

Sistemas estruturais

Imagens extraídas do livro “Tragsysteme” de Heino Engel

Apoio didático à aula 11 do curso PEF2604

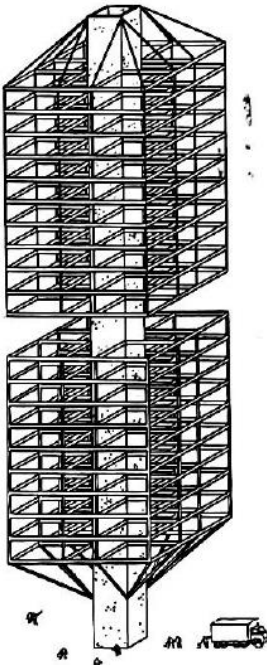
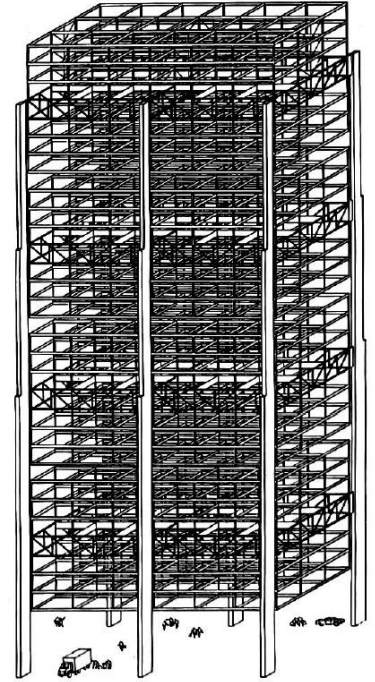
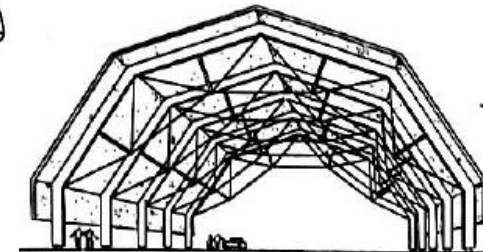
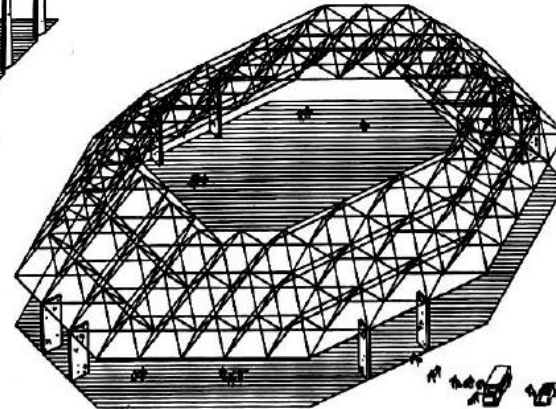
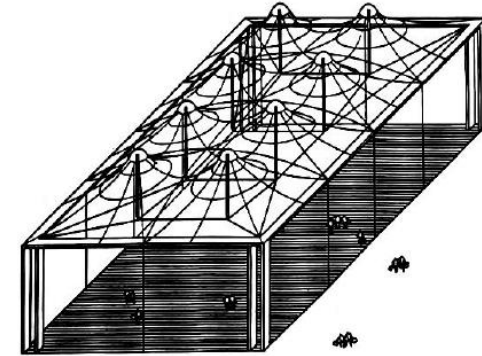
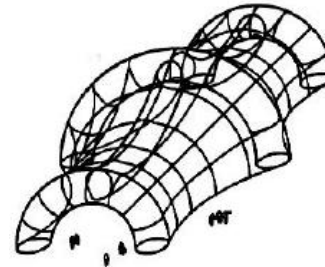
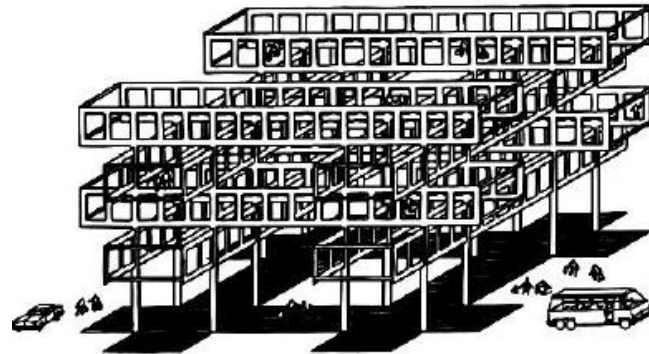
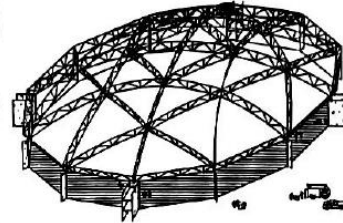
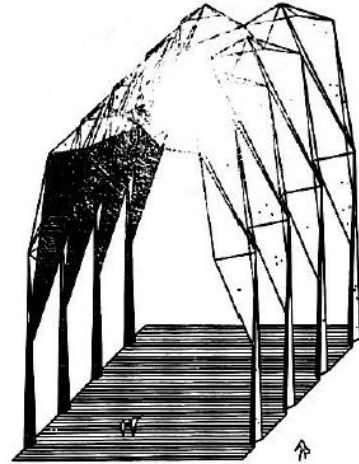
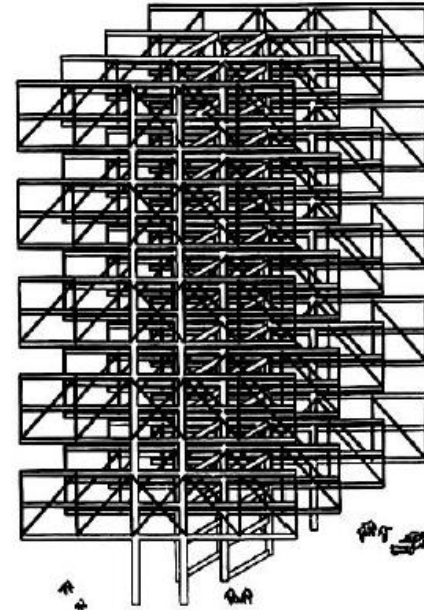
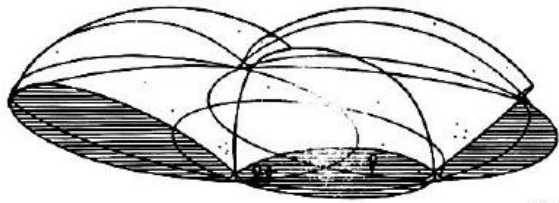
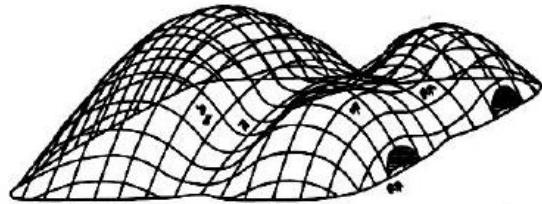
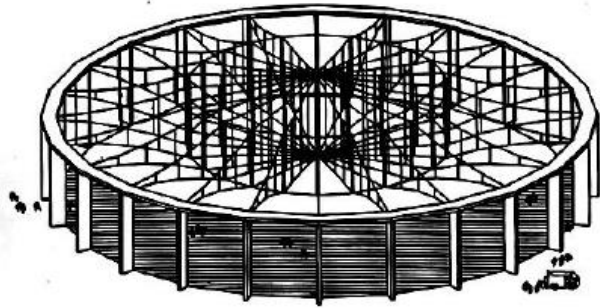
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Prof. Pedro Almeida e Prof. Martin Schwark

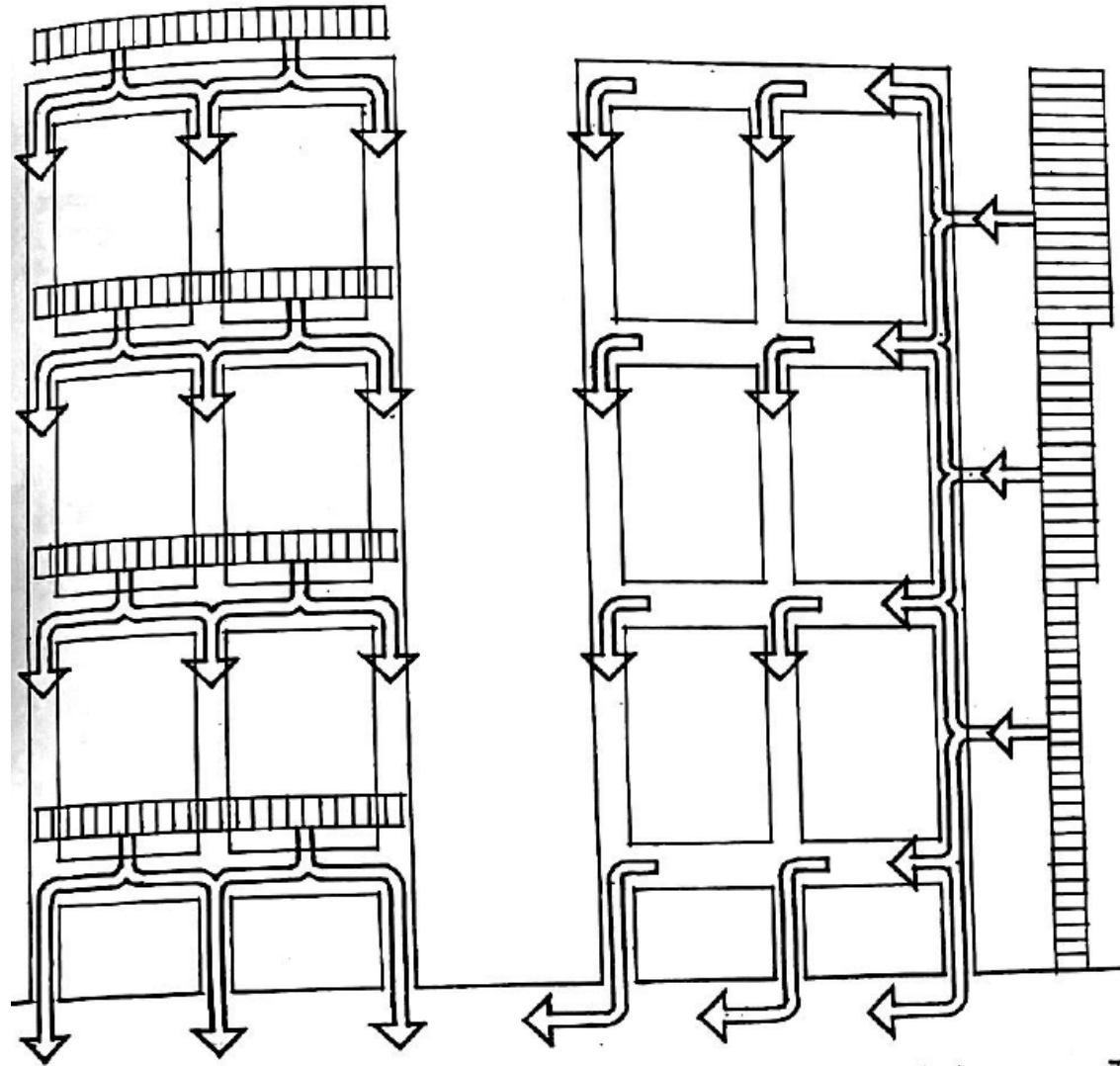
Tragsysteme

Heino Engel

Structure Systems



Verlag Gerd Hatje



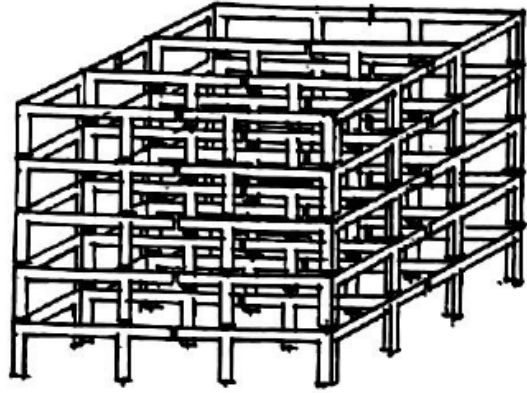
Function of height-active structure systems

Height-active structure systems are devices for the control of height loads, i.e. their reception, their transfer to the ground, and their discharge (= load grounding):

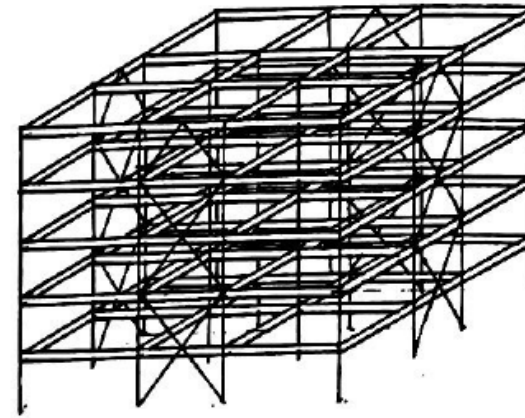
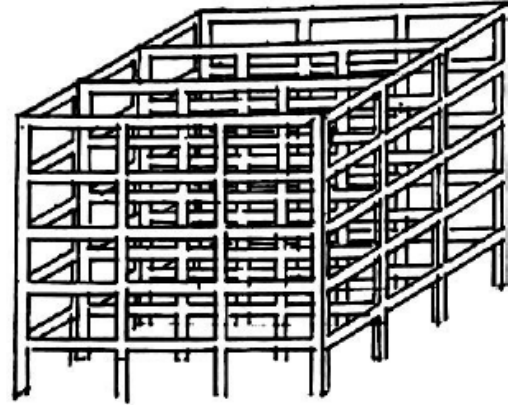
- 1 the vertical loads incurring in elevation, i.e. above ground surface = roof loads and storey loads
- 2 the horizontal loads effected by height extension = wind loads and vibration loads

Height loads incur in every building. The taller the building is, the greater is the influence of the bearing device on the building form

