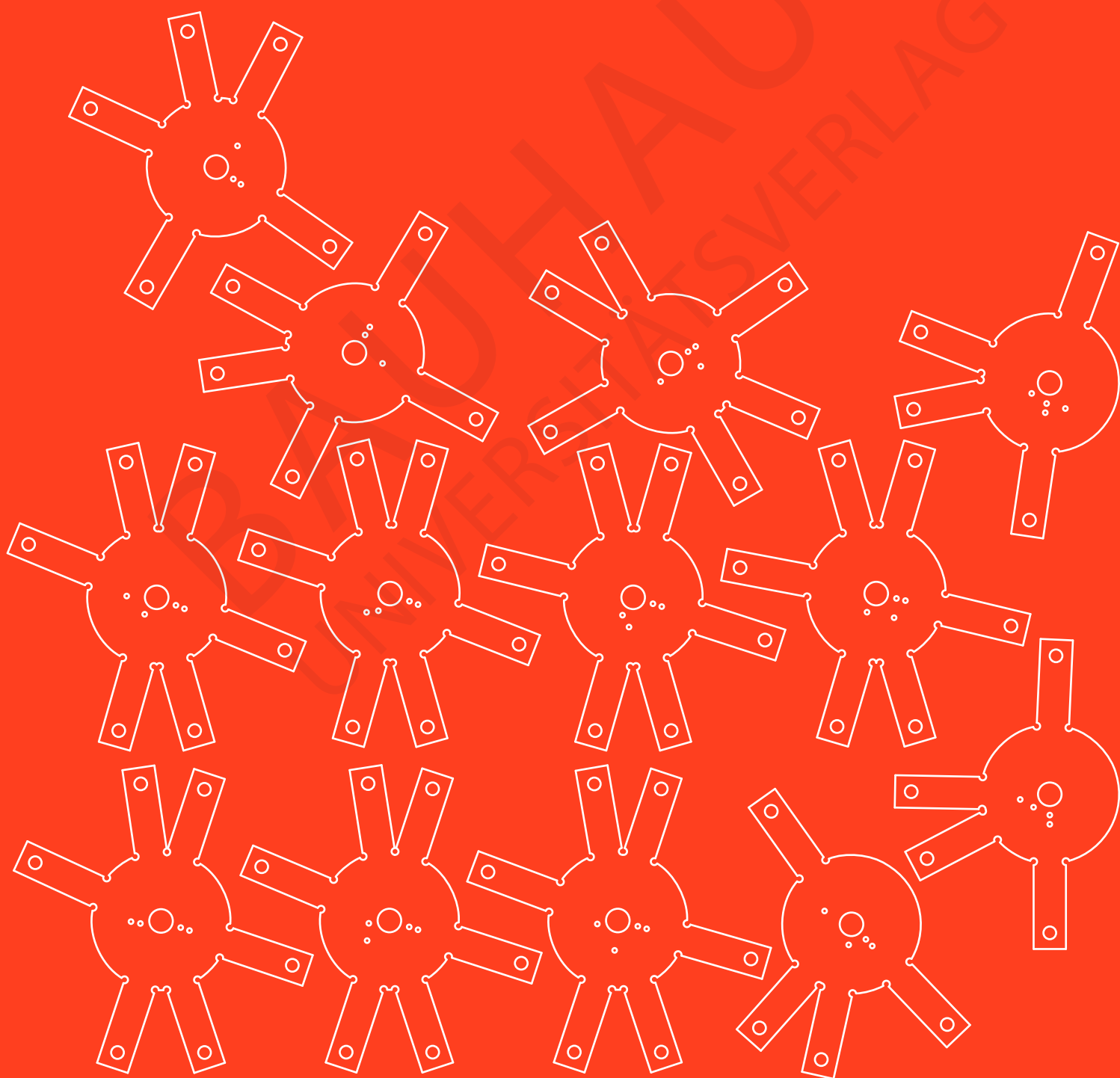


Alexander Stahr

Das wohltemperierte Netz

Zum Konstruktiven Entwurf direkt verglaster Stabnetze auf Freiformflächen
Dissertation



