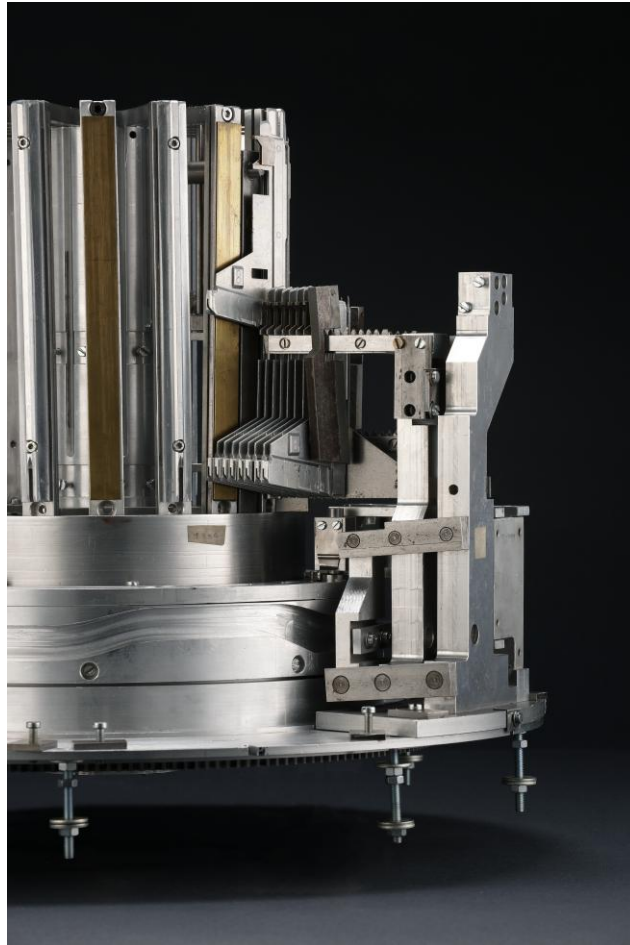


Der Helixturm von Konrad Zuse



Analyse, Dokumentation und Instandsetzung
eines höhenverstellbaren Turmmodells, 1989
bis 1995, im Deutschen Museum in München



Zusammenfassung

Konrad Zuse konzipierte in seinen letzten Lebensjahren den Helixturm, einen Automaten, der einen Teil seiner Bauelemente kontinuierlich zu einem Turm aus- oder einfährt. Das erste Funktionsmodell wird in dieser Arbeit beschrieben, dokumentiert und wieder in Funktion gesetzt. Die Hintergründe der Entwicklung durch Konrad Zuse werden durch Auswertung von Archivalien und Zeitzeugenberichten dargestellt. Es werden der HT2, eine weiterentwickelte, nicht mehr gebaute Konstruktion, und zwei um die Anwendung auf Windkraftanlagen erweiterte Patente von Konrad Zuse beschrieben. Abschließend sind im Deutschen Patent- und Markenamt vorliegende Erfindungsanmeldungen zu höhenvariablen Konstruktionen erläutert, um die technische Innovation des Helixturms herauszuheben.

Abstract

Konrad Zuse designed during the last years of his life the helix tower, an automaton, which continually extends and retracts parts of its structural elements to form a tower. The first functional model is described, documented and set into operation again in this thesis. The circumstances and the background of the development of the helix tower can be deduced from archives as well as reports from contemporary witnesses. The HT2, a further developed, however no longer built construction, as well as two patents, extended by the application in wind power plants, are also described. Finally inventions of height adjustable constructions, which applications have been made for at the German patent and trade marks office, are also explained in order to point out the technical innovation of the helix tower.



Erklärung

Hiermit versichere ich, die Diplomarbeit selbstständig verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel als die angegebenen verwendet zu haben. Die Stellen, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken/Schriften entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht. Sinngemäß gilt dies auch für Abbildungen. Die Arbeit hat es in dieser oder ähnlicher Form noch nicht gegeben.