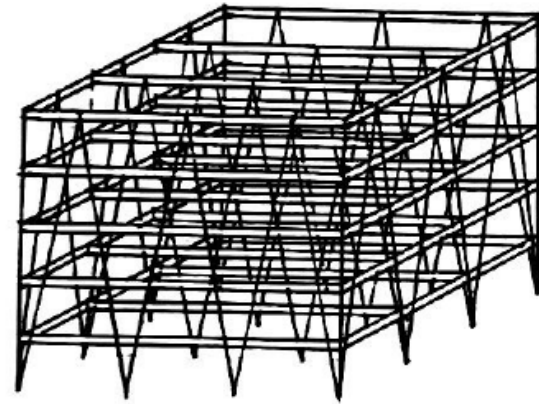
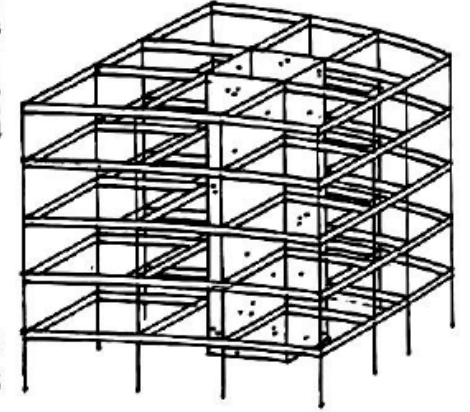
5.1 Raster-Hochwerke / Bay-type highrises



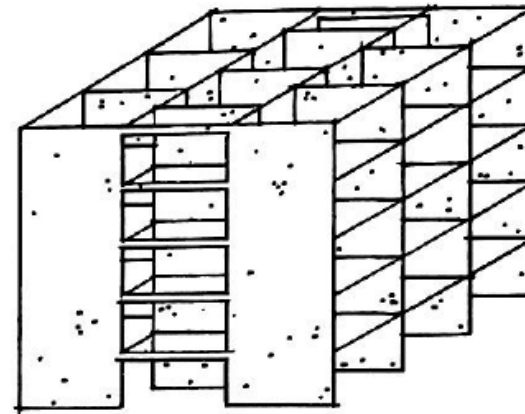
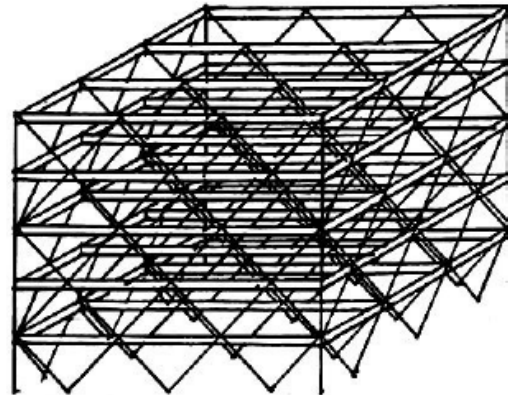
Rahmen-Rastersysteme
Framed bays systems



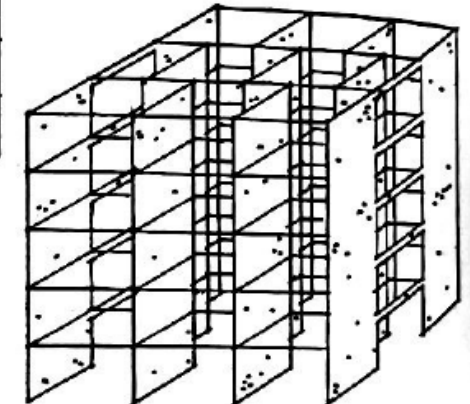
Stabilisierte Ständer-Rastersysteme
Stabilized post-beam bays systems



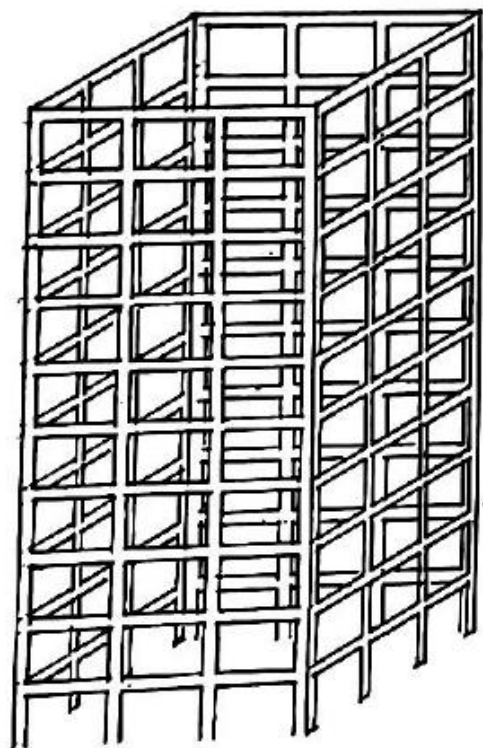
Fachwerk-Rastersysteme
Trussed bays systems



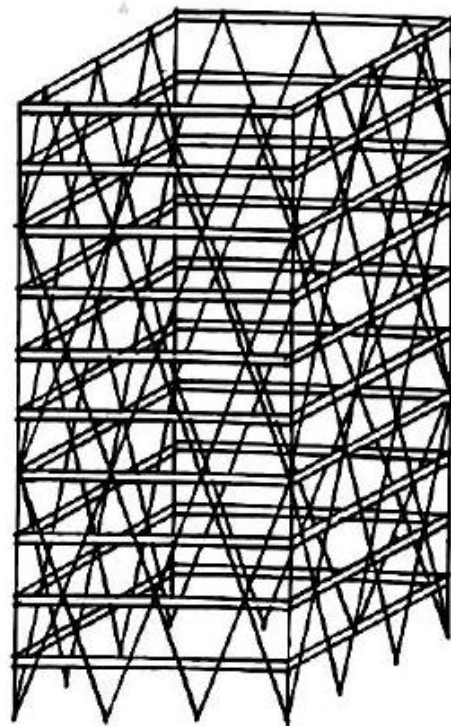
Scheiben-Rastersysteme
Shear wall bays systems



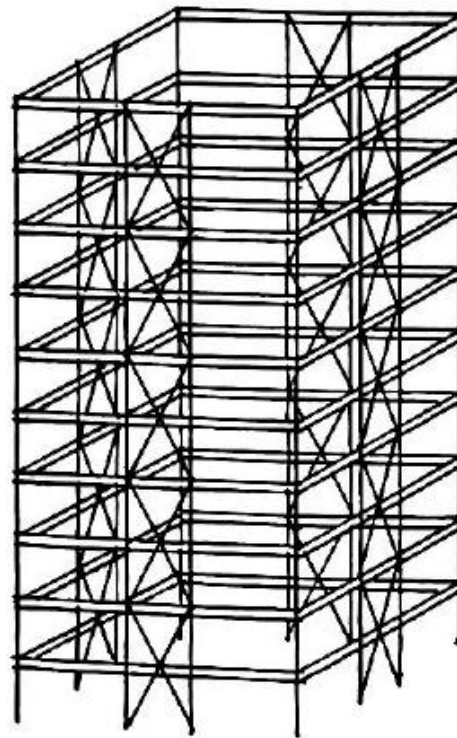
5.2 Mantel-Hochwerke / Casing highrises



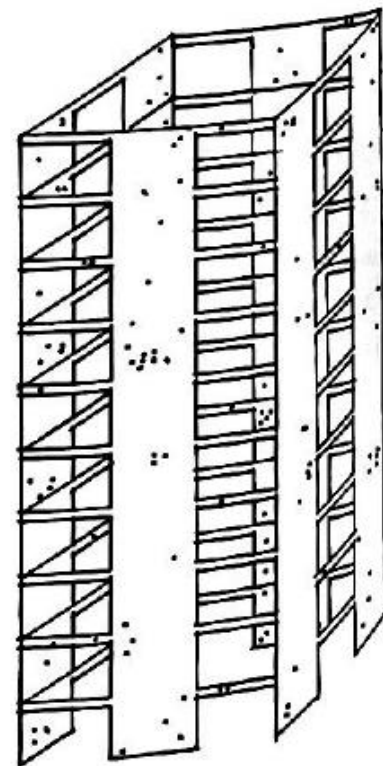
Rahmen-Mantelsysteme
Framed casing systems



Fachwerk-Mantelsysteme
Trussed casing systems

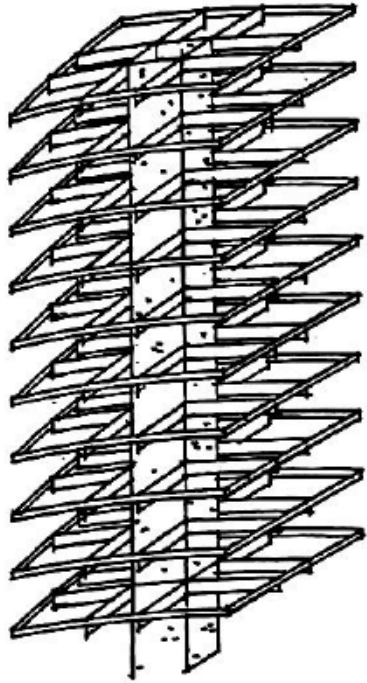


Stabilisierte Ständer-Mantelsysteme
Stabilized post-beam casing systems

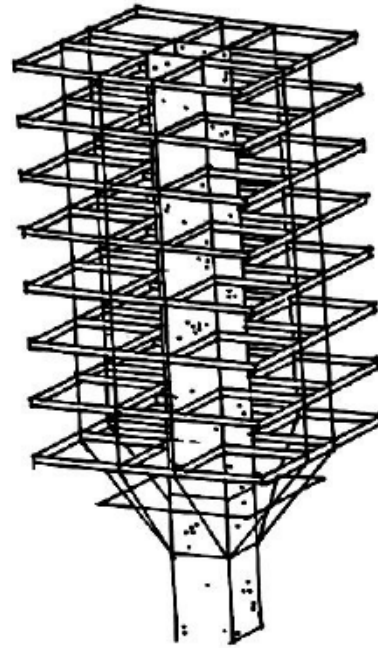
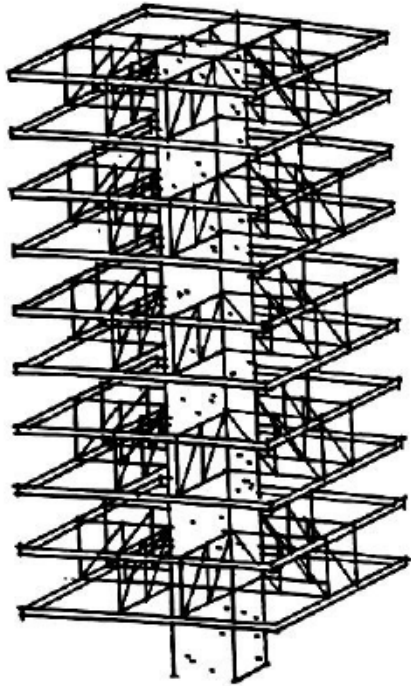


Scheiben-Mantelsysteme
Shear wall casing systems

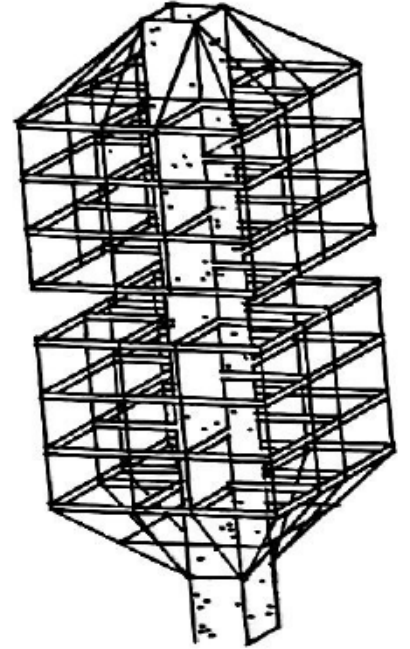
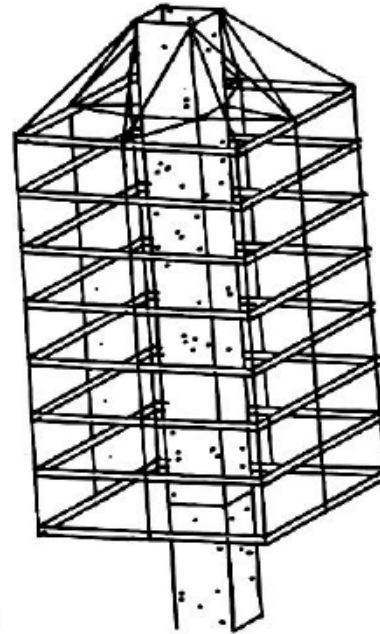
5.3 Kern-Hochwerke / Core highrises



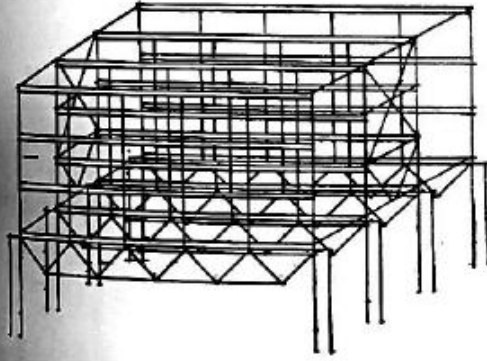
Kragkern-Systeme
Cantilever core systems



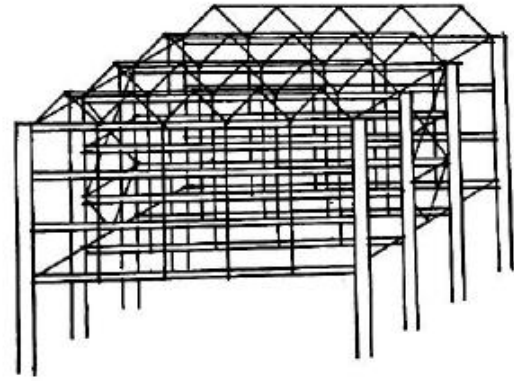
Indirekte Lastkern-Systeme
Indirect load core systems



