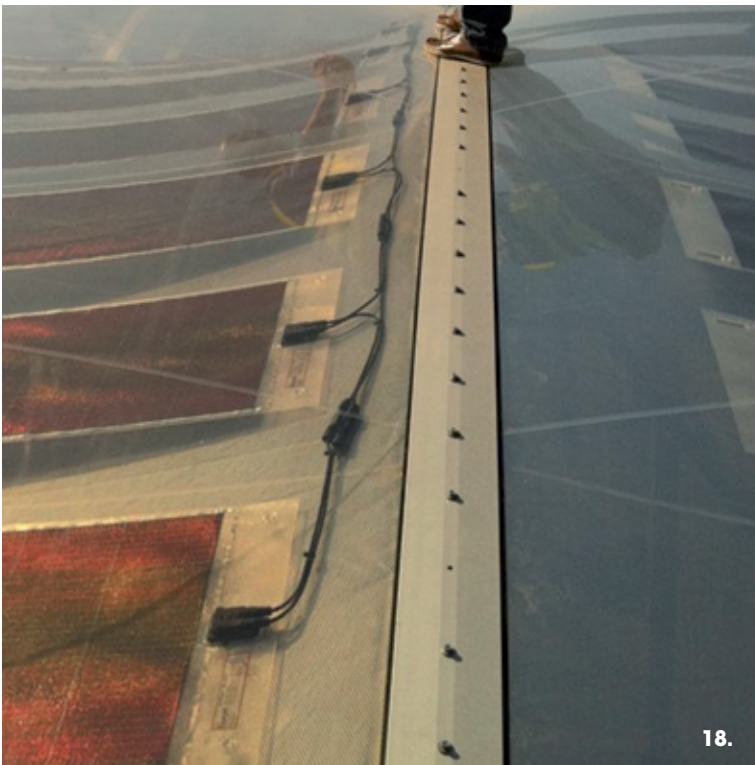


The roof of the Waste Management Department car park in Munich perfectly serves the needs of its users. **Thin-film solar cells, embedded in ETFE cushions, produce energy for use on site.** At the same time they provide solar shade while allowing sufficient daylight to illuminate the space below.

Das Dach des Parkplatzes der Abfallwirtschaftsbetriebe München wird den Bedürfnissen der Nutzer bestens gerecht. **Dünnschicht-Solarzellen, die in ETFE-Kissen eingebettet sind, erzeugen Energie für den Verbrauch vor Ort.** Zugleich bieten sie Schatten und lassen ausreichend Tageslicht herein, um den Raum zu erhellen.

La cubierta del aparcamiento del Departamento de Tratamiento de Residuos de Múnich cubre perfectamente las necesidades de sus usuarios. **Las células fotovoltaicas de lámina delgada incorporadas en los cojines de ETFE generan energía que se consume en las instalaciones.** De manera simultánea, protegen del sol mientras permiten iluminar el espacio de la parte inferior con suficiente luz diurna.









04

ADVANCING THE STATE OF THE ART

ENTWICKLUNGEN NACH VORNE TREIBEN
PROMOVER LAS TECNOLOGÍAS DE VANGUARDIA

ETFE LIGHTING

BELEUCHTUNG MIT ETFE

ILUMINACIÓN CON ETFE



Some of the most recent developments in textile-based architecture are in the domain of façade lighting. LED lighting devices and strategies in particular are increasing their presence in the market with new or extended functionalities, such as a very versatile control of colours and reproduction of static or moving pictures. These possibilities make not only an aesthetic element, but also an information or advertising platform, of an architectural element like a façade.

Either via projection or through integrated LEDs, the colour range and transparency options are nearly limitless.

Einige der neusten Entwicklungen in der textilen Architektur betreffen die Fassadenbeleuchtung. Dank der Projektion und der integrierten LEDs sind dem Farbspektrum und den Möglichkeiten in Sachen Durchlässigkeit fast keine Grenzen gesetzt. LED-Beleuchtungsmittel und insbesondere Beleuchtungsstrategien erhöhen ihre Präsenz auf dem Markt mit neuen oder erweiterten Funktionen, wie z. B. der wandlungsfähigen Farbkontrolle und der Reproduktion von statischen oder sich bewegenden Bildern. Diese Möglichkeiten verwandeln eine architektonische Komponente, wie eine Fassade, nicht nur in ein ästhetisches Element, sondern auch in eine Informations- oder Werbeplattform.

Algunos de los avances más recientes en arquitectura textil se están dando en el ámbito de la iluminación de fachadas. Ya sea mediante proyección o a través de LED integrados, la gama de colores y las opciones de transparencia son prácticamente ilimitadas. Los dispositivos y las estrategias de iluminación LED en particular están incrementando su presencia en el mercado con funcionalidades nuevas o ampliadas, como un control muy versátil de colores y la reproducción de imágenes estáticas o móviles. Estas posibilidades no solo aportan un elemento estético, sino que también crean una plataforma de información o publicitaria en un elemento arquitectónico como es una fachada.