München, 30.03.2009



Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	1
2 Der Helixturm - Beschreibung des Funktionsmodells.....	3
2.1 Beschreibung der Baugruppen.....	4
2.2 Funktionsbeschreibung	13
3 Konrad Zuse.....	17
4 Archivalien und Berichte von Zeitzeugen	23
4.1 Textdokumente.....	23
4.2 Zeichnungen / Skizzen von Konrad Zuse	34
4.3 Mündliche/schriftliche Informationen von Zeitzeugen.....	36
4.4 Wertung.....	41
5 Dokumentation, Restaurierung und Instandsetzung	44
6 Weiterentwicklung des Helixturms durch Konrad Zuse	61
6.1 Patente, um Anwendung auf Windkraftanlagen erweitert.....	61
6.2 Das verbesserte, nicht ausgeführte Funktionsmodell HT2	64
6.3 Lastabtragung, Tragfähigkeit und Standsicherheit (Hinweise)	68
7 Weitere höhenverstellbare Konstruktionen	73
7.1 Schutzrechtsdokumente des Deutschen Patentamts (Auswahl)	75
7.2 Vergleich des Helixturms mit beschriebenen Konstruktionen	91
8 Ausblick	93
Schlusswort	95
Literaturverzeichnis	99
Abbildungsverzeichnis	101
Anhang.....	105
Anhang 1, 50 Seiten: Stückliste und CAD-Bauteilübersicht, 2 Tabellen Archivauswertung, Auflistung vorhandener Turmelemente, Restaurierungsmaterialien, Foto HT2-Bauteile	
Anhang 2, 28 Seiten: fotografische Aufnahmen von Bauteilen und Baugruppen, Achim Bunz	
Anhang 3: 9 Zeichnungen (SolidWorks)	
Anhang 4: Film-DVD (Vorabversion), DVD mit SolidWorks-Dateien	



Mensch, werde wesentlich.

Leitsatz von KONRAD ZUSE



1 Einleitung

KONRAD ZUSE (1910 – 1995), einer der bedeutendsten Erfinder des Computers, hat in seinen letzten Lebensjahren die Konzeption einer höhenverstellbaren Turmkonstruktion - den Helixturm - nicht zu Ende führen können. Das erste und einzige Funktionsmodell der technischen Neuerung, im Folgenden als „Helixturm“ bezeichnet, wurde mit dem Nachlass KONRAD ZUSES im Januar 2006 in das Deutsche Museum in München überführt und war, bis zu Beginn dieser Arbeit nicht funktionsfähig, als Bestandteil der Sammlung provisorisch ausgestellt in der Abteilung für Robotik.

Der Helixturm ist ein aus modularisierten Bauteilen zusammengesetzter, rein mechanischer Automat, der in Magazinen deponierte Bauelemente derart nach oben oder in entgegengesetzter Richtung nach unten zu bewegen vermag, dass sie ineinandergefügt kontinuierlich einen röhrenförmigen Turm auf- oder abbauen. Die Bewegung des gesamten Systems erfolgt über ein einziges Zahnrad, auf dem Bauteile mit Steuerflächen so befestigt sind, dass sie die Horizontal- und Vertikalbewegungen der Turmelemente initiieren und ausführen. Der Helixturm als erster Prototyp im Maßstab 1 : 30 lässt sich auf eine Höhe von 270 cm ausfahren. Ein realer Turm hätte 80 bis 120 m hoch werden sollen.

KONRAD ZUSE entwickelte nachweislich in Form von Zeichnungen ab 1989 den Helixturm. Das erste Funktionsmodell wurde 1993 realisiert und in den folgenden Jahren verbessert. Dies erfolgte sowohl in Form von Nachbearbeitungen am Funktionsmodell als auch in Form einer ab 1993 zeichnerisch weiterentwickelten Konstruktion, dem HT2, dessen Prototyp nicht mehr gebaut worden ist. Denn KONRAD ZUSE verstarb am 18. Dezember 1995. Aus im Nachlass des Erfinders im Archiv des Deutschen Museums vorhandenen Unterlagen ließ sich die mit dem Tod KONRAD ZUSES abgebrochene Entwicklungsgeschichte der höhenvariablen Konstruktion nachvollziehen. KONRAD ZUSE hatte den Turm für Windkraftanlagen anzuwenden vorgesehen. Der Helixturm ist das erste und einzige Funktionsmodell, das einen aufwendig durchdachten Mechanismus demonstriert, den anwendungsbezogenen Kräften jedoch kaum standhalten kann. Es war der Öffentlichkeit nach 1995 nicht zugänglich gewesen bis zur Übernahme des Nachlasses durch das Deutsche Museum im Januar 2006.

