Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 133 (2007)
Heft: 40: Tageslicht

Artikel: Dschungel erhellen
Autor: Bauert, Martin / Reisinger, Gerhard
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-108174

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

01

DSCHUNGEL ERHELLEN

Das kleine Stück Masoala-Regenwald, das im Zürcher Zoo ab 2002 in eine Halle gepflanzt wurde, beherbergt heute über 17 000 Pflanzen und circa 430 Tiere (TEC21, Heft 33-34 / 2001). Eine hoch lichtdurchlässige ETFE-Dachfolie ermöglicht es den Regenwaldbäumen, in unserer Region zu überleben. Nach fünf Jahren wurde nun erstmals am Objekt überprüft, wie viel Tageslicht das Innere der Halle durch die Folie erreicht.

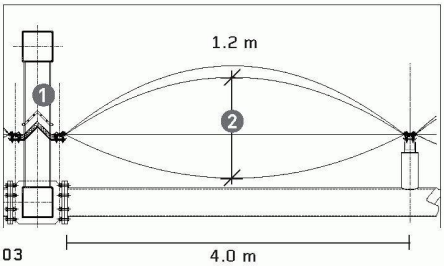
Der Architekt Christian Gautschi schuf mit der Regenwaldhalle im Zoo Zürich ein Gebäude, das dem kälteempfindlichen Masoala-Regenwald-Ökosystem eine geschützte Atmosphäre garantiert. Es galt, die beiden gegenläufigen Bedürfnisse von hoher Lichttransparenz und einem möglichst geringen Energiebedarf fürs Heizen zu vereinen. Eine filigrane, stützenfreie Stahlkonstruktion in Form einer Parabel spannt eine grosse Halle auf, die den tropischen Innenraum vor dem rauen Zürcher Klima schützt. Die zehn Vierendeel-Bogenträger überspannen eine Hallenbreite von 90 m und sind im Scheitel rund 30 m über dem Boden.

DÜNNE LUFTKISSEN ALS DACHHAUT

Die Dachhaut besteht aus dreilagigen Folienkissen aus ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen). ETFE ist hoch transparent für Licht und lässt als eines der wenigen Materialien für Gewächshauseindeckungen auch UVB-Strahlung passieren. Das Material ist extrem widerstandfähig gegenüber chemischer Beanspruchung, UV-stabil und witterungsbeständig. Verunreinigungen haften dank der geringen Oberflächenspannung nicht dauerhaft und werden aussen durch Regen und innen durch Kondensat wieder abgewaschen. ETFE wiegt weniger als 1 % einer gleich grossen Glasplatte. Nur dank diesem Material lassen sich Projekte wie die Masoalahalle zurzeit überhaupt realisieren.
Die drei ETFE-Folien (Aussenlage 200 µm, Mittellage 100 µm, Innenlage Dach 180 µm, Innenlage Fassade 150 µm) sind am Rand zu Kissen verschweisst und in EPDM(Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk)-Gummiprofilen fixiert (Bild 3). Sie haben ein Flächengewicht von 0.81 kg/m² für die Dachhaut und 0.76 kg/m² für die Fassade. Die Kissen mit einem Stich

01 Die tropischen Pflanzen in der Masoalahalle gedeihen selbst im Winter sehr gut
02 Alle 12.5m überspannt einer der zehn Vierendeel-Bogenträger die 120 m lange und 90 m breite Halle (Bilder: Gautschi Storrer Architekten)
03 Schnitt durch die Tragkonstruktion (1) und die dreilagigen ETFE-Kissen (2). Die äusserste Folie dient als Hagelschutz und Verschleissfolie (Grafik: Gautschi Storrer Architekten)