LIGHTBOX

LIGHTBOX

CAJA DE LUZ

UNIQLO SHINSAIBASHI BUILDING



Architect: Sou Fujimoto, Tokyo, Japan

Engineer: Nikken Sekkei, Tokyo, Japan

Year: 2010

Location: Osaka, Japan

Size: 2,300 m²

Material: ETFE-cushions, LEDs

Functions: Weather protection, reduction of solar heat gain, LED screen



Located in the central shopping area in Osaka, the UNIQLO Shinsaibashi Flagship Store attracts customer's attention from miles away. **The ETFE cushions diffuse light from LEDs** which can be programmed to show rudimentary shapes and patterns.

Der UNIQLO Shinsaibashi Flagship Store im zentralen Einkaufsviertel von Osaka zieht die Aufmerksamkeit der Kunden schon von Weitem auf sich. **Die ETFE-Kissen strahlen Licht aus LEDs aus**, die so programmiert werden können, dass einfache Formen und Muster gezeigt werden.

Ubicada en la zona comercial central de Osaka, la «flagship store» de UNIQLO en Shinsaibashi llama la atención de los clientes a kilómetros de distancia. **Los cojines de ETFE emiten luz desde LED** que pueden programarse para mostrar formas y patrones rudimentarios.



DAS 'SCHLAUCHBOOT'

THE 'DINGHY'

LA 'LANCHA NEUMÁTICA'

ALLIANZ ARENA



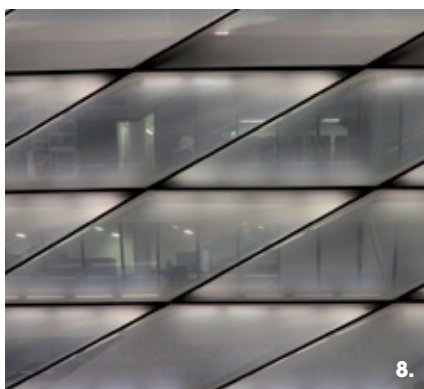
Home of Bayern Munich football club, the Allianz Arena is one of the world's most recognisable sporting arenas. It is wrapped in over 2,700 air-filled ETFE cushions, each up to 16m in diameter. Due to the complexity of the geometry almost all cushions are unique. **Illuminated by 300,000 LEDs, it is the first stadium in the world with a full colour changing exterior.** The ETFE cushions are kept continually pressurised by an inflation unit which gives the foil a structural stability.

Die Allianz Arena, Heimatstadion des Fußballclubs Bayern München, hat einen Wiedererkennungswert wie kaum eine andere Sportstätte in der Welt. Sie ist in mehr als 2.700 ETFE-Luftkissen gehüllt, die jeweils eine Spannweite von bis zu 16 Metern haben. Aufgrund der komplexen Geometrie sind fast alle Luftkissen Unikate. **Die Allianz Arena wird von 300.000 LEDs beleuchtet und ist das erste Stadion der Welt, das die Farbe außen vollständig ändern kann.** Die ETFE-Kissen werden mit Stutzluft versorgt, um die strukturelle Stabilität der Folie zu gewährleisten.

Sede del club de fútbol Bayern de Múnich, el Allianz Arena es uno de los estadios deportivos más reconocibles del mundo. Está envuelto en más de 2 700 cojines neumáticos de ETFE, cada uno con 16 metros de diámetro. Debido a la complejidad de su geometría, casi todos los cojines son exclusivos. **Iluminado con más de 300 000 luces LED, es el primer estadio del mundo cuyo exterior cambia completamente de color.** Los cojines de ETFE mantienen constantemente la presión gracias a un equipo de inflado que aporta estabilidad estructural a la lámina.



7.

