

Oekosystemhalle «Masoala Regenwald» ein Naturschutzprojekt des Zoo Zürich

Christian Gautschi dipl. Architekt ETH SIA
Gautschi · Storrer Architekten, Wildbachstrasse 82, 8008 Zürich
christian@gautschistorrer.ch

Zusammenfassung

In der Oekosystemhalle, dem «Masoala Regenwald», wird ein Biotopausschnitt des Regenwaldes der Halbinsel von Masoala dargestellt. Der Zoo Besucher soll beeindruckt sein und dazu motiviert werden, einen Beitrag für die Erhaltung des Regenwaldes auf Madagaskar zu leisten.

Die Architektur zeichnet sich durch die optimale Formfindung und Eingliederung der Halle in die Umgebung aus. Das Zusammenführen von Gebäudetechnik, Statik, Landschaft in eine zurückhaltende, unprätenziöse architektonische Sprache bildet die Basis der Detaillierung.

Der Aufbau des künstlichen, kontrollierbaren Klimas für den «Masoala Regenwald», wird trotz seiner Komplexität mit einer betrieblich einfachen Gebäudetechnik ausgebildet. Diese nutzt den Treibhauseffekt der Hülle und die grossen Dachflächen optimal aus, um einen möglichst vertretbaren ökologischen Energie- und Wasserverbrauch zu gewährleisten.

Résumé

La halle «forêt tropicale de Masoala» reproduit l'écosystème de la presqu'île malgache de Masoala. Elle fournira aux visiteurs du zoo une impression «réelle» de ce biotope menacé et les incitera à s'engager pour la préservation de la forêt tropicale de Madagascar.

L'architecture de cette halle se distingue par sa forme et son insertion optimales dans l'environnement. Un langage architectural discret et réservé exprime jusque dans ses détails la prise en compte globale de la technique du bâtiment, de la statique et du paysage.

Malgré sa complexité, la reproduction artificielle et contrôlable du climat de la forêt tropicale de Masoala est réalisée à l'aide d'installations techniques simples. Celles-ci utilisent de manière optimale l'effet de serre créé par l'enveloppe et la grande surface du toit et maintiennent ainsi la consommation d'eau et d'énergie à un niveau écologiquement acceptable.

Ausgangslage

Die im Bau befindliche Oekosystemhalle ist das Kernstück des im Jahre 1992 formulierten Leitbildes des Zoo Zürich. Das Leitbild stützt sich auf die Welt-Zoo-Naturschutzstrategie, welche auch von der internationalen Naturschutz-Union IUCN mitgetragen wird. Diese Strategie sieht den modernen Zoo als Naturschutzzentrum. Mit dem «Masoala Regenwald» will der Zoo Zürich erreichen, dass wir den Regenwald auch weit ab des originalen Schauplatzes erleben, begreifen und geniessen können. Nur 4 % der ursprünglichen Regenwälder an der Ostküste Madagaskars sind noch intakt. Sie gehören zu den artenreichsten Gebieten der ganzen Erde; auf einer Fläche von 10 x 10 Metern wachsen 100 verschiedene Pflanzenarten, davon kommen 95 ausschliesslich auf Madagaskar vor. Der Zoo selbst engagiert sich zusammen mit den madagassischen Naturschutzbehörden und der Wildlife Conservation Society für die Erhaltung eines der letzten unberührten Paradiese auf dieser Welt.

Zielsetzung

Auf einer Fläche von 10'500m² soll ein möglichst authentischer Ausschnitt des Regenwaldes von der Halbinsel Masoala auf Madagaskar entstehen.

Die ökologischen Zusammenhänge sollen so naturnah und authentisch wie möglich nachvollzogen werden.

Der Besucher bekommt ein möglichst unverfälschtes Naturerlebnis. Konstruktion, Technik und Abtrennungen verschwinden in der Wahrnehmung des Besuchers.

Bau und Betrieb sollen hohen ökologischen Ansprüchen genügen.

Die Wirtschaftlichkeit bildet die Basis des Projektes.



Umsetzung

Die Aufgabenstellung zu Planungsbeginn (1993) war trotz ihrer Komplexität sehr kurz gehalten und offen.