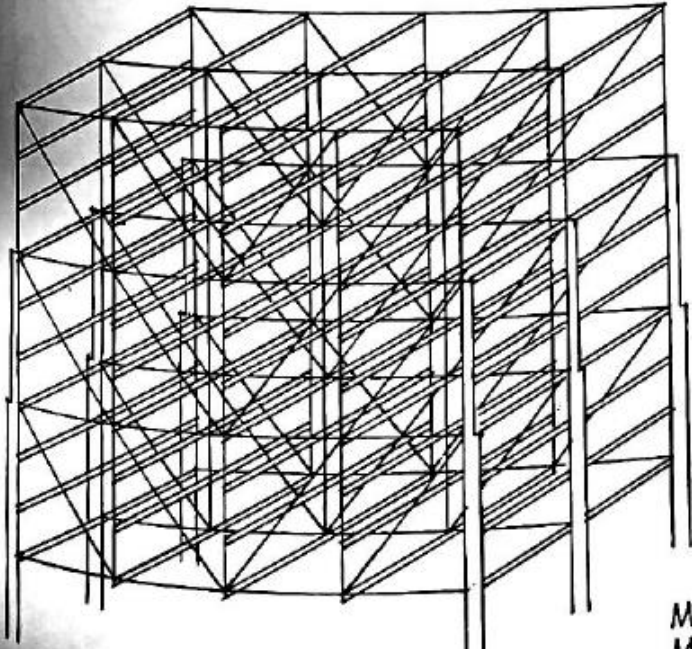
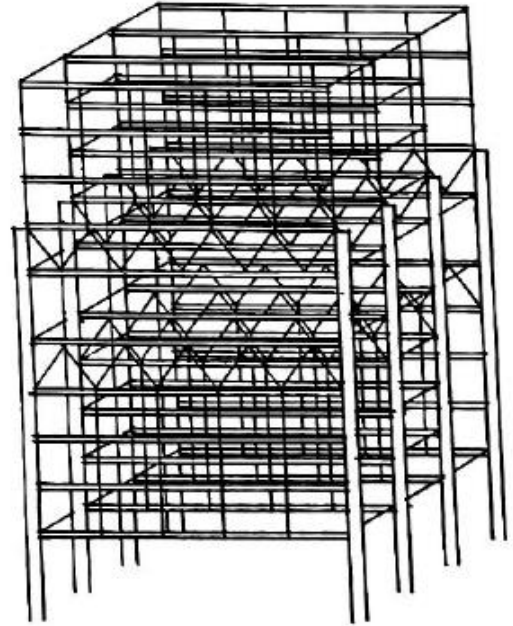
5.4 Brücken-Hochwerke / Bridge highrises



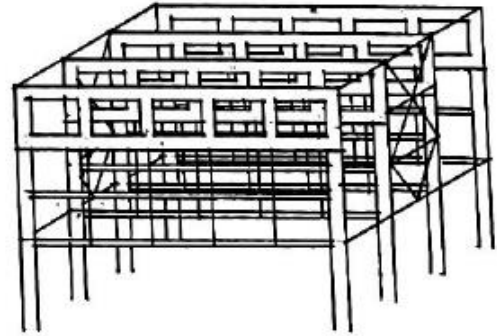
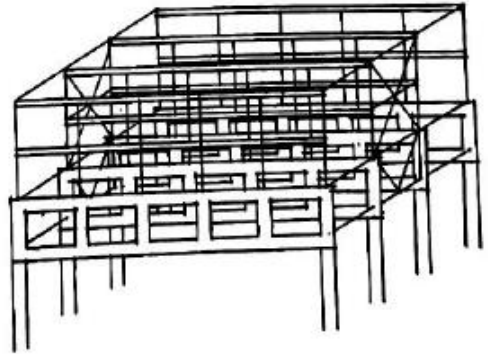
Trägerbrücken-Systeme
Girder bridge systems

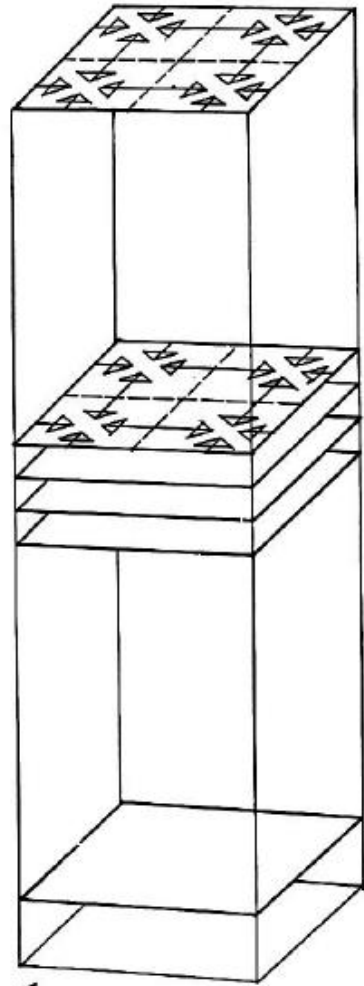


Geschoßbrücken-Systeme
Storey bridge systems

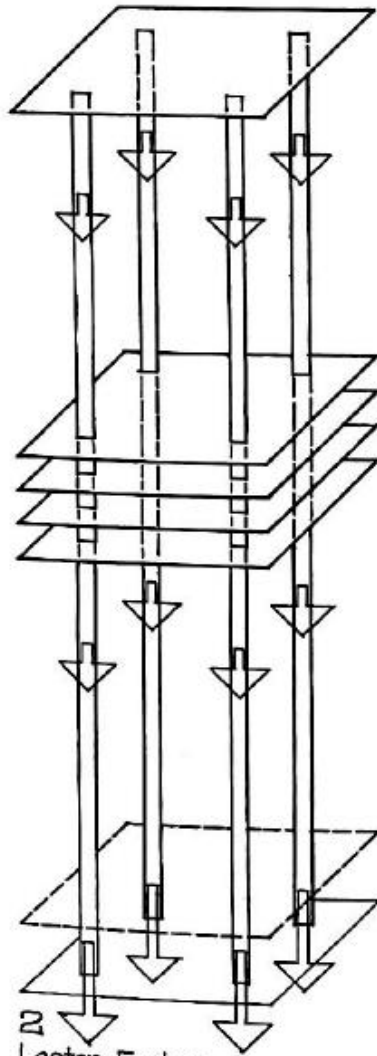


Mehrgeschoßbrücken-Systeme
Multistorey bridge systems

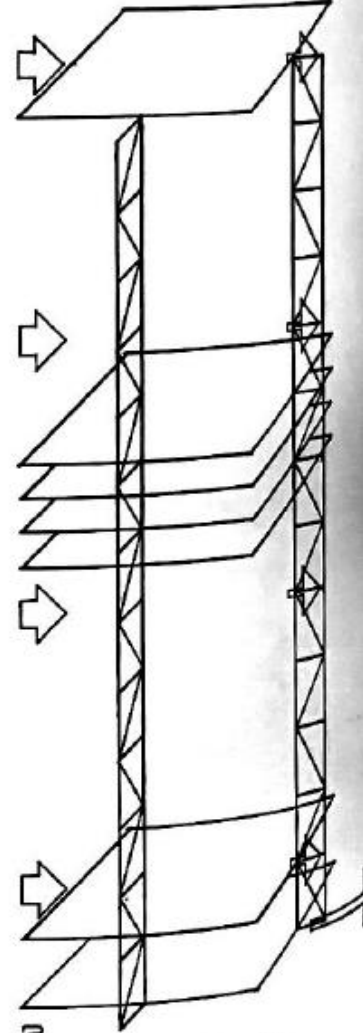




1
Lasten-Bündelung
Load collection



2
Lasten-Endung
Load grounding



3
Seiten-Stabilisierung
Lateral stabilization

Entwurf höhenaktiver Tragwerke als Systementwicklung von 3 Operationen
Design of height-active structures as systems development of 3 operations

1 System der horizontalen Lasten-Sammlung in den Geschossen: LASTENBÜNDELUNG

- 1 Aufteilung der Lastanfall-Teilflächen
- 2 Horizontaler Lastenfluß
- 3 Geometrie der Lastannahme-Stellen
- 4 (Sekundär-)Tragwerk

System of horizontal load collection in the floors: LOAD PACKING

- 1 floor subdivision of load distribution
- 2 horizontal flow of loads
- 3 geometry of points for load collection
- 4 (secondary) structure

2 System des senkrechten Lasten-Transportes aus den Geschossen: LASTENERDUNG

- 1 Topografie der Lastenübergabe-Stellen
- 2 Senkrechter Fluß der Geschoßlasten
- 3 (Primär-)Tragwerk
- 4 Lastenabgabe über Gründung

System of vertical load transfer from the floor platforms: LOAD GROUNDING

- 1 topography of points of load transfer
- 2 vertical flow of floor loads
- 3 (primary) structure
- 4 load discharge through foundations

3 System der Seitenversteifung gegen Horizontal-Lasten: STABILISIERUNG

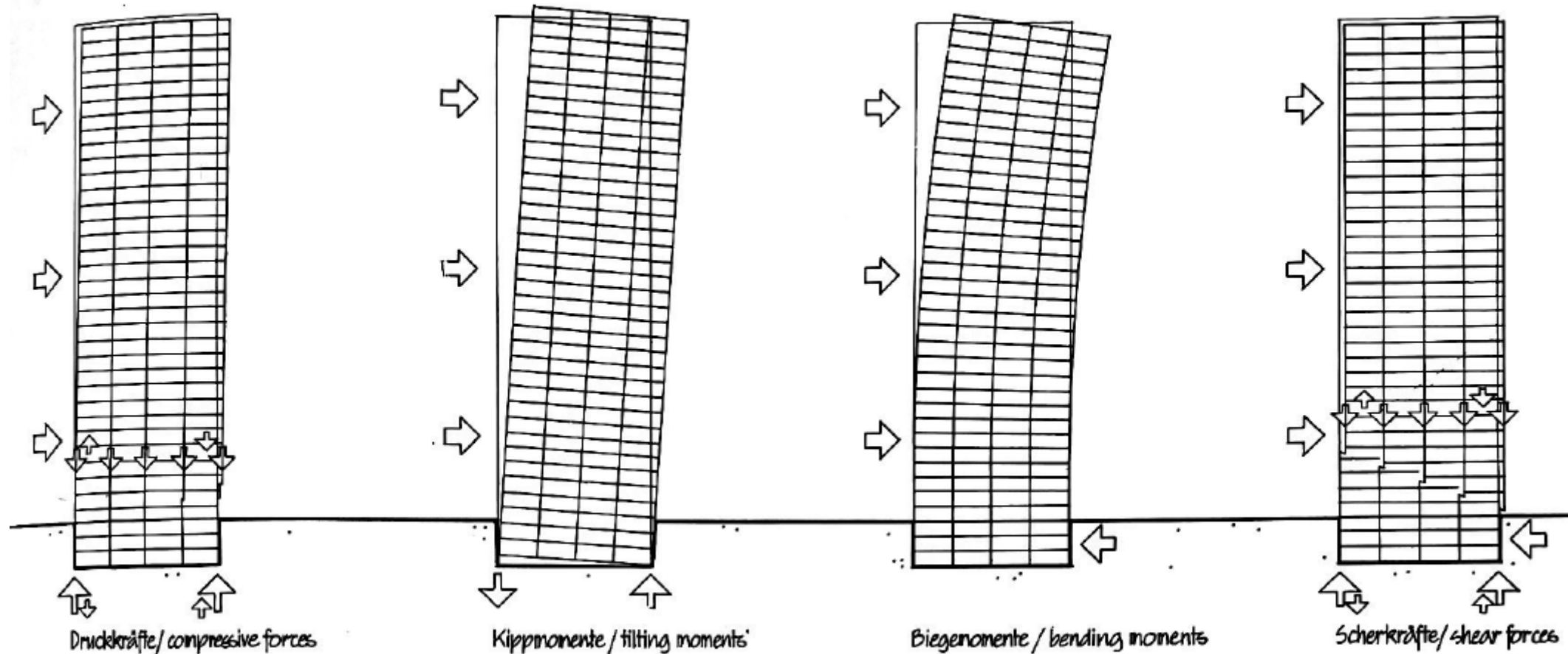
- 1 Versteifung des Baukörpers in sich: additiv / integriert / kombiniert
- 2 Mechanik der Lastumlenkung
- 3 Senkrechter Fluß der Horizontal lasten
- 4 Lastenabgabe über Gründung

System of lateral bracing against horizontal loads: STABILIZATION

- 1 stabilization of structure body per se: additive / integrated / combined
- 2 mechanics of load redirection
- 3 vertical flow of horizontal loads
- 4 load discharge through foundations