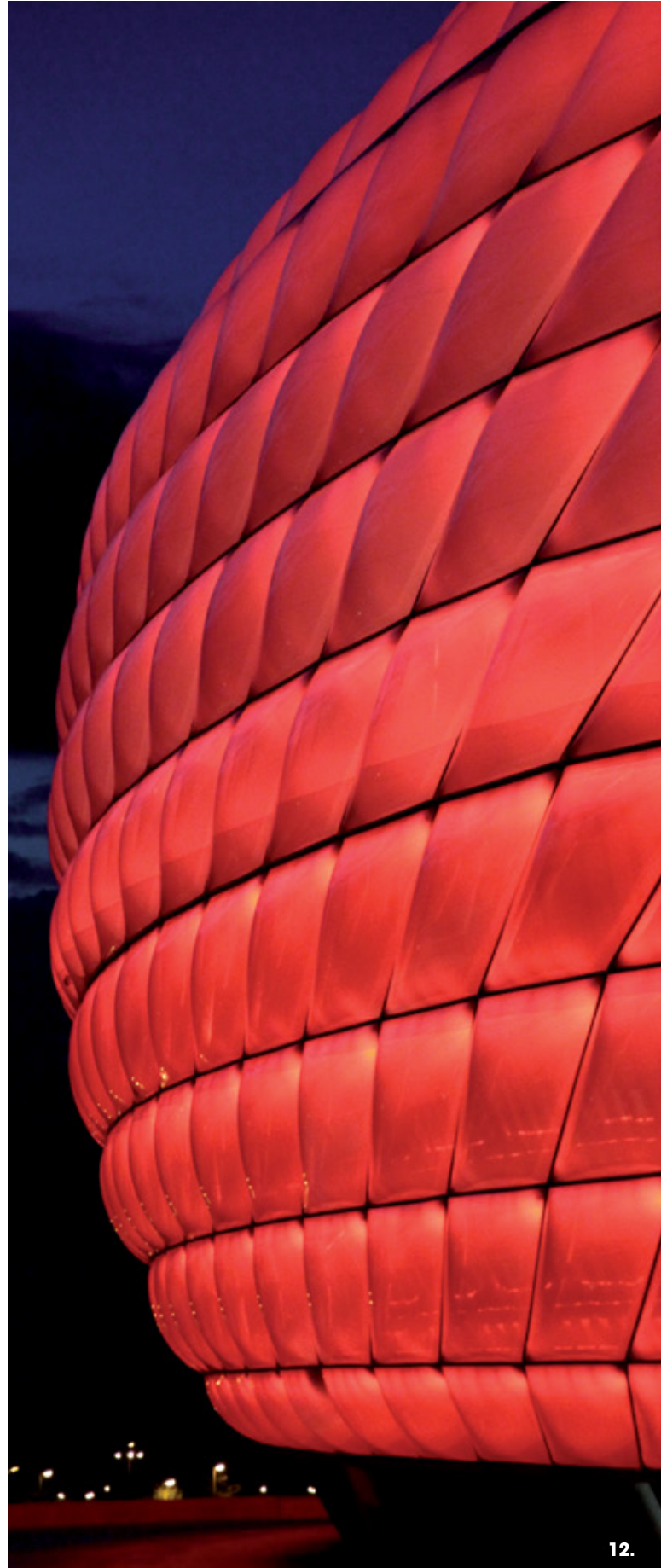
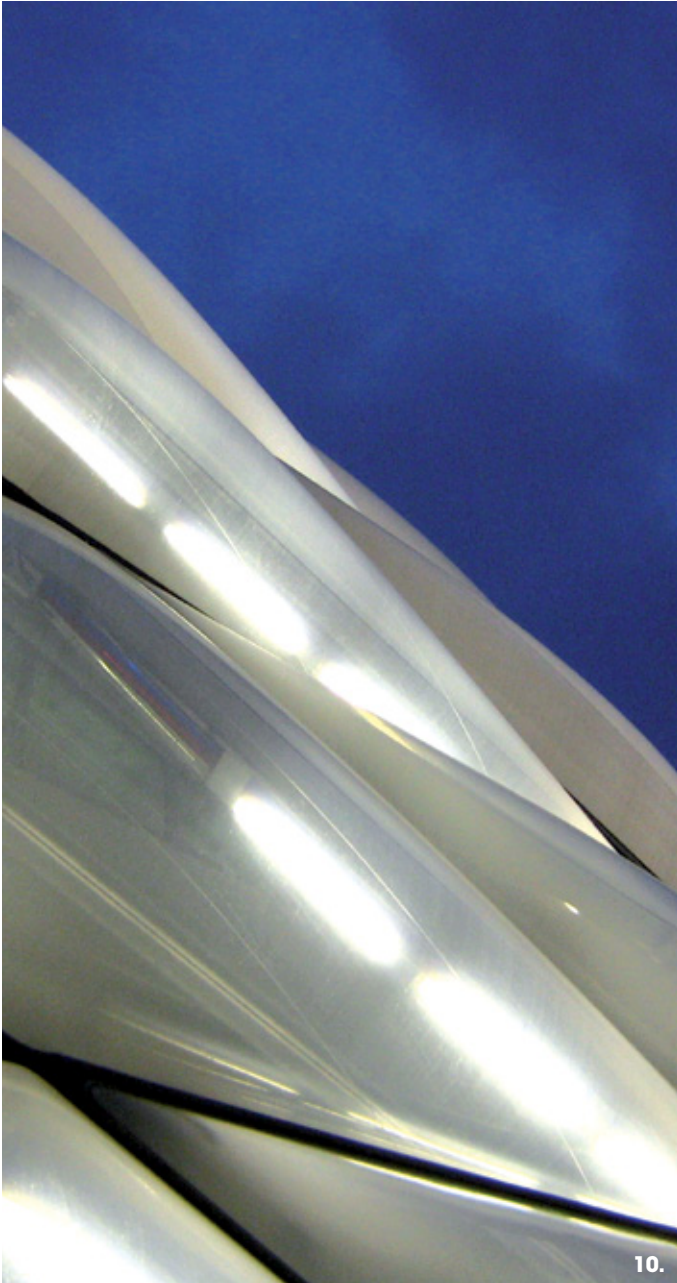


8.