Das Raumprogramm umfasste neben der Halle von ca. 10'000m², einen Annexbau mit Informationszentrum 450m², ein Restaurant für 200 Gäste, ein Foyer mit Zooshop und Betriebsräume sowie die Zentrale für Gebäudetechnik.

In der Halle sind zwei Seen, ein Wasserfall von mind. 7 m Höhe, sowie zwei abtrennbare Bereiche für die Lemuren anzulegen. Die Sichtachsen der Besucher dürfen sich nicht kreuzen. Die Halle hat in Teilbereichen eine lichte Höhe von 30 m auszuweisen und darf nicht über den angrenzenden Wald ragen. Für die Eindeckung der Halle ist ein hoch lichtdurchlässiges Material anzuwenden. Die Klimadaten von Masoala bilden die Basis für das aufzubauende Hallenklima.

Mittels einer Machbarkeitsstudie prüften wir in enger Zusammenarbeit mit dem Zoo, Fachingenieuren, Botanikern und Juristen die Realisierbarkeit eines solchen Projektes. Das Ergebnis führte schliesslich zur Bildung des Planerteams, welches mit der Projektierung des Bauprojektes beauf

tragt wurde. Nach zweimaligen Planungsunterbrüchen von insgesamt 3 1/2 Jahren als Folge einer geforderten Standortverschiebung und Einsparungen, begannen die Bauarbeiten im Frühjahr 2001. Die Eröffnung ist Ende Juni 2003.

Architektur / Projektbeschreibung

Im Zoo werden in enger Folge Lebensräume verschiedenster Form dargestellt.

Vom zoogeographischen Themenbereich Afrika gelangt der Besucher über eine bis zur Unterquerung der Zürichbergstrasse abfallende offene Rampe in die unterirdische Verbindung zur Halle. Mit dem Eintritt in den «Tunnel» taucht man ab und gelangt in einen punktuell mit Oberlichtrohren beleuchteten, akustisch dumpfen Raum, der den Übergang zwischen Aussenwelt und Regenwaldhalle bildet. Erste Informationen stimmen den Besucher auf das Erlebnis ein.

Die Erschliessung der Halle erfolgt über einen stark mäandrierenden Hauptweg und unterschiedlichst ausgebildete, schmale Nebenwege und Pfade.

Das "Guckkastenprinzip" wird abgelöst durch das unmittelbar sinnliche Erlebnis eines gleichermaßen künstlichen und natürlichen Umweltausschnittes. Das Grundprinzip des Dschungels, einer mehrschichtigen, üppigen und unübersichtlichen Pflanzensammensetzung wird durch die Topographie, Wasser- und Wegführung verstärkt.



Am Ende des Hauptweges erreicht der Besucher das Informationszentrum, die «blackbox». Ein in sich geschlossener Raum, mit Aquarien, Terrarien und einer Ausstellung mit Hintergrundinformationen zum «masoala Regenwald» und seinen Bewohnern.

Im Herzen des Annexbaus liegt das Foyer. Die Raumgrenzen zwischen Foyer, Zooshop und Restaurant sind fließend. Die räumliche Differenzierung der Bereiche erfolgt mittels Lichtführung und wechselnden Raumhöhen. Materialisierung und Farbgebung differenzieren und verbinden die Räume gleichermaßen.

Der Gastraum ist als langer schmaler und niedriger Raum ausgebildet. Ein grosses Fenster zur Halle fokussiert den Blick in die erste Landschaftskammer des Regenwaldes mit dem See.

Die Annexbau und die Hallentechnik sind dem Sockelbereich der Halle zugeordnet. Die Technikzentrale bleibt unter Terrain, der Annex tritt an zwei Seiten in Erscheinung, da die Auflager der Halle im Querschnitt einen Höhenunterschied von 5m aufweisen, und dem vorgefundenen gewachsenen Terrain folgen.