Das wohltemperierte Netz

Zum konstruktiven Entwurf direkt verglaster Stabnetze auf Freiformflächen

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur

an der Fakultät Architektur

der

Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Alexander Stahr

geb. am 13.01.1973

in Bad Frankenhausen

Weimar, 2008

Gutachter

1. Prof. Dr.-Ing. Jürgen Ruth
2. Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack
3. Prof. Dr. sc. techn. Josef Trabert

Kurzfassung

Direkt verglaste Stabnetze repräsentieren ein strukturell und geometrisch hochgradig variables Prinzip zur Realisierung transparenter architektonischer Freiformflächen. Dieses beinhaltet die funktionale Entkopplung der Fassadenkonstruktion in ein tragendes Stabnetz und eine hüllende Verglasung. Ein formal universales, dimensional variables Knotenelement bildet dabei das Herzstück der Konstruktion.

Die vorliegende Arbeit widmet sich dem konstruktiven Entwurf frei geformter, direkt verglaster Stabnetze. Dieser umfasst schwerpunktmäßig die formale und dimensionale Konzeptionierung der Knotenelemente. Er wird maßgeblich beeinflusst von der Dimensionalitätsdifferenz zwischen dem formbeschreibenden Flächennetz aus nulldimensionalen Knoten und eindimensionalen Kanten sowie dem Stabnetz aus dreidimensionalen Knoten bzw. Stäben. Darüber hinaus definieren das freiformbedingte Erfordernis einer unikaten Ausrichtung der Stabnetzelemente sowie die materialspezifische Anforderung einer zwängungsfreien Lagerung der Gläser weitere dominante Einflussgrößen im Entwurfsprozess.

In der Arbeit werden zunächst die geometrischen und konstruktiven Randbedingungen des konstruktiven Stabnetzentwurfs dargestellt. Darauf aufbauend wird ein Zylinder-Achsen-Modell entwickelt, welches die unikate lokale Situation am Knoten unter Berücksichtigung einer variablen Ausrichtung der Stabnetzelemente sowie beliebig polygonaler Stabquerschnitte abstrahiert. Die Modellierung ermöglicht eine Bewertung des knotenbezogenen Status unter konstruktiven und mechanischen Aspekten. Sie bildet somit die Grundlage für eine konstruktive Optimierung direkt verglaster Stabnetze.

Mit Hilfe des Zylinder-Achsen-Modells werden alle bisher bekannten Prinzipien zur Ausrichtung der Stabnetzelemente analysiert. Dabei offenbaren sich verschiedene Defizite. Zu deren Überwindung werden drei neuartige Lösungsansätze entwickelt. Eine alternative Methode dient folglich zur Bestimmung einer konstruktiv optimierten Ausrichtung der Knotenachse. Ein zweiter Ansatz zielt auf die Definition einer neuartigen Stablängsbezugsachse, welche unabhängig von der Flächenkrümmung eine zwängungsfreie Lagerung der Glaselemente gewährleistet. Schließlich ermöglicht das dritte innovative Prinzip die konsistente Bestimmung einer Stabquerachse auch bei nicht ebenen Viereckmaschen.

Abstract

Direct glazed lattice grids represent a structural and geometrical highly variable constructive approach for the realisation of transparent architectural freeforms. This principle is characterised by a functional decoupling of the cladding construction into a loadbearing grid of members and nodes on the one hand and covering glass panels on the other. A formal universal but dimensionally variable node builds the core of the construction.

This work addresses the constructive design of freeformed, direct glazed grids. This primarily implies the formal and dimensional design of the nodal elements. The design is significantly influenced by the difference of mesh dimensions, which describe the freeform and consist of zero-dimensional vertices and one-dimensional edges, as well as by the structural grid, made up of three-dimensional members and nodes. Moreover the free form determines a need for individual adjustment of all structural elements. Furthermore material-specific demands regarding restrained-free bearing of the glass panels define further dominant parameters in the design process.

First of all geometrical and constructive edge conditions of the constructive grid design were described in this work. Based on this a cylinder-axle-model was developed. This model abstracts individual local situations at the nodes including variable adjustment of the structural grid elements as well as variable cross-section of the members. The model allows evaluation of the nodal status in relation to constructive and mechanical aspects. It provides a basis for constructive optimisation of direct glazed structural grids.