02

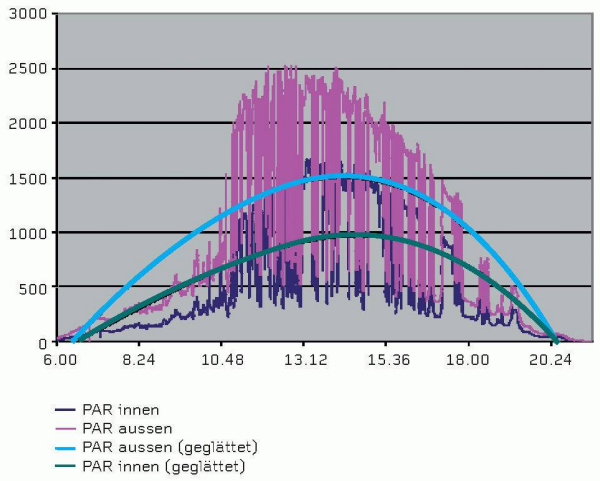


03

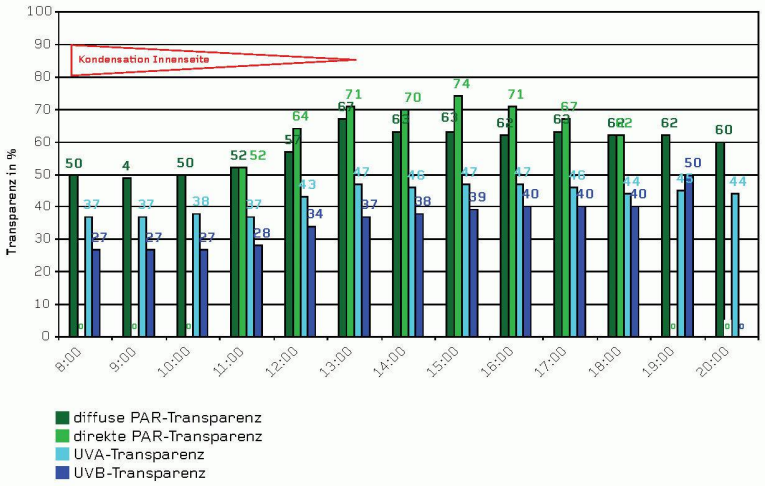
von 1.2 m sind 4 m breit, an den Gebäudeenden 108 m und dazwischen 54 m lang. Sie werden mit trockener Luft je nach Witterungsbedingungen unter einem Druck von 250–500 Pa pneumatisch gespannt. Um die von innen in die Kissen diffundierende Feuchtigkeit abzuführen, werden die Kissen mit einer geringen Luftrate permanent durchströmt. Die gesamte Dachkonstruktion weist entsprechend den Herstellerangaben mit den dreilagigen Kissen einen Wärmedurchgangskoeffizienten von 2.0 W/m²K auf.
Schon während der Bauphase wurde die äusserste Lage der Kissen durch einen Hagelschlag perforiert, was den Austausch der gesamten Dachhülle nötig machte. Die dreilagigen Kissen wurden nach ihrem Austausch mit einer zusätzlichen Folie (ETFE 200 µm) geschützt, die als Verschleissschicht dient und unabhängig von den Kissen ausgetauscht werden kann. Dies hat als Nebeneffekt die Wärmeisolation verbessert, aber auch die Lichttransparenz der Dachhaut reduziert.

WIE VIEL SONNENSTRAHLUNG IST NÖTIG?

Die Sonnenstrahlung beinhaltet kurzwellige, energiereiche ultraviolette Strahlung (UVB, 280–315 nm, UVA, 315–400 nm), das für die Pflanzen «sichtbare» Licht, welches die fotosynthetisch aktive Strahlung darstellt (PAR, 400–700 nm), und die Infrarotstrahlung (IR, 700–2300 nm). Pflanzen und Tiere benötigen zum guten Gedeihen das ganze Spektrum der Sonnenstrahlung. Wichtig sind nicht nur die Wellenlängen im sichtbaren Bereich, sondern auch die für das menschliche Auge nicht sichtbaren Anteile der UV- und der IR-Strahlung. Messdaten zur Sonnenstrahlungstransparenz grosser Gewächshäuser sind in der Literatur kaum zu finden. Selbst Angaben über den minimalen Bedarf von Pflanzen und Tieren an den unterschiedlichen Wellenlängenanteilen der Sonnenstrahlung sind kaum publiziert und noch wenig erforscht. Nach nun fast fünf Jahren Betrieb des Masoala-Regenwaldes im Zoo Zürich interessierte die Bauherrschaft, wie viel Sonnenstrahlung die Gebäudehülle durchdringt und das mittlerweile gut funktionierende Ökosystem mit Sonnenenergie versorgt. Insbesondere sollte gemessen werden, wie gross die Transparenz der nun vierlagigen Dachhaut im UV- und im PAR-Bereich der Sonnenstrahlung ist.



04



05

UV-STRAHLUNG, SICHTBARES LICHT UND IR-STRAHLUNG

UV-Strahlung, die in Zellen eindringt, löst wegen ihrer hohen Energie akute Schäden aus. Auf der anderen Seite ist sie aber für den gesunden Knochenbau bei Mensch und Tieren unerlässlich. Ohne UV-Strahlung wird zu wenig Vitamin D gebildet, und die Knochen erreichen nicht die nötige Stabilität. Insbesondere Reptilien wie Chamäleons und Geckos sind empfindlich auf zu geringen UV-Strahlungs-Genuss.
Die Chlorophylle und andere fotosynthetische Pigmente der Pflanzen absorbieren Sonnenstrahlung im Bereich des für den Menschen sichtbaren Lichtes (400–700 nm = PAR, fotosynthetisch aktive Strahlung). Pflanzen, ausgenommen speziell schattenadaptierte Arten, benötigen in der Regel möglichst viel PAR, um gut zu wachsen. Eine niedrige Fotosyntheserate schwächt auch die Abwehrkraft der Pflanzen gegenüber Schädlingen. Das sichtbare Licht ist auch für die tagaktiven Tiere wichtig, damit sie sich orientieren können. Inwieweit die verschiedenen Lichtanteile auch für das Wohlbefinden der Tiere ausschlaggebend sind, ist bisher noch weitgehend unerforscht.
Die Strahlung im Infrarotbereich ist zu energiearm, als dass Pflanzen diese fotosynthetisch verwerten könnten. Tiere, besonders Reptilien, nutzen diese Strahlung gern, um sich nach einer kühlen Nacht schnell aufzuwärmen.