Tragstruktur / Foundation

Das transparente Foliendach der 118m langen Halle für den Masoala-Regenwald wird von 10 grossen Virendell Bogenträgern aus Stahl getragen. Die Träger sind 2.30 m hoch und bestehen aus oberem und unterem Gurtträger die alle 4.10 m mit radialen Pfosten verbunden sind. Diese Bogenträger überspannen die Hallenbreite von 91 m. Ihre Scheitel sind rund 30 m über dem tiefsten Punkt des Regenwaldes. Die Bogenträger, die einen Abstand von 12.3 m haben, sind mit Längsträgern aus Stahlröhren verbunden. Mit 2 Windverbänden quer über die ganze Halle wird die Konstruktion ausgesteift. Die Bogenträger wirken als Zweigelenkbogen, das heisst, sie übertragen bei ihren Auflagern grosse Vertikal- und Horizontalkräfte auf die Fundamente.

Die Hallenfundamente liegen teilweise im verschwemmten Moränenmaterial, also in Sand, Lehm und Silt, teilweise im Fels. Falls der Fels erreicht wird, können die Fundamente darin eingebunden und die vertikalen und horizontalen Kräfte direkt in den Fels abgegeben werden. Wo der Fels nicht erreicht wird - dies ist bei ca. 3/4 aller Fundamente der Fall - werden die Lasten mit Pfählen auf den tragfähigen Grund übertragen.

Mittels einem Windkanaltest und einem Bruchversuch der Pneukonstruktion wurde die Dimensionierung derselben optimiert.



Stahlbau

Dachhaut

Die Dachhaut besteht aus dreilagigen Pneus aus ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen). ETFE ist ein Fluorpolymergewebe. Fluorpolymere sind aufgrund ihrer festen Bindung extrem widerstandsfähig gegenüber chemischen und biologischen Beanspruchungen sowie langfristig UV-stabil und witterungsbeständig. Die ETFE Folie hat eine sehr hohe Lichtdurchlässigkeit. Ein weiterer Vorteil gegenüber Glas ist die extrem hohe Durchlässigkeit von Strahlung im UV-Spektrum. Dies ist für das Wachstum und überleben der sensiblen Regenwaldpflanzen notwendig. Dank diesem Material lassen sich Projekte wie der «Masoala Regenwald» überhaupt erst realisieren.

Die Dacheindeckung erfolgt mit dreilagigen Pneus. Die drei Lagen sind am Rand verschweisst und in Profilen gehalten. Die beiden Luftkammern der Pneu werden mit konditionierter Aussenluft (entfeuchtet) und einem Druck von 250 - 500 Pa gespiesen. Die Luft wird 2 – 4 mal pro Tag gewechselt.

Technische Daten der ETFE Folie mit einer Materialstärke von 200µm:

Flächengewicht: 350g/m²

Zugfestigkeit: (N/mm²) 52/52 nach DIN 53 455

Weiterreisswiderstand Folie (N/mm) 430/430 DIN 53 363

Transluzenz in %: 95

Wärmedämmeigenschaft der dreilagigen Pneu (System mit Anschlüssen): 2.0 W/m²*K

UV-Beständigkeit: sehr hoch

Masoala Regenwald: Aussenlage 200µm; Mittellage 100µm; Innenlage 200µm

Gebäudetechnik

Die klimatischen Rahmenbedingungen für den Masoala Regenwald im Zürcher Zoo sind analog jenen, die in Madagaskar auf der Halbinsel Masoala vorherrschen. Diese Eckdaten bilden für die Gebäudetechnik die anspruchsvollen Rahmenbedingungen. Es sind dies:

Raumtemperatur:	18 - 35 °C (12 °C als absolutes Min. während wenigen Stunden pro Jahr, Bsp. Stromausfall)
Raumluftfeuchte:	65 - 100 % r. Feuchte
Wassertemperatur der Seen:	20 - 24 °C
Beregnungsmenge:	2200 mm/a, ca. 80 m ³ /Tag (Zürich ca. 1350 mm/a)
Temperatur Beregnungswasser:	17 – 20 °C
Qualität des Regenwassers:	analog Regenwasser in Zürich (weiches Wasser)

Energieversorgung

Der Zoo Zürich wird mittels zentraler Holzschnitzelheizung mit Wärme versorgt. So auch der zukünftige Masoala Regenwald. Als Spitzendeckung stehen im Betriebsgebäude, wo die zentrale Wärmeenergiezentrale untergebracht ist, zwei Gasheizkessel zur Verfügung. Die notwendige Wärmeleistung von 1'500 kW ist bereits bei der Realisierung der Holzschnitzelanlage berücksichtigt worden. Die Wärmeenergieerzeugung erfolgt weitgehend mit CO₂-neutralem, einheimischem nachwachsendem Brennstoff (Holz).