Kritische Belastungen und Deformationen

critical loads and deflections

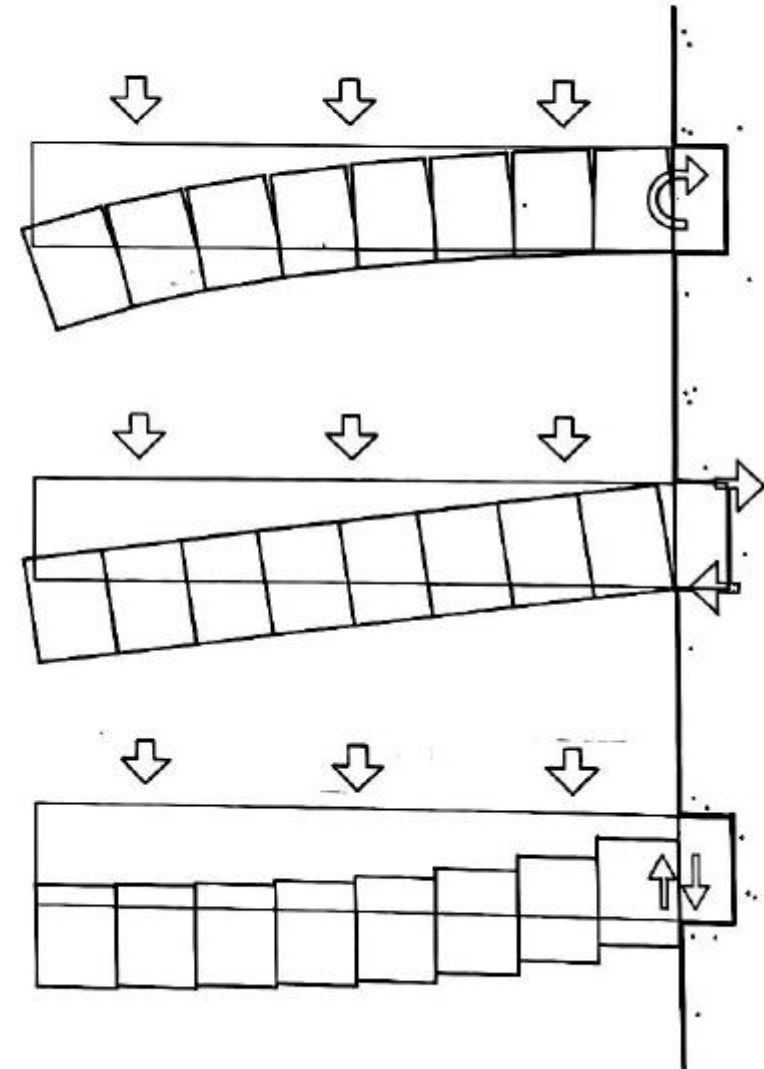
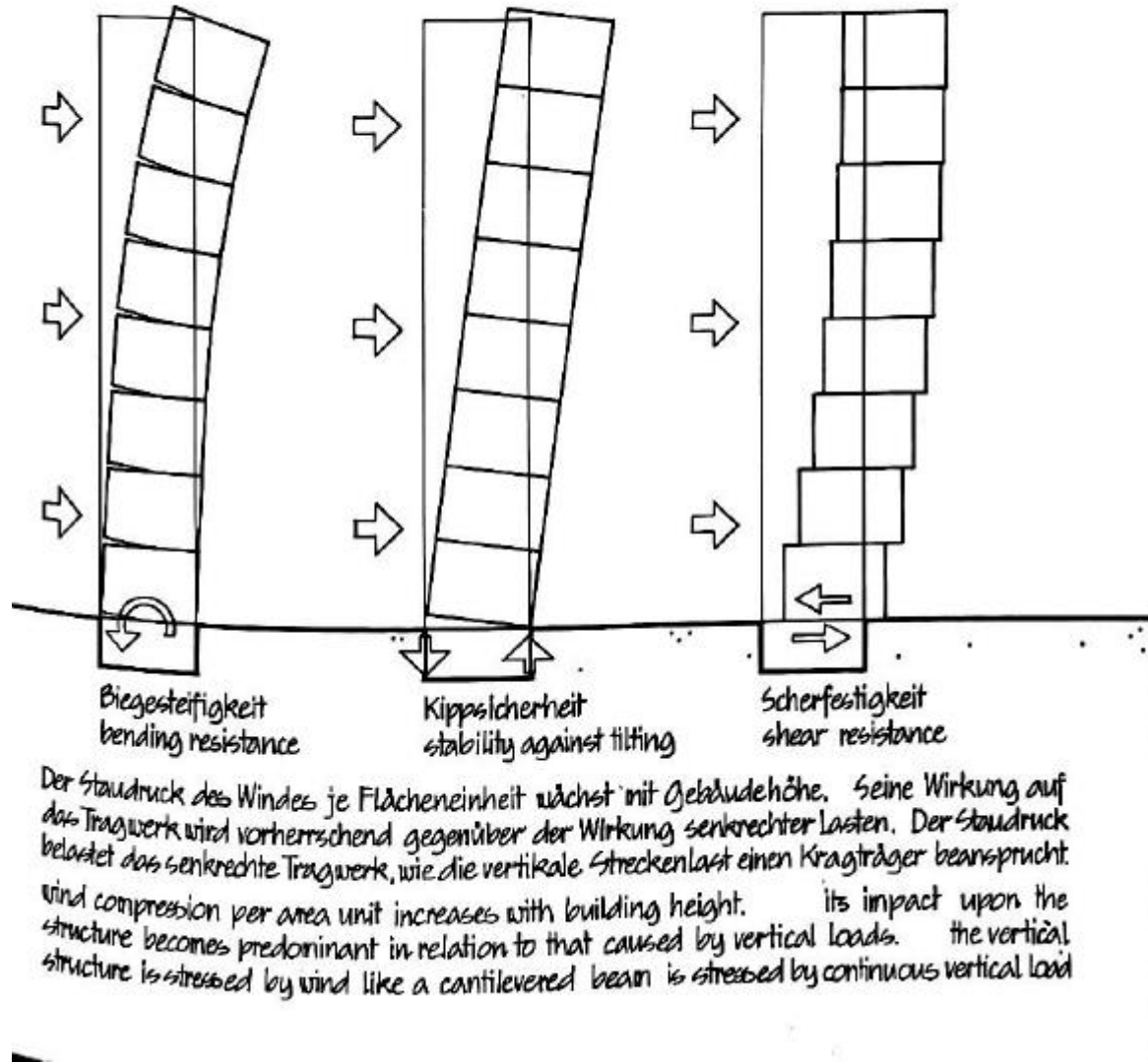


Die für den Entwurf eines senkrechten Tragsystems entscheidenden Belastungen ergeben sich aus Überlagerung von Eigengewicht, Verkehrslast und Wind. Sie bilden zusammen eine Schrägkraft, die umso schwieriger auf die Fundamente unzutelenken ist, je flacher sie wird

the loads decisive for the design of a vertical structure system result from superimposing dead weight, live load and wind. they combine for a slant force. the less the angle of this force is, the greater is the difficulty of transmitting it to the ground

Tragmechanismus bei seitlicher Belastung / bearing mechanism for lateral loads

Vergleich mit Mechanismus eines Kragträgers
comparison with mechanism of a cantilevered beam



Verformungen homogener Hochwerke unter horizontaler Belastung

Horizontalkräfte, hervorgerufen durch Wind oder Erdbeben, bewirken unterschiedliche, komplexe Bewegungen und Verformungen in Bauwerken mit größerer Höhenausdehnung. Stabilisierung des Baukörpers gegen diese Veränderungen ist eine der Hauptaufgaben des Entwurfes höhenaktiver Tragwerke und kann sogar die Bauform selbst herbeiführen

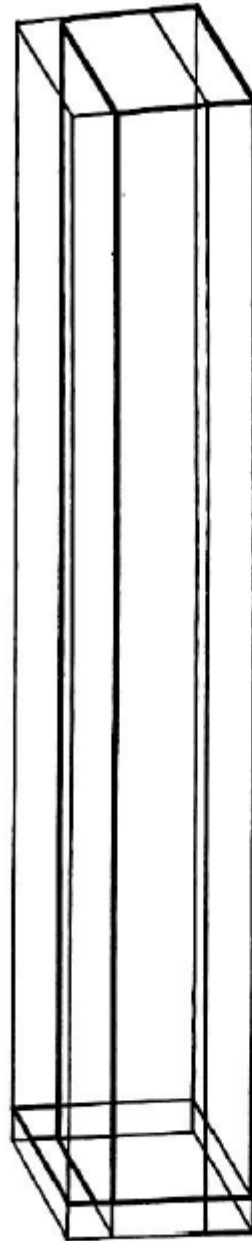
Deflections of homogeneous highrises under horizontal loads

Horizontal forces, caused by wind or earthquake, produce diverse, complex movements and deflections of buildings with dominant height extension

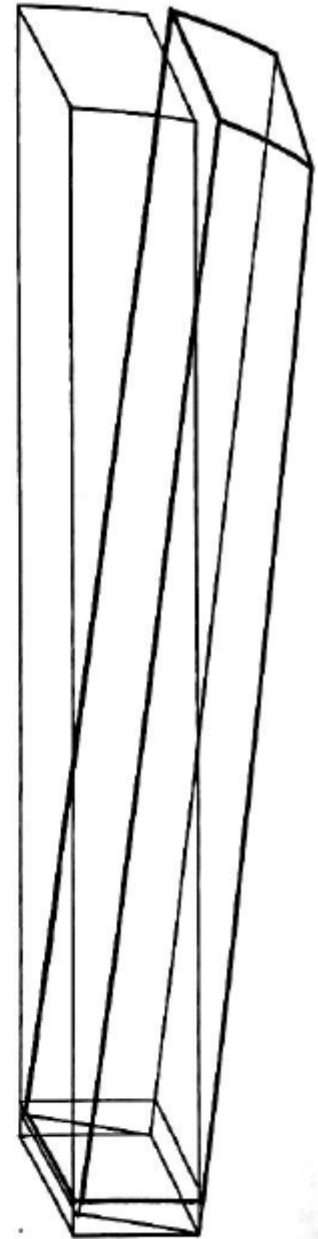
Stabilization of the building structure against these deformations is one of the major tasks in the design of height-active structures, that may even induce the building shape itself