NEUARTIGE MESSTECHNIK

Von den üblichen Gewächshauseindeckmaterialien sind meist nur Transparenzwerte bekannt, die im Labor bei senkrechter Einstrahlung ermittelt wurden. Transparenzwerte im praktischen Einsatz mit Verschmutzung, Kondensation und für gealterte Materialien sind nur ausnahmsweise verfügbar. Deshalb wurde am deutschen Forschungszentrum Jülich im Rahmen eines vom Deutschen Bundesforschungsministerium finanzierten Projektes im Gartenbau ein spezielles Messsystem entwickelt, mit dem die Transparenz von Eindeckmaterialien im eingebauten Zustand gemessen werden kann. Mit zwei so genannten Tripelsensoren (Gigahertz-Optik, D-Puchheim), die UVA-, UVB- und die PAR-Strahlung gleichzeitig erfassen, wird sekundengenau die Strahlungsintensität im Freien und im Gebäudeinnern aufgezeichnet. Daraus lässt sich dann die Transparenz der Hüllfläche errechnen. Die Geräte sind nicht in der Lage, IR-Strahlung zu messen. Da diese Strahlung für das Pflanzenwachstum und die Tiergesundheit weniger wichtig ist als die übrigen Strahlungsbereiche, konnte diese Messung aber vernachlässigt werden. Am 5. Juni 2007 wurde mit diesem Messsystem die Transparenz der Gebäudehülle des Masoala-Regenwaldes aufgezeichnet. Dabei wurde ein Sensor horizontal, 1 cm unter der Dachhaut im Scheitel der Halle platziert, der andere auf dem Dach des Annexgebäudes im direkten Sonnenlicht. Zusätzlich wurde ein mobiler Sensor eingesetzt, um die Strahlung auf dem Hauptweg der Halle zu messen. Die Sensoren zeichneten zeitgleich alle zwei Sekunden die Strahlungswerte auf.

DIE RELEVANTE STRAHLUNG IST HOCH GENUG

Direkt unter der Dachhaut konnten im Verhältnis zur parallel geführten Aussenmessung bei trockener Innenfolie maximal 74 % PAR bei direkter Sonneneinstrahlung beziehungsweise 67 % PAR bei diffusem Himmel gemessen werden (Bilder 4 und 5). Maximal 47 % der UVA- und 40 % der UVB-Strahlung drangen dabei durch die vierlagige ETFE-Dacheindeckung. Die starke Tropfenkondensation an der Innenseite der Eindeckung vermindert allerdings in den Morgenstunden die Transparenz deutlich. Die PAR-Transparenz wurde dadurch um bis zu 25 %, die UVA- und die UVB-Strahlung um 10 bzw. 13 % vermindert. Die Transparenz in den lichtschwachen Wintermonaten, bei der fast permanent eine starke Tropfenkondensation an der Innenseite auftritt, wird dadurch klar eingeschränkt. Durch die Messung wurde deutlich, dass ein grosser Anteil der für die Fotosynthese relevanten Sonnenstrahlung die Gebäudehülle trotz der nachgerüsteten Hagelschutzfolie durch-

	UVA W / m²	UVB W / m²	PAR µE / m²s
Aussen, direkte Sonnenstrahlung	59.17	1.69	2531
1 cm unter ETFE-Kissen	27.37	0.61	1694
Diffuse Sonnenstrahlung am Boden in der Halle	9.40	0.12	632
Vegetationsschatten am Boden in der Halle	5.3	0.03	278

06

04 Verlauf der PAR-Strahlung am 5. Juni 2007. Die starken Schwankungen sind durch schnell durchziehende Zirruswolken bedingt, die tiefen Werte am Morgen durch eine nebelartige Bewölkung (Grafiken: Autoren)
05 Stündliche Transparenz-Maximalwerte für die Gebäudehülle. Angaben in Prozent der Sonnenstrahlung aussen. Der schnelle Wechsel der Strahlungsintensität ermöglichte es, an einem Tag die Transparenz für diffuse und direkte Sonnenstrahlung zu bestimmen
06 Maximale Einstrahlungswerte gemessen am 5. Juni 2007 ausser- und innerhalb der Halle