Aufgabe der vorliegenden Arbeit, die im Zeitraum von Oktober 2008 bis März 2009 entstand, war, den Helixturm als das erste Funktionsmodell zu dokumentieren und wieder in Funktion zu setzen. Voraussetzung für eine derartige Aufgabenstellung ist ein umfangreiches Verständnis der Historie. Deshalb schließt sich in dieser Arbeit der Beschreibung des Helixturms ein Überblick über das Leben KONRAD ZUSES an, dem die Auswertung von Informationen zum Helixturm folgt, die sich aus im Archiv des Deutschen Museums vorhandenen Unterlagen und Zeitzeugenberichten erschließen. Für die Dokumentation wurde das Turmmodell zerlegt. Die Einzelteile sind in eine Stückliste aufgenommen und mittels CAD gezeichnet worden. Nach der Reinigung der Einzelteile wurde der Helixturm funktionstüchtig montiert. Der Erläuterung dieser Arbeiten folgt die Beschreibung der um die Anwendung auf Windkraftanlagen erweiterten Patente KONRAD ZUSES und die Beschreibung des HT2, was Überlegungen KONRAD ZUSES zu einem ersten Versuchsturm im Maßstab 1 : 1 einschließt. Um den Helixturm von anderen höhenvariablen Konstruktionen abzugrenzen bzw. dessen technische Innovation herauszuheben, werden in einem letzten Kapitel dieser Arbeit im Deutschen Patent- und Markenamt vorliegende Erfindungsschriften erläutert. Die Arbeit schließt ab mit einem Ausblick, in dem die Thematik automatisierter Baustellen angesprochen wird.



2 Der Helixturm - Beschreibung des Funktionsmodells

Der von KONRAD ZUSE spätestens seit 1989 zunächst auf dem Reißbrett konstruierte und 1993 gebaute Helixturm (Abb. 1) ist ein aus metallenen Baugruppen zusammengesetzter Automat, der einen Teil seiner Bauelemente derart in die Höhe zu schieben oder in entgegengesetzter Richtung einzufahren vermag, dass sie sich zu einem röhrenförmigen Turm auf-, oder, in entgegengesetzter Richtung, den Turm abbauen. Die Mechanik liegt über eine Grundplatte einem 600 mm hohen Tisch auf und trägt die Turmelemente, die automatisch zusammengefügt einen 2700 mm hohen Turm bilden.

Die Bleche bzw. Turmelemente, die oktogonal zueinander positioniert ausgefahren den Turm in Form einer Röhre bilden, sind deponiert in acht kreisförmig um das Zentrum angeordneten Magazinen. Die Magazine verantworten den in Bezug auf das Zentrum horizontal orientierten Transport der Turmelemente, führen folglich die Zu- bzw. Rückführung der Turmelemente zwischen jeweiligem Magazin und zentraler Einheit aus. Letztere wiederum ist verantwortlich für den Auf- bzw. Abtransport der Turmelemente, d. h. sie schiebt die vom Magazin zugeführten Turmelemente nacheinander und aufeinander in die Höhe oder senkt sie in gleicher Reihenfolge ab. Die Mechanik des Turmauf- und abbaus und deren von der eigentlichen Konstruktion als unabhängig zu betrachtender Antrieb sind über jeweilige Grundplatten auf dem in ZUSES Zeichnungen mit Bock benannten Tisch befestigt (Abb. 1).