Biegen / bending

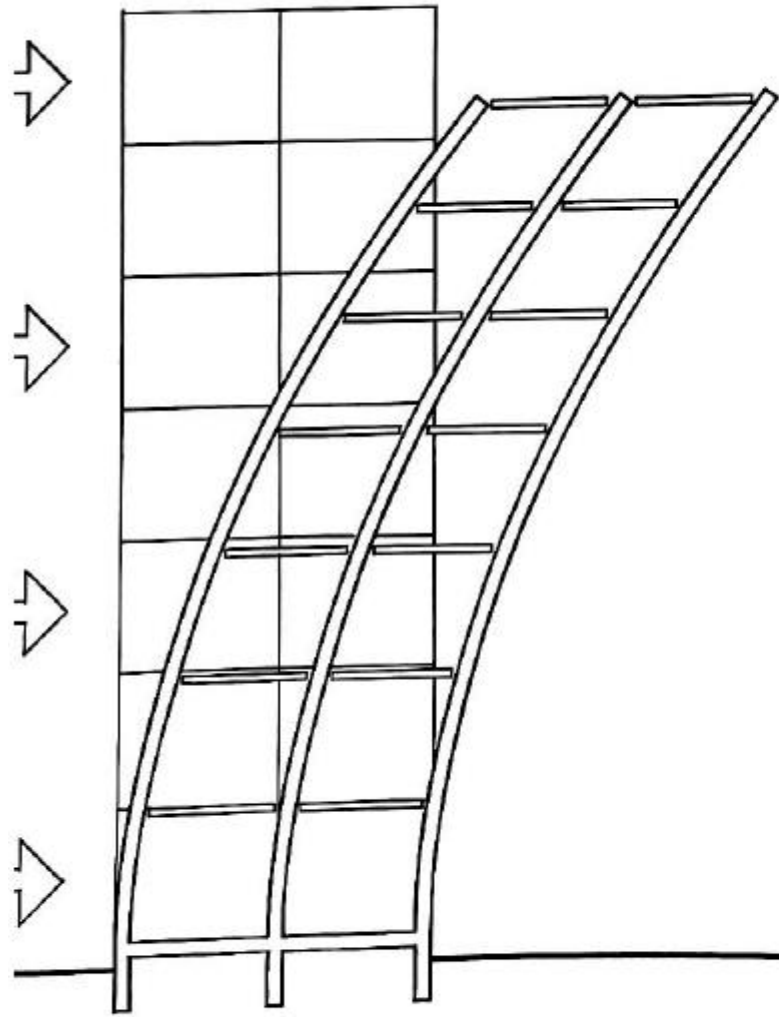


Schieben / sliding

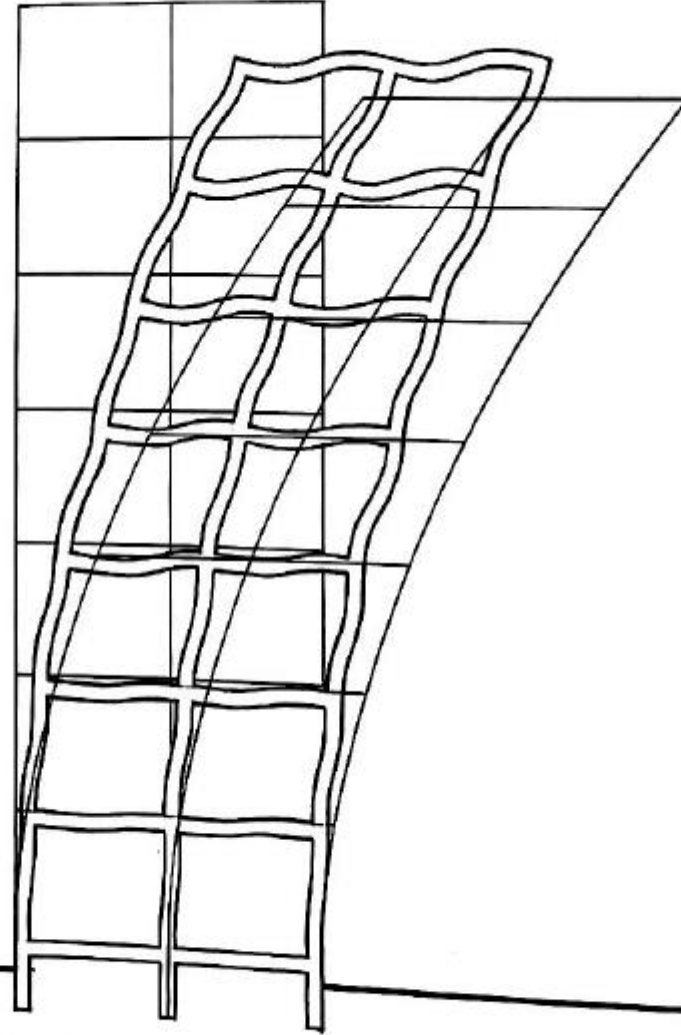


Kippen / tilting

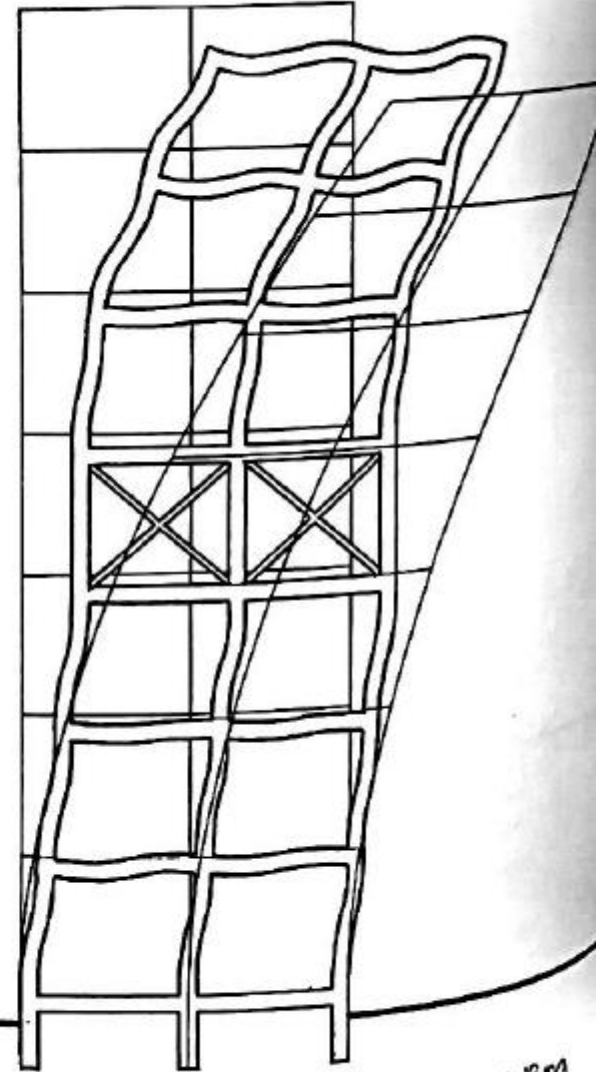
Verformung und Aussteifung in rechteckigen Gitter-Hochwerken unter horizontaler Belastung



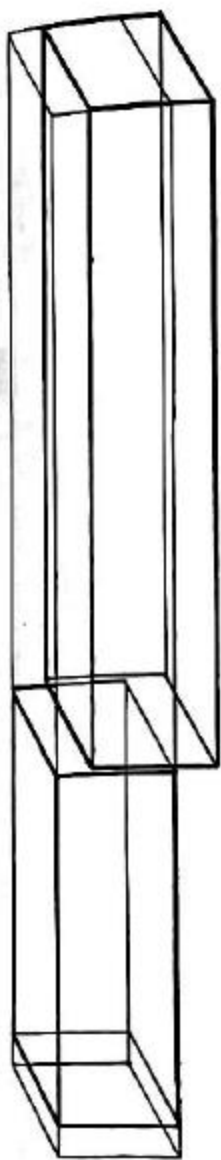
Eingespannte Stützen mit Gelenkträgern
Fixed-end supports with pin-jointed beams



Durchlaufiges (stiftes) Rahmengitter
Continuous rigid-frame lattice



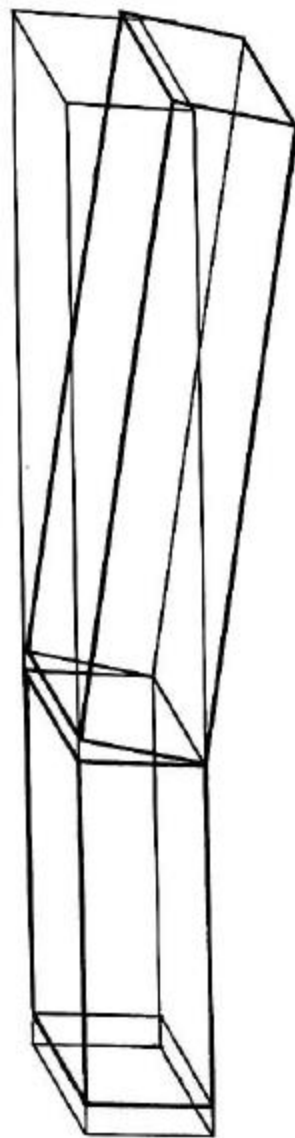
Rahmengitter mit Mittelgeschoß-Aussteifung
Rigid-frame lattice with mid-height story bracing



Scheren / shearing



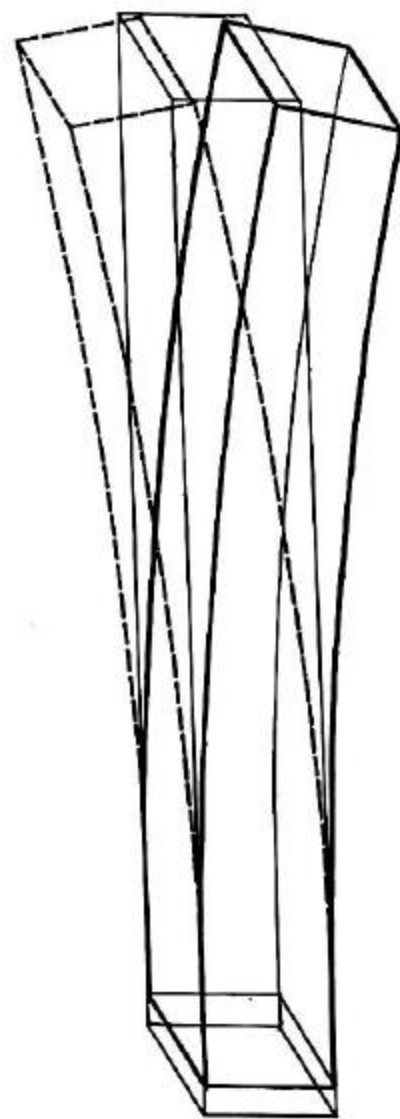
Knicken / buckling



Brechen / breaking

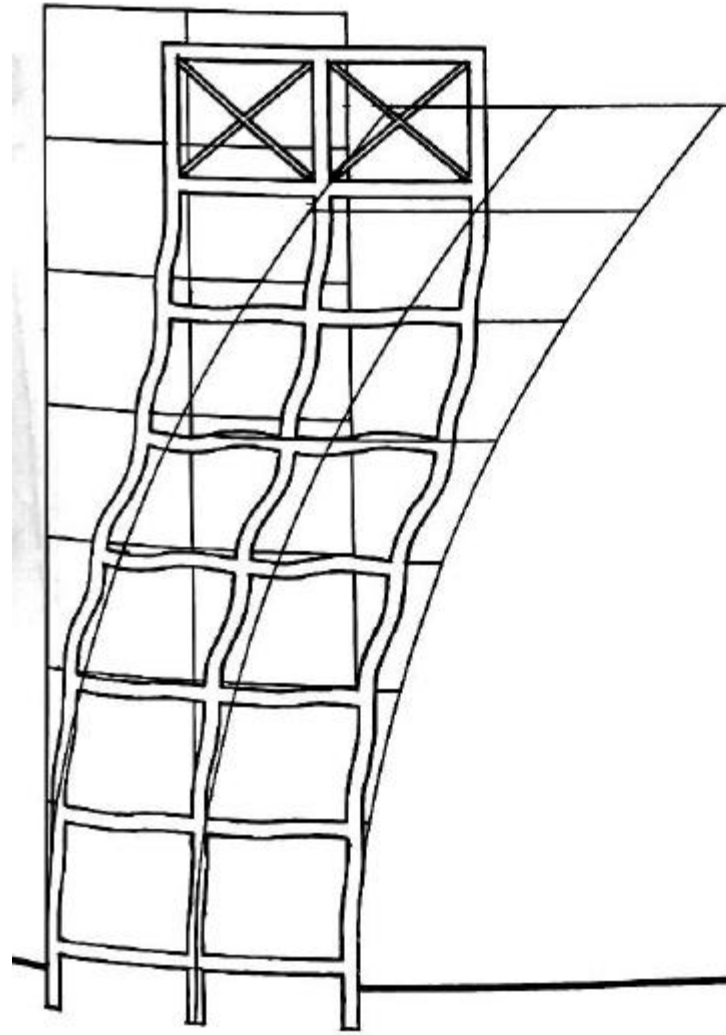


Verdrehen / twisting

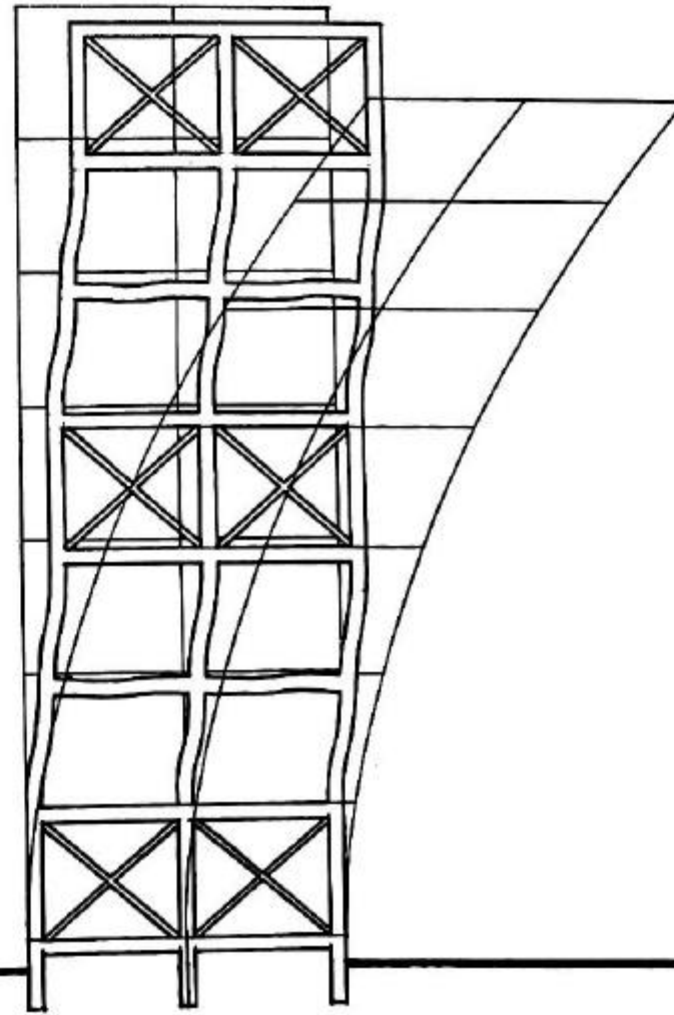


Schwingen / vibrating

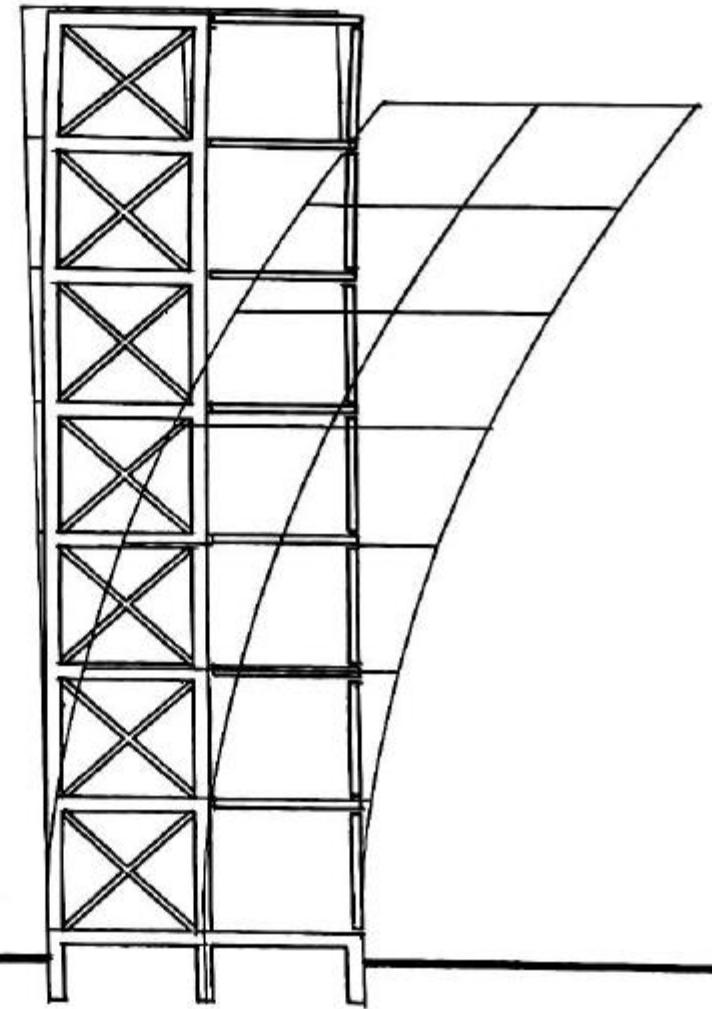
Deflection and bracing in rectangular lattice highrises under horizontal loads



Rahmengeritter mit Dachgeschoß-Aussteifung
Rigid-frame lattice with top-storey bracing