9.

Architect: Herzog & de Meuron, Basel, Switzerland
Engineer: Max Bögl Stahl- und Anlagenbau, Neumarkt, Germany; Sailer Stepan und Partner, Munich, Germany; Covertex, Obing, Germany; Engineering + Design, Linke und Moritz GbR, Rosenheim, Germany (ETFE Cushions); IPL, Radolfzell, Germany
Year: 2005
Location: Munich, Germany
Size: 66,500 m²
Material: 2,784 two-layer ETFE cushions; 300,000 LEDs
Functions: LED lighting, light diffusion, weather protection



TOWARDS SUSTAINABLE FAÇADE LIGHTING: ETFE-MFM

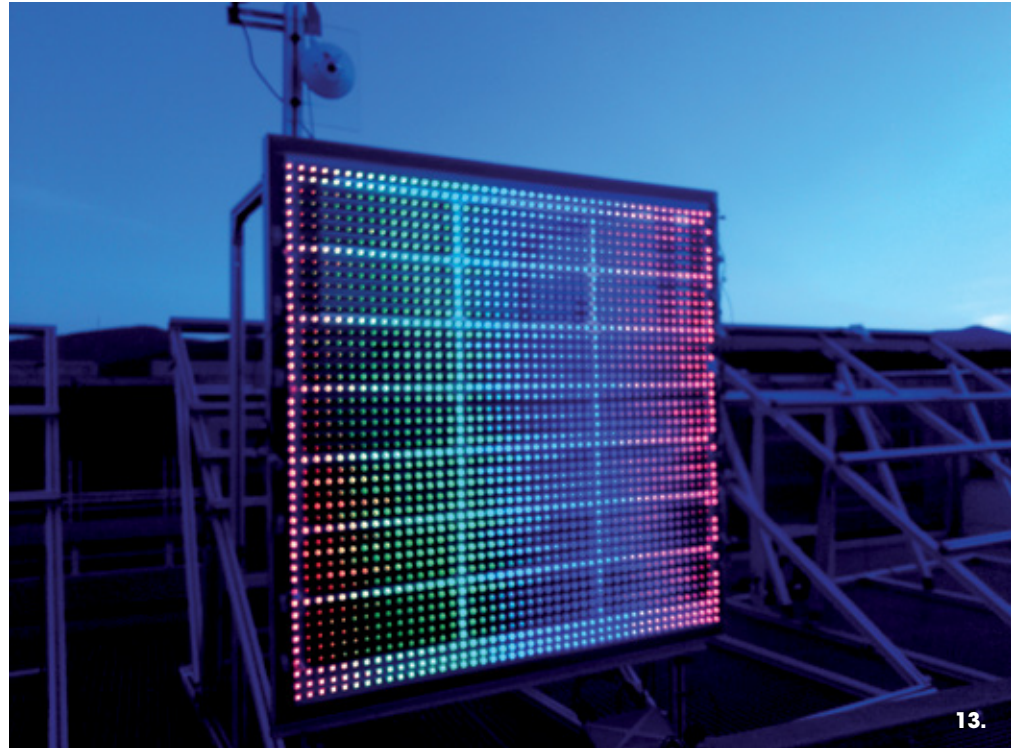
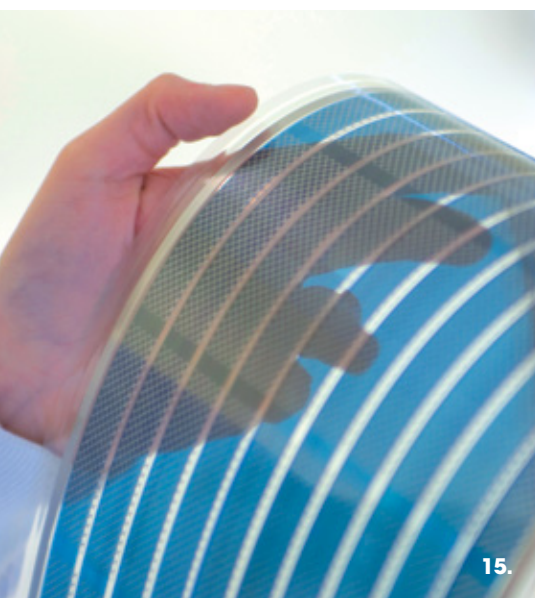
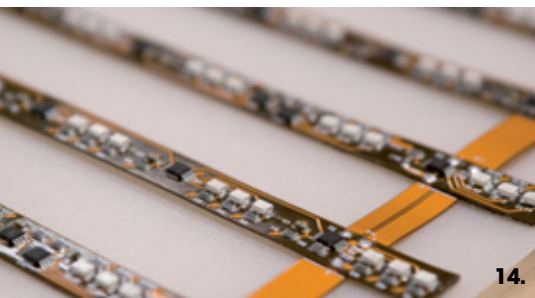
NACHHALTIGE FASSADENBELEUCHTUNG: ETFE-MFM