Belüftung der Halle

Der Masoala Regenwald wird ausschliesslich über die Luft konditioniert. Auch die Beheizung erfolgt zu 100 % über die Luft. Die Lüftungsanlage ist eine einfach Umluftanlage mit Filter, WRG Registern, Luftheritzer, Ventilatoren und Schalldämpfern. Durch die enorme Grösse der Anlage ist die Lüftungsanlage nicht in einem Monoblock untergebracht, sondern direkt im luftführenden Kanal, welcher die oben genannten Elemente aufnimmt. Die Hallenluft kann von zwei Orten in der Halle angesogen werden, am tiefsten Punkt, um „Kaltluftseen“ in der Halle zu verhindern und im Firstbereich bei hohen Raumtemperaturen. Ein geringer Aussenluftanteil garantiert eine dauernde Erneuerung der Hallenluft. Die Rückluft wird längsseitig mit 52 Auslässen im Traufbereich der Halle wieder zugeführt.

Bei Temperaturen über 40 °C in der Halle und geladenem WRG Speicher muss die Ueberschusswärme weggelüftet werden. Dies geschieht durch Klappen an der Gebäudehülle. In erster Sequenz werden die Klappen im First geöffnet. Dadurch bleibt das Klima im unteren Bereich der Halle mehrheitlich unberührt und nur der warme Firstbereich wird entlüftet. Dadurch kann ein all zu grosser Feuchteverlust durch den Austausch mit dem trockenen Aussenklima minimiert werden.

Bei Aussentemperaturen über 12 °C können zusätzlich die Klappen im Traufbereich geöffnet werden. Dadurch wird verhindert, dass kalte trockene Aussenluft die empfindliche Biologie der Masoala-Pflanzen schädigt.

Wärmehaushalt

Durch die hohe Transparenz kann der Treibhauseffekt genutzt werden. Dieser funktioniert bereits bei geringer Strahlung und hilft, die Halle „solar“ zu erwärmen. Im Jahresschnitt wird die Halle sogar einen Wärmeüberschuss haben. Die enormen Energiemengen können aber nur über kurze Perioden gespeichert und wieder genutzt werden. Eine saisonale Speicherung der Wärme wäre eigentlich hoch interessant, lässt sich aber kaum finanzieren und die Verfügbarkeit (schnell grosse Energiemengen zu transferieren) ist ebenfalls kaum lösbar.

Steigt die Hallentemperatur über 30 °C, wird die Umluftanlage angefahren und die Hallenluft am höchsten Punkt der Halle unter dem First angesaugt. Die warme Umluft wird über den Wärmerückgewinnungsregistern abgekühlt und der Halle wieder zugeführt. Die der Umluft entzogene Wärme wird mittels eines Wasserkreislaufs in einen 250 m³ grossen Wärmerückgewinnungs Tank eingelagert. Dieser WRG Tank wird sich dabei auf maximal 40 °C erwärmen. Ist der WRG Tank geladen und steigt die Hallentemperatur weiter, wird die Lüftung ausgeschaltet und die Lüftungsklappen der Halle werden geöffnet.

Sinkt am Abend die Hallentemperatur unter 18 °C, wird die Umluftanlage wiederum angefahren. Im Gegensatz zum Tagesbetrieb wird nun die Luft am tiefsten Punkt in der Halle über einen Erdkanal angesaugt. Dadurch wird die kälteste Luft in der Halle direkt angesaugt und die Entstehung von Kaltluftseen in der Halle wirkungsvoll verhindert. Die Umluft wird nun durch das WRG Register mit der Ueberschusswärme des Tages wieder erwärmt. Reicht das Temperaturniveau im WRG Tank nicht mehr aus, oder ist der WRG Tank vollständig entladen, wird die Umluft in den Luftherzern mittels Fernwärme aus dem Betriebsgebäude (Holzschnitzel) erwärmt.