With the aid of this model state-of-the-art approaches for the adjustment of structural elements relative to the form describing surface mesh were analysed. Several shortcomings were observed which can be solved through three new approaches developed within this work. The first approach describes an alternative method for the determination of a constructively optimised orientation of the nodal axis. The second one describes a method for a restrained-free bearing of the glass panels independent of their local curvature through definition of a new longitudinal member-axis. The last approach defines a new methodology for the determination of an axis crosswise the edge of the mesh even for non planar quadrilateral meshes.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	7
1.1	Stabnetze auf Freiformflächen	7
1.2	Motivation	8
1.3	Ziel und Ansatz	9
1.4	Aufbau der Arbeit	10
2	Freiformflächen	12
2.1	Amorphe Formen in der Architektur	12
2.2	Geometrische Eigenschaften	13
2.3	Formfindung	15
2.3.1	Bewegflächen	15
2.3.2	Gleichgewichtsflächen	17
2.3.3	Modellierflächen	19
2.4	Geometrische Flächennetze	21
2.4.1	Netzstrukturen	22
2.4.2	Topologische Merkmale	24
2.4.3	Geometrische Eigenschaften	25
2.4.4	Netzgenerierung	27
2.4.5	Netzmanipulation	28
2.5	Konstruktive Flächennetze	29
2.5.1	Knotenachse	29
2.5.2	Kantennormale	31
2.5.3	Polare Winkel	32
3	Glas als Hüllelement	34
3.1	Konstruktiver Glasbau	34
3.2	Mechanische Eigenschaften	35
3.3	Funktionsgläser	36
3.4	Einbaulage	38
3.5	Direkte Verglasung	39
3.6	Kontextspezifische Probleme und bekannte Lösungen	42
4	Konstruktiver Knotenentwurf	44
4.1	Prinzip Stabnetz	44
4.1.1	Entwicklung	44
4.1.2	Strukturmodell	47
4.1.3	Funktionen	49
4.1.4	Aktuelle Bauformen	49

4.2	Stäbe	53
4.2.1	Anforderungen an die Stäbe	53
4.2.2	Basisstäbe	54
4.2.3	Stabenden	55
4.2.4	Ausrichtung der Stablängsachse	56
4.3	Verbindung und Knotenform	57
4.3.1	Anforderungen an die Verbindungen	57
4.3.2	Schweißverbindungen	58
4.3.3	Schraubverbindungen	59
4.3.4	Steckverbindungen	62
4.4	Knotendimensionen	63
4.4.1	Anforderungen an die Knoten	64
4.4.2	Knotenhöhe	64
4.4.3	Knotenradius	66
4.4.4	Deckfläche und Verglasung	67
5	Zylinder-Achsen-Modell	69
5.1	Konzeption	69
5.2	Status der unabhängigen Entwurfsparameter	71
5.3	Konstruktiv-geometrische Indikatoren	72
5.3.1	Schnittpunktradius	72
5.3.2	Mittelachsenversatz	74
5.3.3	Schwerachsenversatz	76
5.3.4	Randkantenversatz	78
5.4	Beispiel MYLOMESH	80
6	Steuerbarkeit der Lokargeometrie	86
6.1	Knotendimensionen	86
6.1.1	Radius	86
6.1.2	Höhe	88
6.1.3	Volumen	89
6.2	Ebenheitsmaß	91
6.3	Lokale Tragqualität	92
6.4	Verglasbarkeit	93
7	Konstruktive Optimierung der Lokargeometrie	95
7.1	Ausrichtung der Knotenachse	95
7.1.1	Berechnungsalgorithmen	96
7.1.2	Ansatz K3	96
7.1.3	Ebenheitsmaße und Knotendimensionen	97
7.1.4	Grenzen	99
7.2	Ausrichtung der Stablängsachse	101
7.2.1	Stabquerschnitt und Nachbarmaschen	102
7.2.2	Ansatz L3	103
7.2.3	Knotendimensionen und Ebenheitsmaße	104
7.3	Ausrichtung des Stabquerschnitts	105
7.3.1	Erweiterte Maschengometrie	106
7.3.2	Ansatz Q2	106
7.3.3	Streuung der Rotationswinkel	107
8	Resümee und Perspektive	108

BAUHAUS
UNIVERSITÄTSVERLAG