ILUMINACIÓN DE FACHADAS SOSTENIBLE: ETFE-MFM

▼

Ways are currently being sought to improve façade lighting, both in terms of performance and sustainability. Currently there are limitations on what can be displayed on textile-based surfaces: only rudimentary patterns or shapes, without much detail. Additionally, façade lighting in all its forms is usually very energy intensive, raising concerns about environmental impacts.

Researchers are exploring an innovative solution which integrates both photovoltaics and LEDs into the same ETFE module. In this way, the module can generate and store electricity from sunlight during the day, which is then used to power the LEDs in the evening. By integrating a high density of LEDs, the module acts like a screen and is able to display complex images and video. This could open up new commercial pathways, for example in advertising.



Derzeit wird nach Wegen zur Verbesserung der Fassadenbeleuchtung gesucht, sowohl in Hinblick auf die Leistung als auch in Hinblick auf die Nachhaltigkeit. Nicht alles kann auf textile Oberflächen projiziert werden, sondern nur einfache Muster und Formen ohne viele Details. Zudem ist Fassadenbeleuchtung in all ihren Formen meist sehr energieintensiv, was für Bedenken hinsichtlich der Umweltauswirkungen sorgt.

Forscher arbeiten an einem innovativen Konzept, das Photovoltaik und LEDs in einem ETFE-Modul zusammenbringt.

So kann das Modul tagsüber Strom aus Sonnenlicht erzeugen und speichern und diese Energie abends nutzen, um die LEDs anzutreiben. Durch das dichte Anbringen von LEDs fungiert das Modul als Leinwand, auf der komplexe Bilder und Videos gezeigt werden können. Dadurch ergeben sich neue Geschäftsfelder, z. B. in der Werbung.

Actualmente se están estudiando fórmulas para mejorar la iluminación de las fachadas, tanto en términos de rendimiento como de sostenibilidad. Sin embargo, existen limitaciones sobre lo que puede mostrarse en superficies textiles, que actualmente solo admiten patrones y formas rudimentarios, sin demasiados detalles. Además, la iluminación de las fachadas en todas sus formas generalmente consume mucha energía, lo que plantea problemas desde el punto de vista medioambiental.

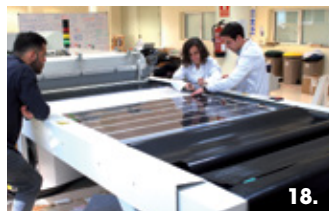
Los investigadores estudian una solución innovadora que integre tanto tecnología fotovoltaica como LEDs en el mismo módulo de ETFE. De esta forma, el módulo puede producir y almacenar electricidad generada por el sol durante el día, que posteriormente se utiliza para alimentar los LEDs por la tarde. Al integrar una elevada densidad de LEDs, el módulo actúa como una pantalla y es capaz de mostrar imágenes complejas y vídeo. Esta cualidad podría crear nuevas salidas comerciales, como por ejemplo, la publicidad.



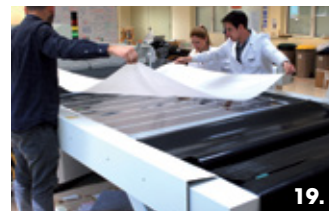
16.



17.



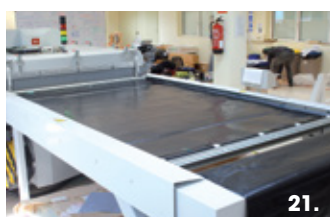
18.



19.



20.



21.



22.



23.

The ETFE Multi-Functional Module is comprised of ETFE film, Ethylene-vinyl acetate (EVA), organic PV and LEDs, mounted on an aluminium frame. It has been designed to include external batteries for onsite energy storage, but it can also be connected to the grid. Due to its modular nature, and level of prefabrication, it can be directly installed onsite and is easy to maintain, repair or remove. While the module is primarily suited for use as a second building skin, it could potentially be used as a skylight system, or as a glazing or façade element.