Abb. 1: Der Helixturm, nach der Restaurierung, auf ca. 2000 mm ausgefahren

Die Turmelemente sind in Form eines Oktogons nacheinander auf- bzw. absteigend schraubenwendelförmig angeordnet. Mit einer Umdrehung des Zahnrads, das die gesamte Mechanik bewegt, hebt sich der Turm um die Höhe eines Turmelements, um 120 mm. Berechnet aus dem Umfang des Oktogons von 696 mm und dem um 120 mm pro Windung wachsenden Turm ergibt sich für die Helix ein Steigungswinkel von näherungsweise 10° .

Die in der Patentschrift beschriebenen Sperrverbindungen zwischen den Turmelementen sind im Funktionsmodell nicht vorhanden. In Abb. 2 ist der Sperrriegelmechanismus zu sehen. Er setzt sich zusammen aus einem innenliegenden Schwenkhebel (12) mit zwei Schen-

keln (13, 14) und einem am oberen Schenkel befindlichen Zapfen (15). Der Zapfen (15) des Schenkels (13) greift in die Aussparung (16) eines darüberliegenden Turmelements (2) ein. Der untere Schenkel (14) weist einen Schlitz auf, in den der Stift (18) eines nachgereihten Turmelements eingreift. Die Sperrverbindungen sollen Zugfestigkeit garantieren.

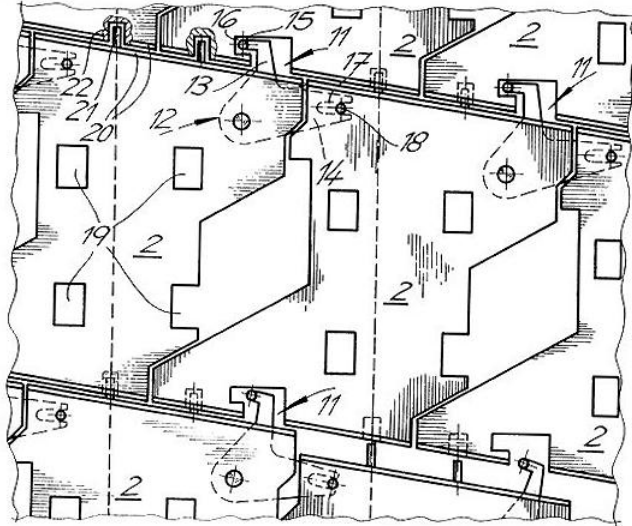


Abb. 2: Sperrriegelverbindungen zwischen den Turmelementen, nach DE 4119466 C2



Abb. 3: Turmelement des Helixturms, Foto: Achim Bunz

Die Bauteile des Helixturms sind vorwiegend aus Aluminium, wenige aus Stahl und Messing gefertigt. Die in das Modell eingesetzten Turmelemente (Abb. 3) bestehen aus Aluminium. Für ein 1 : 10 - Modell waren sie aus Stahl zu fertigen geplant.¹

Im Folgenden wird der Helixturms und dessen Mechanismus beschrieben, wobei sich die Benennung der Bauteile soweit möglich an der Patentschrift DE 41 19 466 C1 orientiert. Der Beschreibung sind die auszufaltenden Zeichnungen im Anhang 3 hinzu zu ziehen.

2.1 Beschreibung der Baugruppen

Einem Tisch bzw. Bock (600 mm x 1000 mm x 740 mm), in einfacher Bauweise mit Steck- und Schraubverbindungen aus vermutlich farblos lackierten Nadelhölzern zusammengesetzt, liegen zwei Vierkantrohre auf, die durch die aufgeschraubten Grundplatten von Helixturm und dessen Antrieb parallel gehalten werden und die abzunehmen möglich ist durch zwei in Bohrungen an den Enden der Vierkantrohre eingeschobene Stahlrohre. Als Tischplatte dienen zwei Plattenabschnitte derart, dass die Grundplatte des Helixturms von unten zugänglich ist.

¹ MONS, ZUSE, VOLLMAR 2005, S.79.