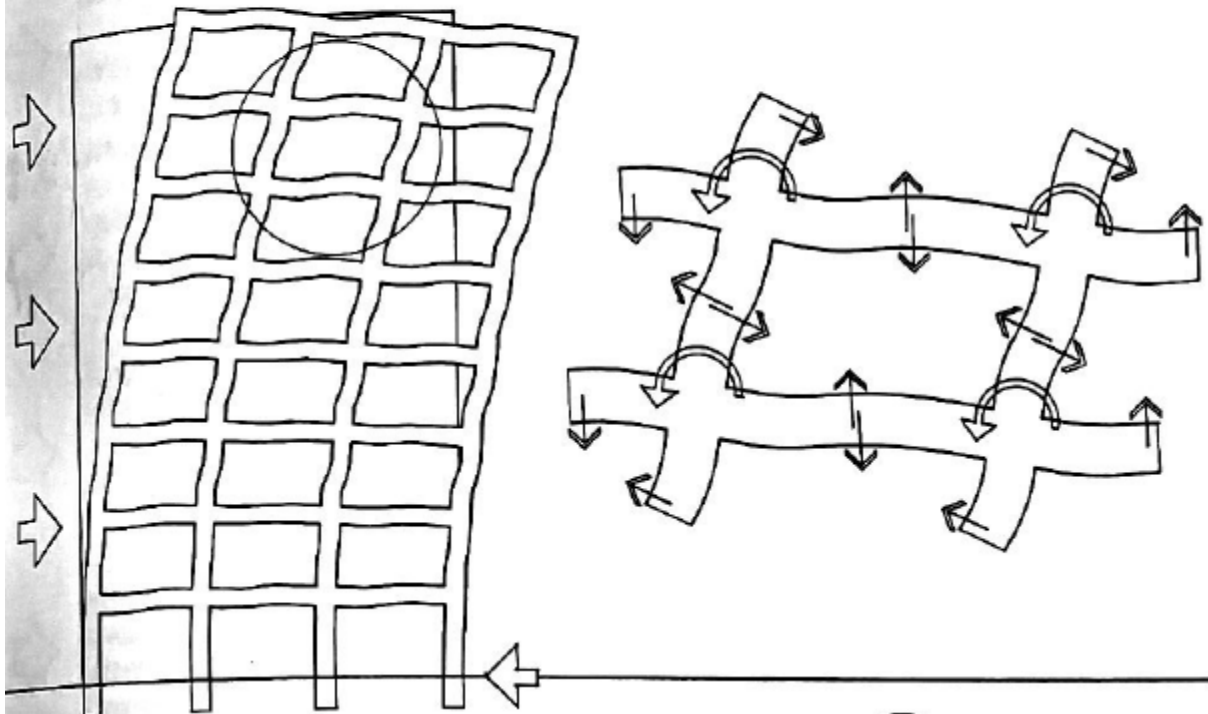


Rahmengeritter mit Einzelgeschoß-Aussteifungen
Rigid-frame lattice with intermittent storey bracing



Ausgesteifter stehender Mehrgeschoßrahmen
Upright multistorey rigid-frame with bracings

Wirkungsweise typischer Vertikal-Aussteifungssysteme



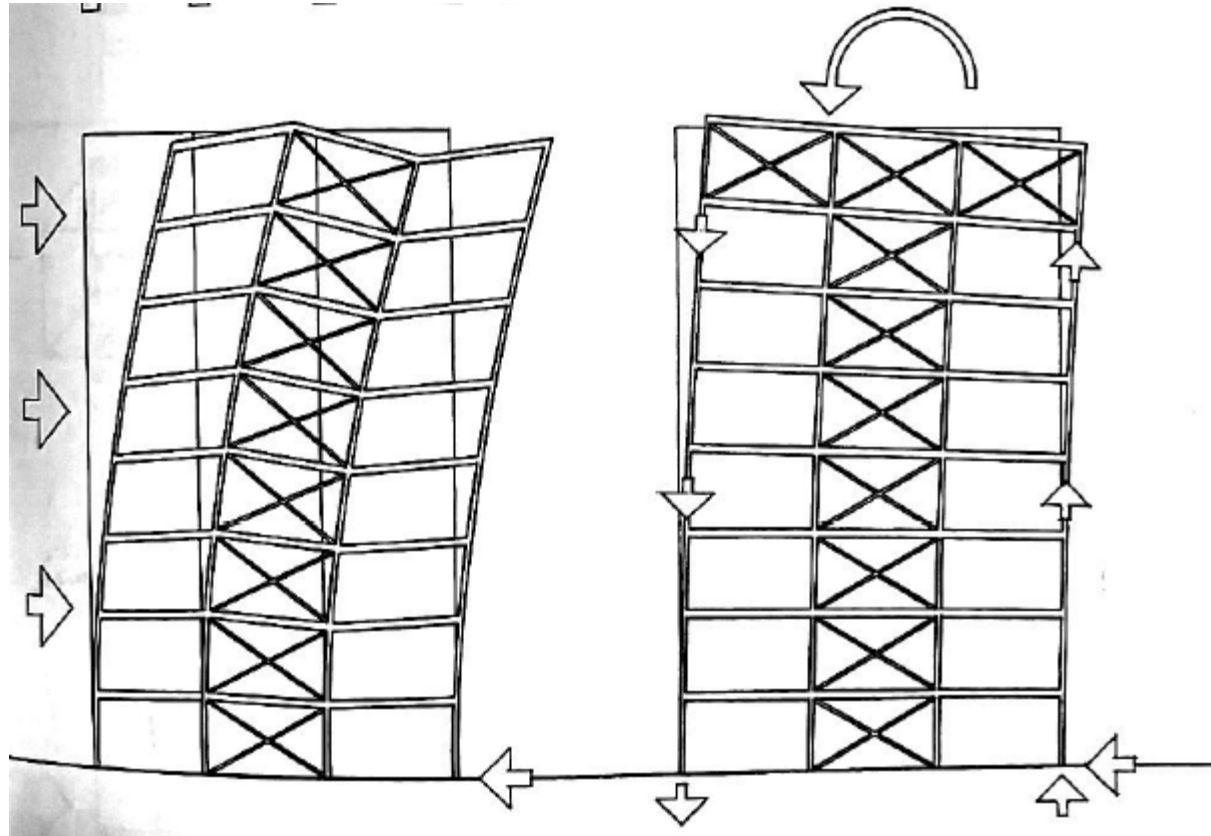
Mechanics of typical vertical stiffener systems

Rahmen-System

Das Rahmen-System der Seitenaussteifung (gegen Wind oder Erdbeben) beruht auf der Biegesteifigkeit der Rahmenteile (Riegel und Stiele) sowie auf deren biegesteifen Verbindung. Bei Verformung infolge seitlicher Belastung entstehen in den Rahmenstielen und -riegeln Querkräfte. Hierdurch werden in den Knotenpunkten infolge deren Kraftschlüssigkeit Drehmomente erzeugt, die der Verformung entgegenwirken.

Rigid-frame system

The rigid-frame system for lateral stiffening (against wind and earthquake) rests upon the bending resistance of the frame parts (beams and columns) and upon their rigid connection. Deflection due to lateral loading will generate transverse shear forces in the beams and columns of the frame. Because of the rigidity of connection these forces will produce rotational moments in the joints that counteract the deflection.

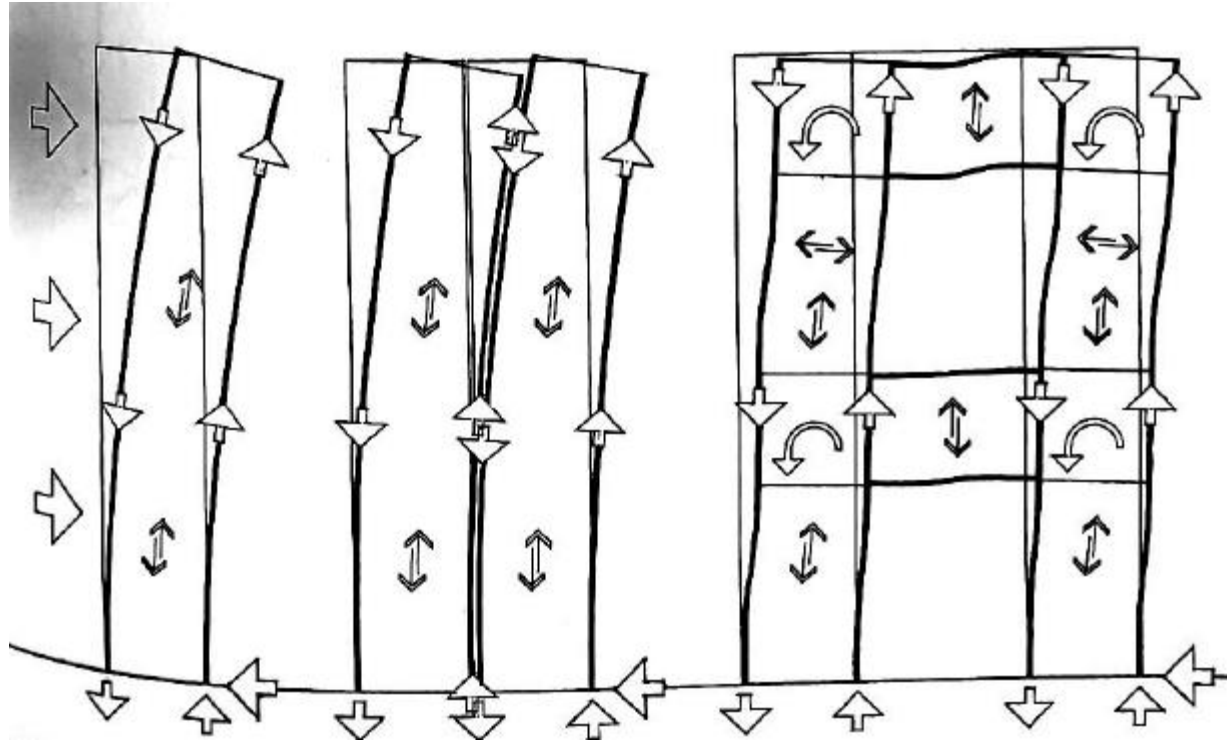


Kopfriegel-System

Durch Aussteifung des obersten Geschosses und dessen Verbund mit der Scherwand wird die Aussteifungsmechanik erweitert. Jede Verformung der Scherwand infolge seitlicher Belastung bewirkt, daß über den Kopfriegel die Außenstützen beansprucht werden. Die entstehenden Druck- und Zugkräfte entwickeln - außer ihrem direkten Widerstand - ein Gegenmoment, das Auslenkung und Biegebeanspruchung erheblich herabsetzt.

Head stiffener system

By stiffening the uppermost storey and fastening it with the shear wall, the stiffening mechanics will be increased markedly. Via the head stiffener each deflection of the shear wall (due to lateral loading) simultaneously will stress the exterior supports. The resulting compressive and tensile forces develop - besides their direct resistance - a counter moment that considerably will reduce the drift and the bending stresses.



Röhren-System

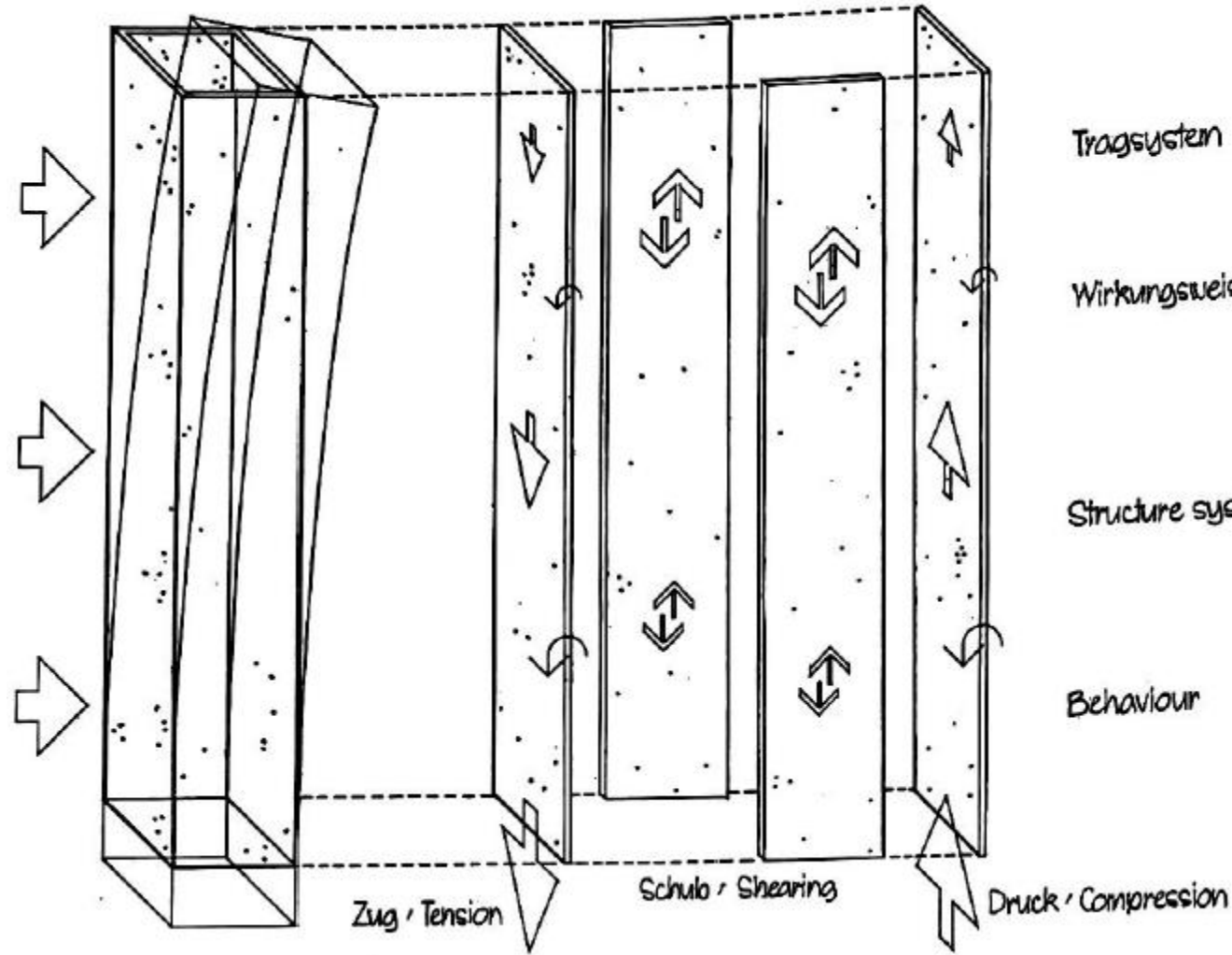
Schubsteife Ausbildung der Außenwände sowie deren kraftschlüssige Verbindung untereinander bilden das Prinzip der eingespannten Röhre. Dieses Tragsystem ist gegenüber seitlicher Belastung besonders wirksam aufgrund:

- 1 Einbezug aller Stützen, Verbände, Brüstungsriegel usw. der Außenwände in die laterale Widerstandsmechanik
- 2 Optimale Spreizung der Wirkungsebenen des Widerstandes

Tube system

Shear resistant construction of the exterior walls and their rigid interconnection constitute the fundamental principles of the fixed-end tube. Toward lateral loading this structure system is particularly effective due to:

- 1 Inclusion of all supports, joineries, spandrel units etc. of the exterior walls into the lateral resistance mechanism
- 2 Optimum spreading of the operative planes of resistance



Das Röhren-Prinzip der Vertikal-Aussteifung The tube principle of vertical stiffening

Tragsystem

- 1 Ausbildung jeder Außenwand als schubsteifer, druck- und zugfester Vertikal-Kragträger
- 2 Kraftschlüssiger Verbund aller Außenwände zu einem einzigen vertikalen Kasten-Träger = Kragröhre

Wirkungsweise

Die Außenwände in Windrichtung wirken als Scherwände, die beiden anderen als Druck- bzw. Zugglieder, sowie als Biege widerstände. D.h., das Tragwerk der Außenstützen für Ableitung der Vertikallasten wird vollständig in die Widerstandsmechanik gegen Seitenkräfte einbezogen

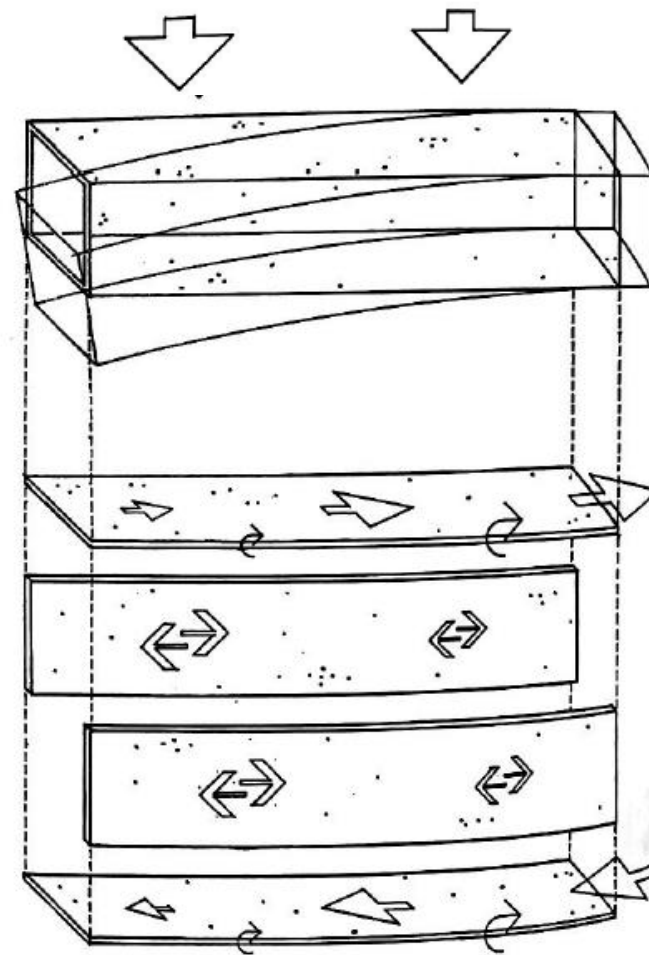
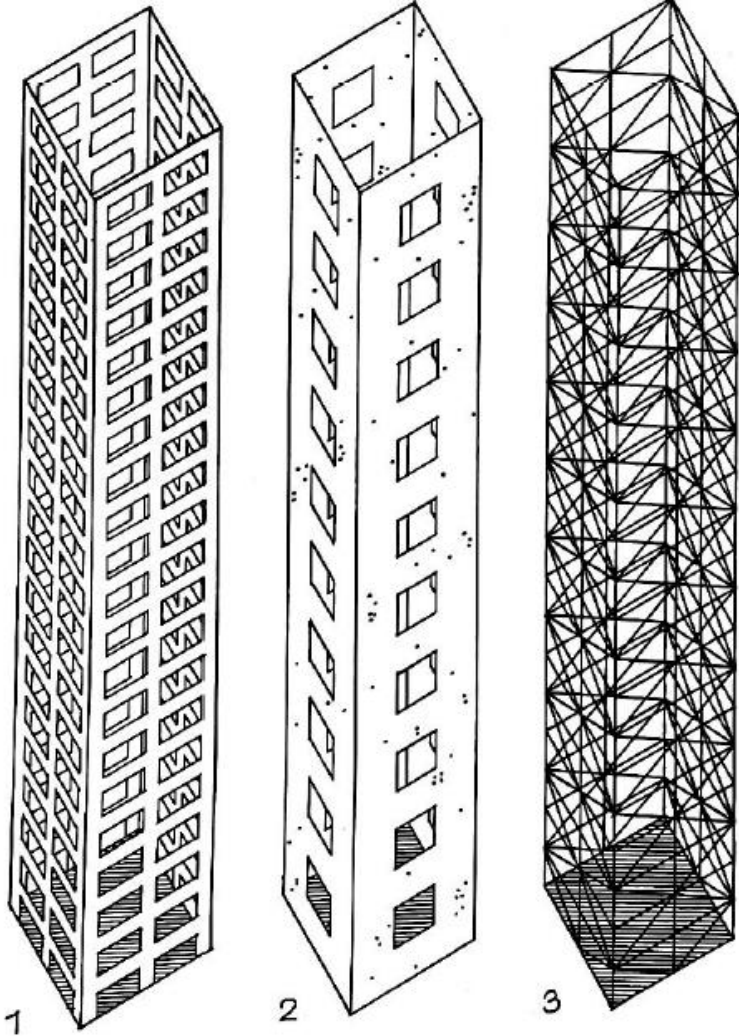
Structure system

- 1 Construction of each external wall as cantilevered, vertical girder resistant to shear and to compressive and tensile stresses
- 2 Rigid connection of all external walls to form a single vertical box girder = cantilever tube

Behaviour

The external walls standing in wind direction act as shear walls, the other two as compressive or tensile members, also as bending resistant agents. i.e., also the external columns for vertical load transfer are fully integrated into the resistance mechanics against lateral forces

Typische Röhren-Tragwerke / Typical tube structures



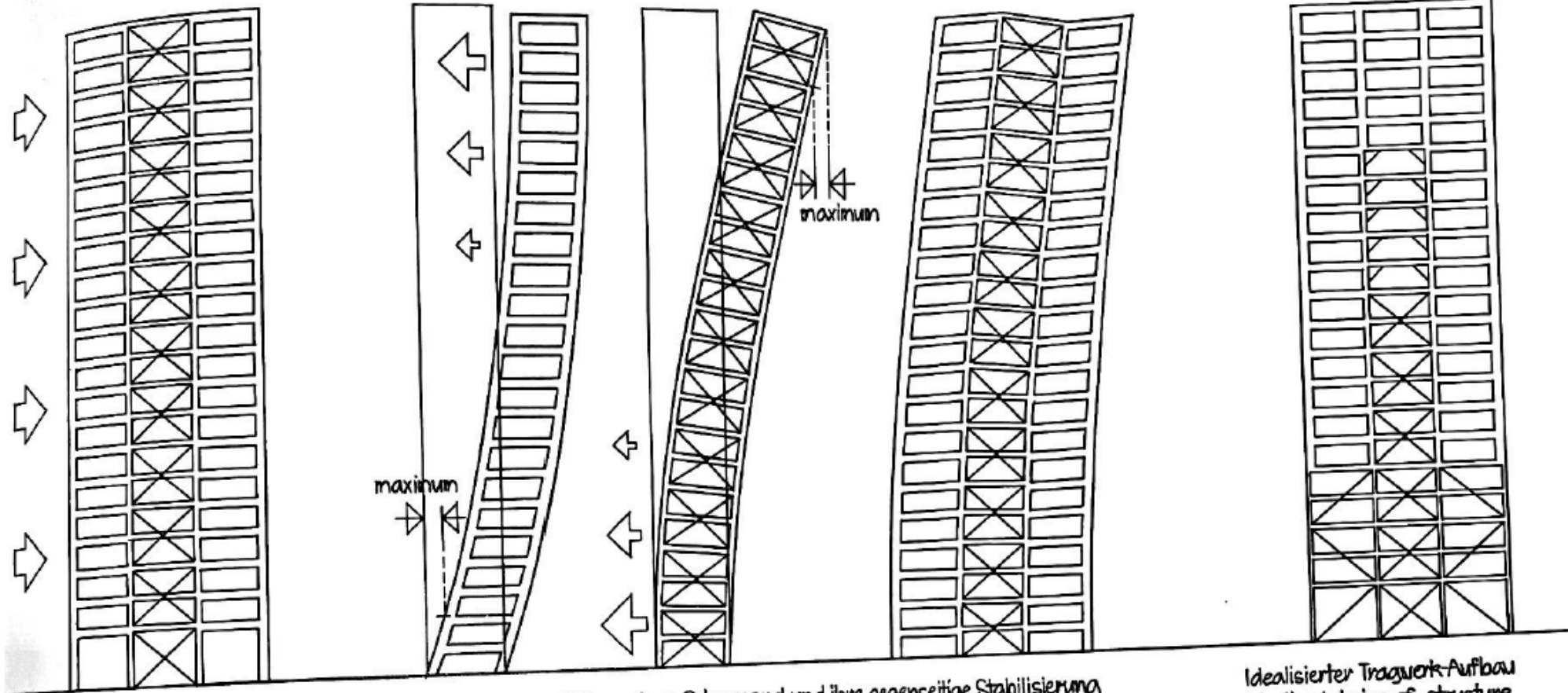
Die Wirkungsweise der Hochhaus-Röhre entspricht dem Verhalten eines kastenförmigen horizontalen Kragträgers unter senkrechter Belastung

The mechanical action of the highrise tube is identical with the behaviour of a box-shaped horizontal cantilever girder under horizontal loading

- | | | |
|---|----------------|-----------------------|
| 1 | Rahmen-Röhre | Rigid-frame tube |
| 2 | Schalen-Röhre | Structural plate tube |
| 3 | Fachwerk-Röhre | Trussed tube |

Stabilisierungsmechanik der Rahmen+Scherwand-Kombination

Stabilization mechanics of frame+shear wall combination



Rahmen+Scherwand-System
Frame+shear wall system

Verhalten von Rahmen bzw. Scherwand und ihre gegenseitige Stabilisierung
Behaviour of rigid frame and shear wall and their mutual stabilization

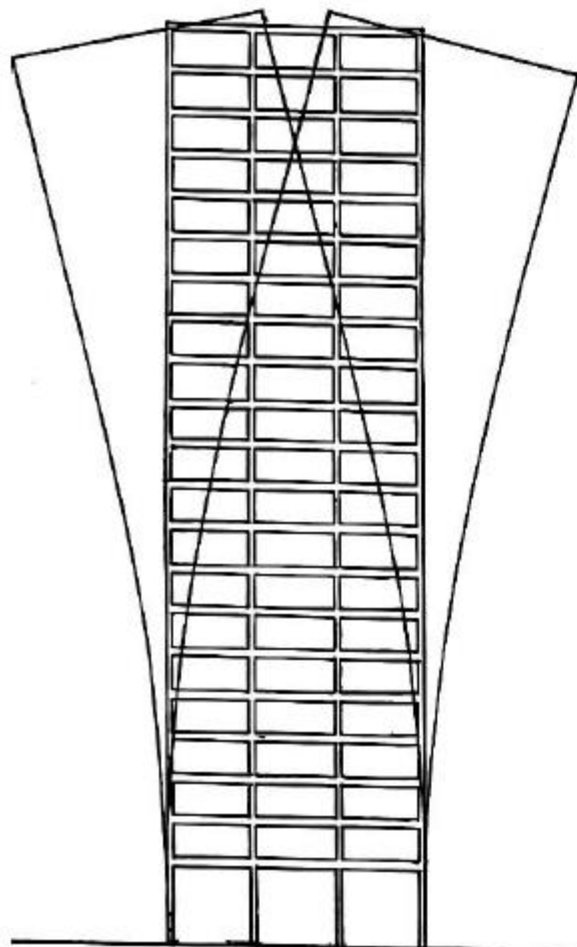
Idealisierter Tragwerk-Aufbau
Idealized design of structure

Im RAHMEN-Tragwerk entstehen besonders horizontale Schubverformungen mit max-Verschiebung unten. Die Steifigkeit liegt also im oberen Systemteil
 Im SCHERWAND-Tragwerk entstehen hauptsächlich Biegeverformungen mit max-Verschiebung oben. Die Steifigkeit liegt also im unteren Systemteil
 Durch KOMBINATION behindern sich die entgegengesetzten Verformungen gegenseitig. Die Gesamtauslenkung wird dadurch erheblich eingeschränkt

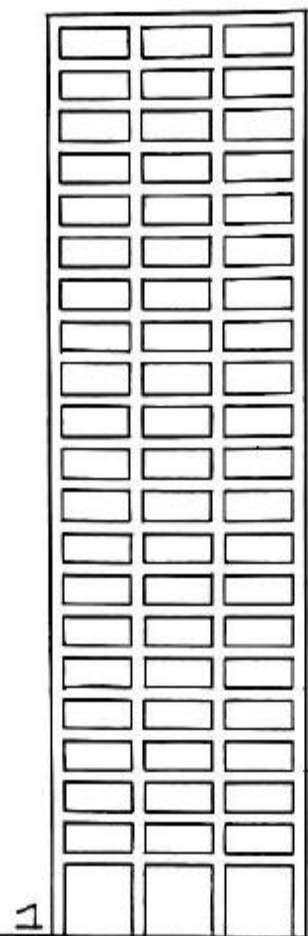
In RIGID FRAME structures mainly horizontal thrust deformations develop being max. at the base. The system stiffness, thus, is in the upper portion
 In SHEAR WALL structures mainly bending deformations develop, horizontal shear being max. at the top. The system stiffness, thus, is in the lower portion
 Through COMBINATION the two opposing deformations hinder each other. The total drift of the structure, thereby, will be markedly reduced