Das ETFE-Multifunktionsmodul besteht aus ETFE-Folie, Ethylen-Vinylacetat (EVA), organischer PV und LEDs, die zusammen auf einem Aluminiumrahmen angebracht werden. Es wurde mit externen Batterien zur Energiespeicherung vor Ort konzipiert, kann jedoch auch ans Netz angeschlossen werden. Aufgrund seines modularen Aufbaus und seinem Vorfertigungsgrad kann das Modul direkt vor Ort installiert und ganz leicht unterhalten, repariert oder entfernt werden. Das Modul eignet sich in erster Linie als zweite Gebäudehaut, es ist jedoch denkbar, dass es auch als Deckenbeleuchtung oder als Verglasungs- oder Fassadenelement genutzt wird.

El módulo multifuncional de ETFE se compone de película de ETFE, etilvinilacetato (EVA), células fotovoltaicas orgánicas y LED montados sobre un marco de aluminio. Ha sido diseñado para incluir baterías externas para el almacenamiento energético in situ, pero también puede conectarse a una red. Debido a su carácter modular y su nivel de prefabricación, puede instalarse directamente en el emplazamiento y su mantenimiento, reparación o eliminación resultan muy sencillos. Aunque el módulo está principalmente indicado para su uso como segundo revestimiento del edificio, también podría utilizarse como sistema de claraboya o como un elemento de acristalamiento o de la fachada.

13, 24, 25. The ETFE Multifunctional module, incorporating LEDs with PV technology.

14. A sheet of Light Emitting Diodes (LEDs).

15. Organic photovoltaics.

ASSEMBLING THE ETFE-MFM

16. First a sheet of LEDs is laid on top of a base layer of ETFE film.

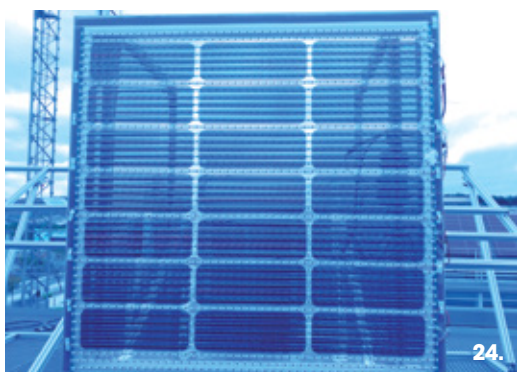
17. A sheet of Ethylene-vinyl acetate (EVA) is placed on the LEDs.

18. Strips of organic PV sheets are attached to the EVA layer.

19. A further sheet of EVA is inserted.

20. The module is completed with a final layer of ETFE.

21-23. The module is sealed under a press.



24.



25.

PROOF OF CONCEPT

WIRKSAMKEITSNACHWEIS

PRUEBA DE CONCEPTO

ETFE MULTIFUNCTIONAL MODULE



Engineer: ITMA Materials Technology, Spain, CENER, Spain, OPVIUS, Germany, Taiyo Europe, Germany, Acciona, Spain

Year: 2017

Location: Avilés, Spain

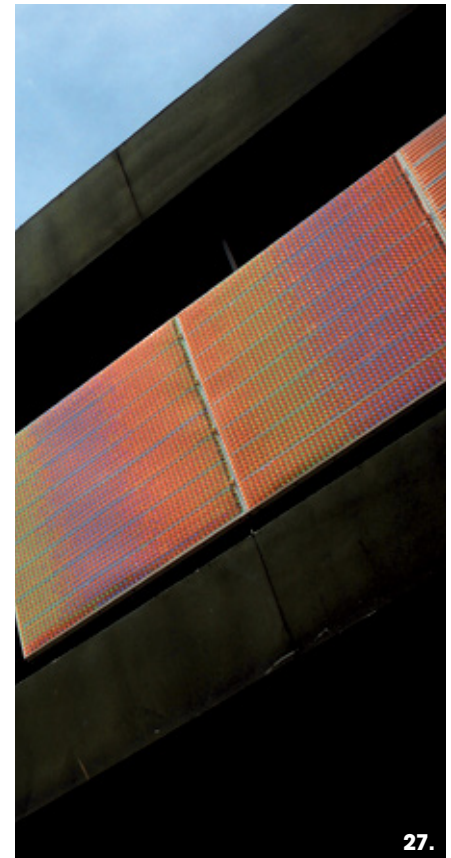
Material: ETFE foil, organic PV, LEDs

Functions: Solar power generation, LED lighting



To test and monitor the newly developed Multifunctional Module in real conditions, four demonstration units measuring 1.5m x 1.5m were installed at ITMA Materials Technology in Avilés, Spain. Two of the modules put the PV on top, with the LEDs showing between the gaps of the PV, while the other two reverse this by using different PV designs with the LED strips on top. **The installation successfully demonstrated this technology for the first time, with the energy generated during the day enough to power the LED display for up to 2.5 hours each evening.**