Durch dieses ausgeklügelte aber sehr einfache System kann der Bedarf an fossiler Energie, wenn auch durch die Holzschnitzelheizung ökologisch erzeugt, wirkungsvoll reduziert werden. Es findet ein eigentlicher Tag- Nachtausgleich statt. Dieser Ausgleich ist im Winter trotz grossen Wärmege winnen negativ. Das heisst, es besteht ein zusätzlicher Bedarf an Holzschnitzelwärme. Bereits in der Uebergangszeit im Frühling wird es aber möglich sein, die Beheizung ausschliesslich mit der WRG zu erfüllen.

In der Übergangszeit und im Sommer, wenn die Fernheizung nicht mehr benötigt wird, erfolgt die Erwärmung des Warmwassers für das Restaurant, die Küche und den Rest des Annexgebäudes ausschliesslich mit Überschusswärme aus der Halle und Abwärme der gewerblichen Kälteanlage.

Gebäudemanagement

Die verschiedenen Anlagen und Aggregate müssen optimal aufeinander abgestimmt sein. Dies geschieht durch eine übergeordnete Leit- und Managementebene. Nur so wird es möglich sein, die verschiedensten Parameter zu erfassen, zu verarbeiten und die einzelnen Stellglieder der Anlage anzusteuern.

Die Anlage basiert auf einem möglichst einfachen Konzept, welches jederzeit durch den Betreiber überblickbar ist. Die Flexibilität der Anlagen wird durch modularen Aufbau gewährleistet. Leistungsreserven sind als Platzreserven ausgewiesen, werden aber heute anlagentechnisch nicht realisiert. Dadurch kann auch eine komplexe Anlage, wie die des Masoala Regenwaldes im Betrieb weiter optimiert werden. Durch das Messkonzept wird es ebenfalls möglich sein, die bereits in der Projektphase prognostizierten Betriebskosten im Griff zu haben, resp. weiter zu optimieren. Mittels PC kann der Betreiber jederzeit und überall auf die Anlagen zugreifen und deren Betriebszustand abfragen.

Das Hallenklima mit den entsprechenden Temperaturverläufen wurde mittels einer aufwändigen Simulation analysiert. Aufgrund der Simulation konnte auf eine ursprünglich vorgesehene Wärmepumpe, welche zur verstärkten Nutzung der Hallenabwärme hätte eingesetzt werden sollen, verzichtet werden. Die Simulationen zeigten, dass die Investitionskosten durch den zusätzlichen Nutzen kaum amortisierbar wären.

Beregnung und Befeuchtung

Um den enormen Wasserbedarf für die Beregnung überhaupt wirtschaftlich tragbar zu machen, das heisst, ohne das Trinkwassernetz dauernd zu beanspruchen, wird das Regenwasser, welches auf das Hallendach und das Annexgebäude fällt, gesammelt und in zwei Zisternen mit je 500 m³ gestapelt.

Täglich wird Regenwasser aus der Zisterne in zwei Tagestanks von je 40m³ gepumpt. Über Zirkulation wird der Wasserbedarf für einen Tag aufbereitet und vorbereitet, so dass in den frühen Morgenstunden die Beregnung der Halle in Betrieb gehen kann. Die Beregnungsanlage mit den ca. 140 Beregnungsdüsen ist in 6 Sektoren geteilt. Dadurch müssen die Beregnungspumpen nicht die volle Leistung erbringen und können ebenfalls kostengünstiger ausgelegt werden. Aus dem selben Grund wird mit Tagestanks gearbeitet, um die Wasseraufbereitung und die Erwärmung des Beregnungswasser während des ganzen Tages bei geringer Leistung erbringen zu können. Die eigentliche Beregnung dauert lediglich 2 Stunden. Die Erwärmung des Beregnungswassers auf 20 °C erfolgt ebenfalls mit Wärme aus dem WRG Tank.