AM BAU BETEILIGTE

Bauherrschaft: Zoo Zürich AG
Architekten: Gautschi, Storrer Architekten ETH SIA, Zürich
Landschaftsarchitekten: Kienast Vogt Partner, BSLA, Zürich
Gesamt- und Bauleitung: Bosshard-Partner Baurealisation AG, Zürich
Bauingenieure: MWV Bauingenieure AG, Zürich, abt, Arnheim, Holland
Gebäudetechnik: Getec Zürich AG
Systemingenieure: Kiwi AG, Dübendorf
Akustik, Bauphysik: Wichser Akustik und Bauphysik, Zürich
Hagelschutz: Empa Dübendorf

ZUM MASOALA-REGENWALD

Im Zoo Zürich wächst im Masoala-Regenwald ein authentisches Stück madegassischen Regenwaldes, der als Botschafter für die Schönheit und die Gefährdung dieses einzigartigen Lebensraumes und des gleichnamigen Nationalparks in Madagaskar wirkt. Ziel ist es, ein kleines Ökosystem zu schaffen, das dem natürlichen Vorbild möglichst nahekommt, ohne übermässig viel Energie zu konsumieren. Es wurde deshalb auf eine künstliche Beleuchtung verzichtet, die im Winter zusätzliches Licht für die Pflanzen liefern würde. Das riesige Gewächshaus wird CO_2-neutral mit Holzschnitzeln aus den umgebenden Wäldern und mit Sonnenstrahlung beheizt.

dringt. Selbst im UVB-Bereich, in dem normales Floatglas nur eine minimale Durchlässigkeit aufweist, ist die Transparenz mit etwa 40 % nicht schlecht.
Erstaunlich tief sind die Strahlungswerte am Boden. 20–25 m unterhalb der Dachhaut konnten im diffusen Sonnenschein maximal 25 % PAR, 16 % UVA und 7 % UVB nachgewiesen werden. Diese tieferen Werte sind einerseits bedingt durch den Schattenwurf der Träger und der Rahmen der Hallenkonstruktion, andererseits wird ein Teil der Einstrahlung wieder nach aussen zurückgestrahlt. Im Schatten der Vegetation sinken die Transparenzwerte nochmals deutlich ab: Nur 2–11 % PAR, 1–9 % UVA, 0–2 % UVB sind dort noch verfügbar, obwohl es für das menschliche Auge hell erscheint.

DIE ZUKUNFT: SICHERER, TRANSPARENTER, ENERGIEEFFIZIENTER

Der Einsatz der ETFE-Folie für die Masoalahalle hat sich, trotz der anfänglichen Probleme bezüglich der Hagelsicherheit, bewährt. Es ist im Moment das einzige Eindeckmaterial für grosse Gewächshäuser, das bei guter Wärmedämmung eine schlanke Konstruktion mit wenig Schattenwurf zulässt. Eine noch höhere Transparenz könnte in Zukunft mit einem besseren Kondensatverhalten der ETFE-Folien erreicht werden. Entweder müsste die Tropfenkondensation vermindert werden oder wie bei Glas eine dauerhafte Filmkondensation stattfinden. Zudem sollten Lösungen gesucht werden, um den permanenten Energieverbrauch für das pneumatische Spannen der Folien sowie das Spülen der Kissen mit getrockneter Luft zu vermindern. Dazu müsste die Dampfdiffusion in die Folienkissen reduziert werden. Da Hagelschläge immer wieder auftreten können, wäre auch eine verbesserte Hagelfestigkeit von Vorteil.
Die Pflanzen im Masoala-Regenwald gedeihen sehr gut. Selbst im Winter, wenn die Sonnenstrahlung deutlich eingeschränkt ist, lässt sich ein Wachstum beobachten. Die UV-Strahlung bewirkt, dass die Bäume gedrungener wachsen. Tieren ermöglicht die UV-Strahlung die Synthese von Vitamin D für einen stabilen Knochenbau. Bei den in der Halle aufwachsenden Pantherchamäleons wurden im Gegensatz zu Tieren aus Terrarien ohne UV-Strahlung keine Probleme mit dem Knochenstoffwechsel festgestellt. Es liegt der Schluss nahe, dass die nominal mit ca. 40 % als gering erscheinende UVB-Transparenz der Gebäudehülle offensichtlich genügt, damit Tiere und Pflanzen von der durchaus auch positiven Wirkung der UVB-Strahlung profitieren können.

Martin Bauert, Dr., Kurator Naturschutzprojekte, Zoo Zürich, martin.bauert@zoo.ch
Gerhard Reisinger, Dipl.-Ing. FH, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Chemie und Dynamik der Geosphäre, g.reisinger@fz-juelich.de