Hauptmechaniken zur Vertikal-Aussteifung von Tragwerken

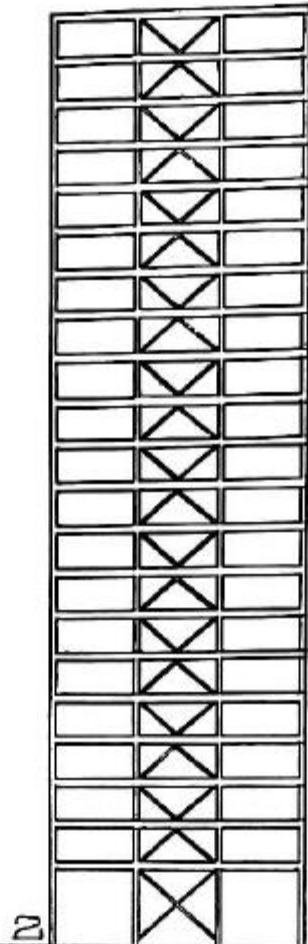
Principal mechanics for vertical stiffening of structures



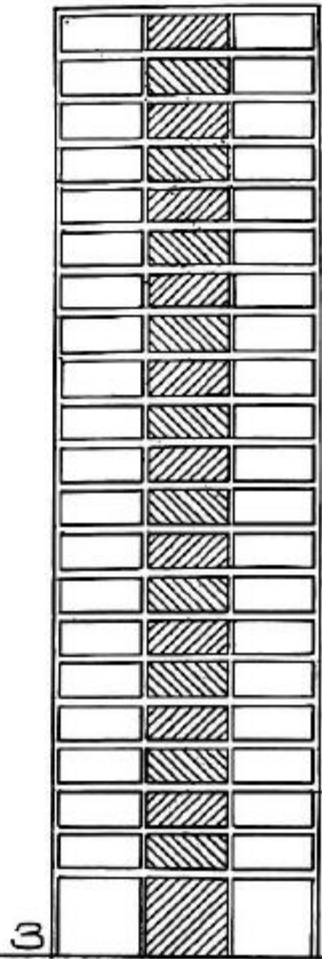
Fehlender Widerstand gegen Horizontalkräfte
Lacking resistance against horizontal loads



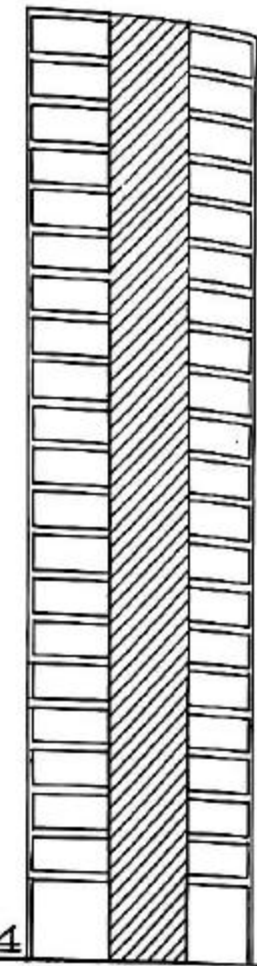
1
Durchlauf-Rahmen
Continuous rigid frame



2
Fachwerk-Verband
Trussed framework



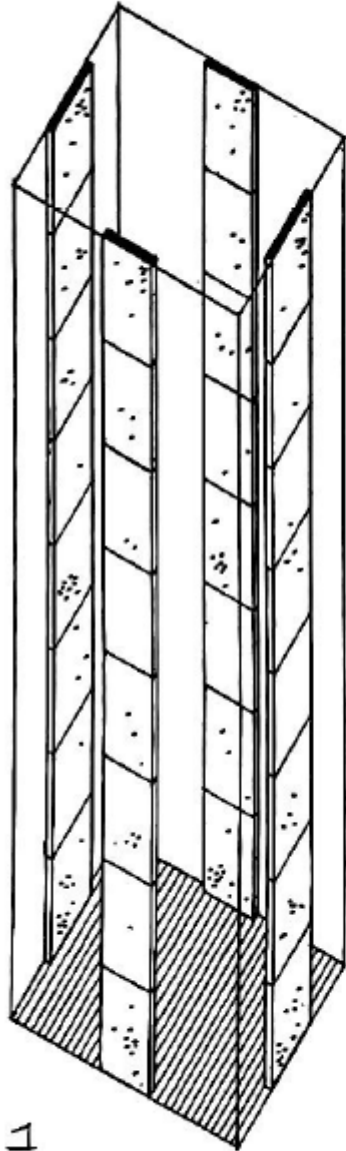
3
Massive Ausfachung
Structural diaphragm



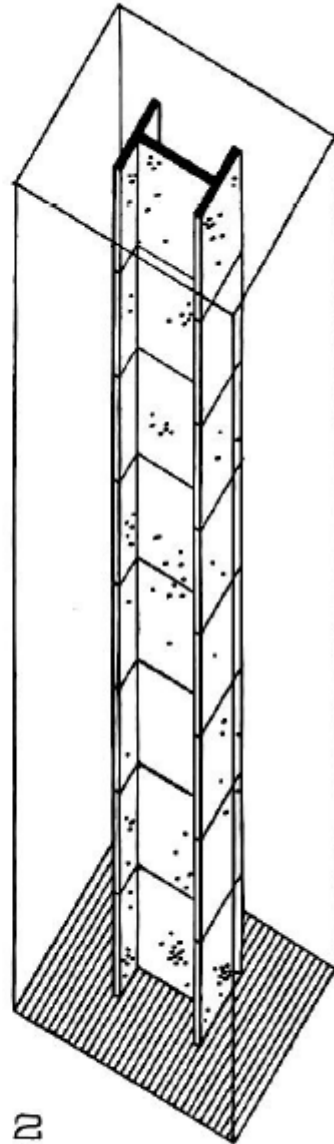
4
Durchlauf-Scheibe
Continuous shear wall

Standard-Formen für vertikale Aussteifungssysteme

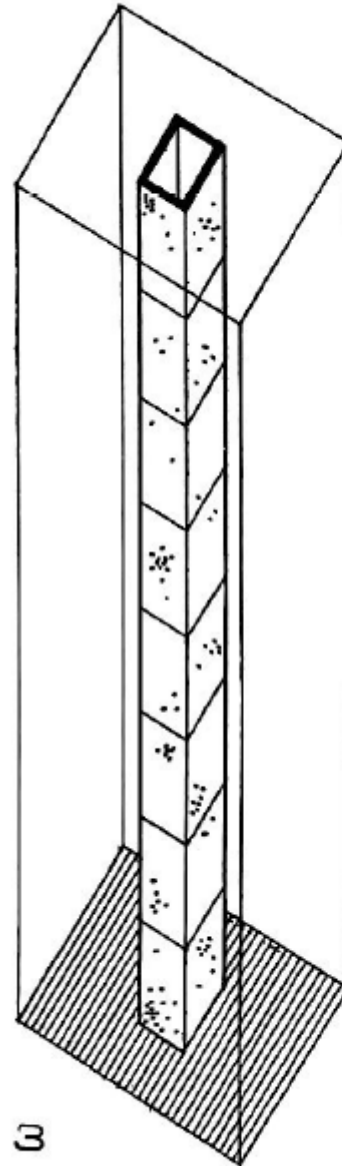
Standard forms for vertical stabilization systems



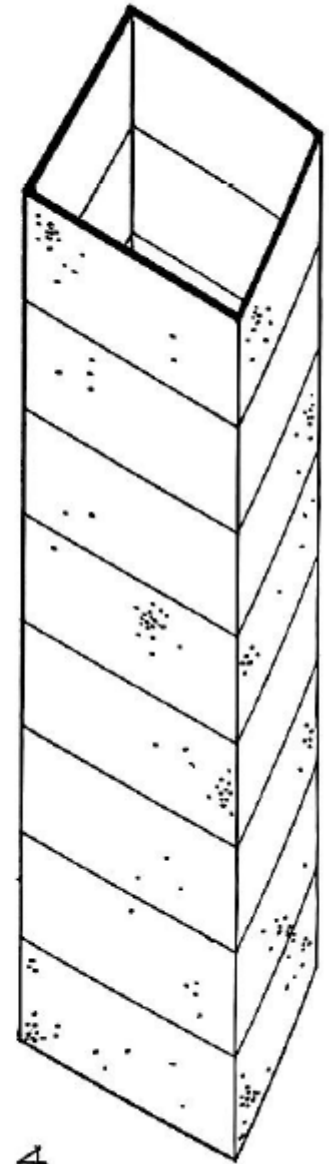
1
Außen-Scherwände / Exterior shear walls



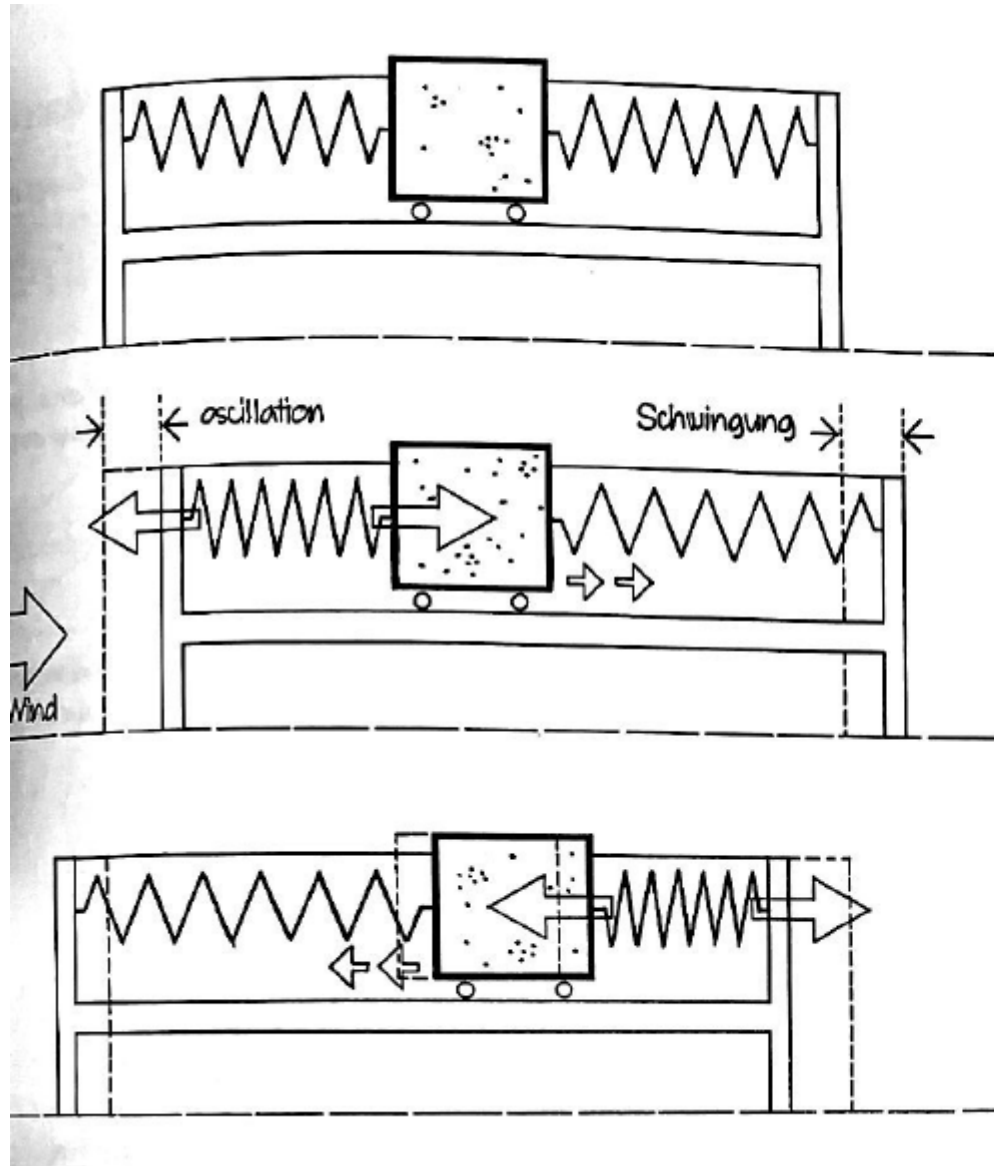
2
Innen-Scherwände / Interior shear walls



3
(Zentral-) Kern / (Central) core



4
Röhre / Tube



Dynamische Schwingungsdämpfer in Hochwerken Dynamic vibration dampers in highrise structures

Ein schwerer, beweglich aufgelagerter Körper - durch Federn seitlich mit der Hochwerkspitze verbunden und mit der gleichen Schwingungszeit wie das Gebäude ausgestattet - verhält sich stabilisierend gegen Windschwingungen = Schwingungsdämpfer. Über die Federaktion übertragen sich die Gebäudeschwingungen auf den Körper in Form von entgegengesetzten Schwingungen = -Gegenresonanz-. Dadurch wird die Gebäude-Eigenschwingung reduziert, bzw. vollständig kompensiert.

A heavy solid upon mobile supports - laterally fastened to the top of the highrise by springs and having equal oscillation period as the building - behaves as stabilizing agent against wind swaying = tuned dynamic wind damper.

Due to the spring action the movements of the building make the mass of the solid oscillate just in the opposite direction = -antiresonance-. Thereby the oscillation of the building will be reduced or completely damped out.