Damit der Feuchtegehalt in der Halle aktiv beeinflusst werden kann, wird parallel zur Beregnung eine Befeuchtungsanlage realisiert. Diese ist ebenfalls am Hallendach installiert. Sinkt die Feuchte in der Halle, kann jederzeit befeuchtet werden. Darüber hinaus kann bei hohen Temperaturen im Firstbereich der Halle mit der Befeuchtungsanlage befeuchtet und durch die adiabatische Wirkung die Luft gekühlt werden. Dadurch wird wirksam verhindert, dass die Aussenluftklappen zu oft geöffnet werden müssen und die Feuchte in der Halle dadurch „verloren“ geht.

Bach- und Seenkreislauf

In der Halle sind zwei unabhängige Seensysteme mit total ca. 500 m³ Inhalt. Die Seen sind mit Bächen verbunden, welche 100 lt/s (Wasserfall) und 50 lt/s führen. Diese Bach-Seen-Systeme funktionieren durch Umwälzung der geforderten Wassermengen. Um die Förderenergie der Pumpen zu reduzieren, wird die Zirkulationsmenge nach Besuchsschluss um 50 % reduziert.

Daten Wärme

Wärmeleistungsbedarf:	1'500 kW _{18 - 35°C} (12°C als absolutes Min. während h/a)
Heizenergiebedarf:	ca. 650'000 kWh/a
WRG (Tag-/Nachtausgleich)	170'000 kWh/a (ca. 25%)
Wärmeenergiebedarf spezifisch	65 kWh/m ² *a (234 MJ/m ² a)
Max Speicherkapazität bei ΔT von 15 K	4'500 kWh

Daten Klima:

Umluftmenge Halle	140'000 m ³ /h
2 Umluftventilatoren drehzahlreguliert	je 70'000 m ³ /h
Max. Aussenluftmenge	20'000 m ³ /h
Anzahl Zuluftdüsen	52 Stück
Abluft	betonierter Kanal an tiefster Stelle und ein Abluftkamin ca. 25 m Höhe

Daten Wasser:

Beregnungsmenge	2'200 mm/a oder ca. 80 m ³ /d
Befeuchtungsmenge	max. ca.4 m ³ /h Befeuchtungsleistung
Seensystem 1	Umwälzmenge 100 lt/s
Seensystem 2	Umwälzmenge 50 lt/s

Ausblick

Die Projektierung und Realisierung dieses Projektes stellt an den Auftraggeber, die Planer und Unternehmer hohe Anforderungen. Teamfähigkeit, offenes Denken, Flexibilität und die Gabe, die eigene Arbeit ständig kritisch zu hinterfragen sind notwendig. Während der verschiedenen Planungsphasen und während der Realisierung führten immer wieder neue Erkenntnisse zur Überprüfung der Konzepte, zu Änderungen und Optimierungen.

Der «Masoala Regenwald» soll nicht durch seine Grösse beeindrucken. Wie in einem Ökosystem, wo unterschiedlichste Faktoren ineinanderspielen und die Zerstörung eines Systemträgers nicht vorhersehbare Folgen haben kann, soll der Bau in seiner Gesamtheit wirken. Wir hoffen, dass dieses Projekt einen nachhaltigen Beitrag zur Sensibilisierung für den Schutz und Erhalt der Regenwälder und darüber hinaus leistet.

Literaturhinweise / Quellennachweis:

Masoala Regenwald, Zoo Zürich, 03/2001; download auf www.masoala.ch
Beschrieb Gebäudetechnik, Februar 2002, Heinz Rüger, Getec Zürich AG
Detail, Zeitschrift für Architektur + Baudetail; Bauen mit Membranen,
Serie 2000/6, ISSN 0011-9571

Planungsteam

Architekten:	Gautschi Storrer Architekten ETH SIA, Zürich
Landschaftsarchitekten:	Kienast Vogt Partner, Landschaftsarchitekten BSLA, Zürich
Gesamt- u. Bauleitung:	bosshard-partner baurealisation ag, Zürich
Bauingenieure:	MWV Bauingenieure AG, Zürich; abt, Arnhem_NL
Gebäudetechnik:	Getec Zürich AG, Zürich; Systemingenieure Kiwi AG, Dübendorf
Akustik / Bauphysik:	Wichser Akustik und Bauphysik, Zürich
Lichtplanung:	mosersidler, Zürich
Baustellenführungen:	Zoo Zürich, 01 254 25 00