Um das neuentwickelte Multifunktionsmodul unter realen Bedingungen zu testen und zu überwachen, wurden vier Demonstrationseinheiten von 1,5 m x 1,5 m an der ITMA Materials Technology in Avilés, Spanien, angebracht. Bei zwei Modulen war die PV oben und die LEDs befanden sich in den Spalten der PV, bei den anderen beiden war es umgekehrt: verschiedene PV-Designs mit LED-Leisten obendrauf. **Die Installation war eine erste erfolgreiche Demonstration dieser Technologie. Dabei reichte die tagsüber produzierte Energiemenge aus, um die LEDs abends während 2,5 Stunden anzutreiben.**



Para probar y controlar en condiciones reales el módulo multifuncional recientemente desarrollado, en el centro tecnológico ITMA Materials Technology ubicado en Avilés (España) se instalaron cuatro módulos de demostración con unas medidas de 1,5 m x 1,5 m. Dos de los módulos tienen los sistemas fotovoltaicos en la parte superior, con LEDs entre los huecos de dichos sistemas, mientras que los otros dos módulos invierten este efecto utilizando distintos diseños fotovoltaicos con bandas LED en la parte superior. **La instalación ha demostrado con éxito esta tecnología por primera vez; la energía generada durante el día es suficiente para alimentar la iluminación LED hasta 2,5 horas cada noche.**



“RADICALLY NEW LIGHTING CONCEPT”

David Gómez Plaza and **Armando Menéndez Estrada** are Researchers in the Photonic Area of ITMA Materials Technology, coordinator of the ETFE-MFM project.

What were the main challenges for developing the Multifunctional Module?

The main challenge has been integrating all the components while maintaining their individual functionalities. Requirements from architects in terms of aesthetics have also represented a significant challenge.

What are the main uses of the Multifunctional Module?

The main uses are for single buildings such as stadiums, commercial centres and pavilions, for example, but the project has also considered standardisation for introducing these elements to a broader market, including through retrofitting.

What impact do you expect to see from the research?

Our research will add value to textile architecture, incorporating photovoltaic properties and a radically new lighting concept to the structural material, opening a new market for their use as BIPV. The product will have impact in three emerging fields of modern architecture: BIPV, LED façade lighting and ETFE architecture.

Was waren die größten Herausforderungen bei der Entwicklung des Multifunktionsmoduls?

Die größte Herausforderung bestand darin, alle Komponenten einzubauen und zugleich ihre jeweiligen Funktionsfähigkeiten zu erhalten. Auch die Anforderungen von Architekten an die Ästhetik waren eine bedeutende Herausforderung.

Für welche Zwecke wird das Multifunktionsmodul hauptsächlich genutzt?

Es wird hauptsächlich für einzelne Gebäude wie Stadien, Einkaufszentren und Pavillons genutzt, aber das Projekt sieht eine Standardisierung vor, um diese Elemente für einen breiten Markt, einschließlich im Bereich der Umrüstung, zugänglich zu machen.

Welchen Einfluss erwarten Sie von der Forschung?

Unsere Forschung verschafft der textilen Architektur einen Mehrwert durch das Einbringen von Photovoltaik-elementen und radikal neuen Lichtkonzepten in das Strukturmaterial. Dadurch eröffnet sich ein neuer Markt für die Nutzung als BIPV. Das Produkt wird auf drei aufstrebende Gebiete der modernen Architektur abfärben: BIPV, LED-Fassadenbeleuchtung und ETFE-Architektur.

¿Cuáles fueron los principales retos para desarrollar el módulo multifuncional?

El principal reto ha sido integrar todos los componentes mientras manteníamos sus funcionalidades individuales. Las exigencias estéticas de los arquitectos también supusieron un problema sustancial.

¿Cuáles son los usos principales del módulo multifuncional?

Está indicado principalmente para edificios independientes, como estadios, centros comerciales y pabellones, por ejemplo, pero el proyecto también ha estudiado la estandarización para introducir estos elementos en un mercado más amplio, incluidas las rehabilitaciones.

¿Qué repercusión cree que tendrá la investigación?

Nuestra investigación añadirá valor a la arquitectura textil al incorporar en el material estructural propiedades fotovoltaicas y un concepto de iluminación radicalmente nuevo, abriendo un nuevo mercado para su uso como BIPV. El producto tendrá interés en tres campos emergentes de la arquitectura moderna: BIPV, iluminación de fachadas con LED y arquitectura de ETFE.

FURTHER READING



Galliot, C. & R. H. Luchsinger, 'Uniaxial and biaxial properties of ETFE foils', in, *Polymer Testing*, Vol. 30 (2011)

Hu, J., W.Chen, B. Zhao, & D. Yang, 'Buildings with ETFE foils: A review on material properties, architectural performance and structural behaviour', in, *Construction and Building Materials*, Vol. 131 (2017)

Menéndez, A., (et al.), 'A multifunctional ETFE module for sustainable façade lighting: design, manufacturing and monitoring', in, *Energy and Buildings* (2018)

Moritz, K., *Anhalt University of Applied Sciences Manuscript* (2011)

Pohl, G. (ed.), *Textiles, Polymers and Composites for Buildings* (2010)

Case Study: AWM Carport

• *DETAIL – Review of Architecture*, Vol. 7/8 (2013)

Case Study: Allianz Arena

• *DETAIL – Review of Architecture*, Vol. 9 (2005)

IMAGE SOURCES



0.1 Peter Ackermann

1 INTRODUCTION TO TEXTILE BASED ARCHITECTURE

1.1 Jorge Royan / <http://www.royan.com.ar> / CC-BY-SA 3.0

1.2 Marek / www.picasa.com / CC-BY-SA 3.0

1.3 Wikimedia

1.4 Diego Delso / delso.photo / CC-BY-SA

1.5 Hubert Berberich / CC-BY-SA

1.6 Diego Delso / delso.photo / CC-BY-SA

1.7 Heinze.de

1.8 Karsten Moritz

1.9 Taiyo Europe

1.10 Sony Centre

1.11 Sekretärin / CC-BY-SA 3.0

1.12 Acciona

1.13 Technouwe - CC BY-SA 3.0

1.14 Taiyo Europe

2 ETFE: 'A WONDER MATERIAL'

2.1 Taiyo Europe

2.2 Taiyo Europe

2.3 Taiyo Europe

2.4 Taiyo Europe

2.5 Karsten Moritz

2.6 Taiyo Europe

2.7 Taiyo Europe

2.8 Taiyo Europe

2.9 Taiyo Europe

2.10 Taiyo Europe

2.11 Taiyo Europe

2.12 Taiyo Europe

2.13 Asymptote Architecture

2.14 Daegu City / CC-BY-SA 4.0

2.15 Taiyo Europe

2.16 Taiyo Europe

2.17 Taiyo Europe

2.18 Taiyo Europe

3 ETFE SUSTAINABILITY

3.1 Taiyo Europe

3.2 Taiyo Europe

3.3 Taiyo Europe

3.4 Taiyo Europe

3.5 EditorUOC / CC-BY 3.0

3.6 EditorUOC / CC-BY 3.0

3.7 Acciona

3.8 Acciona

3.9 Issolsa / CC-BY-SA 3.0

3.10 ITMA Materials Technology

3.11 CENER

3.12 Taiyo Europe

3.13 Forgemind ArchiMedia

3.14 Greenovate! Europe

3.15 Greenovate! Europe

3.16 Taiyo Europe

3.17 Taiyo Europe

3.18 Taiyo Europe

3.19 Greenovate! Europe

4 ADVANCING THE STATE-OF-THE-ART

4.1 ITMA Materials Technology

4.2 Taiyo Europe

4.3 Taiyo Europe

4.4 Taiyo Europe

4.5 Taiyo Europe

4.6 Taiyo Europe

4.7 Taiyo Europe

4.8 Greenovate! Europe

4.9 Greenovate! Europe

4.10 Stewart Damonsing / CC-BY-2.0

4.11 Diego Delso / delso.photo / CC-BY-SA

4.12 Greenovate! Europe

4.13 CENER

4.14 ITMA Materials Technology

4.15 ITMA Materials Technology

4.16-23 ITMA Materials Technology

4.24 CENER

4.25 ITMA Materials Technology

4.26 ITMA Materials Technology

4.27 ITMA Materials Technology

4.28 ITMA Materials Technology

4.29 Greenovate! Europe



This manual has been produced by the ETFE-MFM project, which received funding from the European Commission to develop an innovative solution, powered by photovoltaics, for sustainable façade lighting. The project ran from 2013-2017. It brought together a multi-disciplinary team, with outstanding research, technological, manufacturing and business expertise. Coordinated by ITMA Materials Technology, they successfully demonstrated their multifunctional module at scale on a building in Avilés, Spain in 2017.



PARTNERS



National Renewable Energy Centre (ES)
www.cener.com



Acciona Infrastructure (ES)
www.acciona-infrastructure.com



Greenovate! Europe (BE)
www.greenovate-europe.eu



Taiyo Europe (DE)
www.taiyo-europe.com



ITMA Materials Technology (ES)
www.itma.es



OPVIUS (DE)
www.opvius.com

Visit the project website at: www.etfe-mfm.eu

Watch the project video at: www.youtube.com/watch?v=9E9iWST0YHM&t=30s

Coordinator: Armando Menéndez Estrada, ITMA Materials Technology a.menendez@itma.es

Communications: Simon Hunkin, Greenovate! Europe simon.hunkin@greenovate.eu



The ETFE-MFM project has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration under grant agreement No. 322459.