Antrieb

In den Bohrungen der rechteckigen Grundplatte (384 mm x 315 mm) sind vier Elemente des Antriebs mittels Schrauben oder Steckverbindungen befestigt (Abb. 4). Zu den Bauelementen des Antriebs gehören der Motor, das Zwischengetriebe, eine Baugruppe bestehend aus Bremsrad und zwei Zahnrädern, deren oberes eine Kurbel für den Handantrieb trägt, und das Antriebsrad. Alle sind jeweils auf einem Flansch drehbar gelagert. Daneben sind auf der Grundplatte befestigt ein Bremshebel und dessen Stellsteg, ein Bock mit drei Stufen für die Geschwindigkeitsregulierung des Zwischengetriebes und ein kleiner Vierkant mit darauf befestigtem Kunststoffstreifen, der über dem Antriebsrad liegt. Wird das

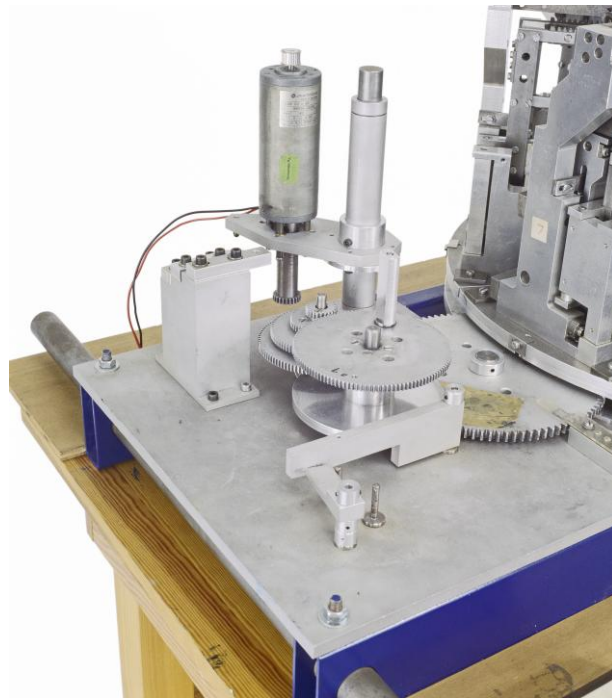


Abb. 4: Antrieb

antreibende Rad mit der Kurbel (Bildmitte) nach rechts gedreht, bewegt sich der Turm nach unten, in entgegengesetzter Drehrichtung nach oben.

Funktion des Antriebs

Der auf einem Flansch drehbar gelagerte Motor greift über ein Zahnrad (\varnothing 26 mm Zähnezahl Z 24) in das Zwischengetriebe ein. Es setzt sich zusammen aus vier nach oben im Durchmesser kleiner werdenden Zahnrädern (\varnothing 102 mm Z 100; \varnothing 82 mm Z 80; \varnothing 50 mm Z 48; \varnothing 26 mm Z 24). Der Eingriff des vom Motor angetriebenen Zahnrads in eines der verschiedenen großen Zahnräder des Zwischengetriebes ermöglicht die Veränderung der Antriebsgeschwindigkeit bei konstanter Motordrehzahl. Dies geschieht durch Arretierung der Motoreinheit auf einer der drei Stufen des Stellbocks. Ein Zahnrad des Zwischengetriebes greift in das auf einem nebenliegenden Flansch oben befestigte Zahnrad (\varnothing 205 mm Z 100) ein. Unterhalb dieses Zahnrads sind eine Bremsscheibe (\varnothing 120 mm) und darunter ein Zahnrad (\varnothing 44 Z 20) als Übertragungsrad befestigt. Letzteres dreht sich in der durch das darüber liegende Rad vorgegebenen Geschwindigkeit und greift in das Antriebsrad ein, das seine Bewegung auf ein Zahnrad oberhalb der Grundplatte des Helixturms überträgt und damit die eigentliche Mechanik des höhenverstellbaren Turms bewegt. Der auf der Grundplatte befestigte Bremshebel kann seitlich an die Bremsscheibe geschwenkt und dort durch den auf der Grundplatte befestigten Bremshebelstellsteg angedrückt und arretiert werden. Damit wird die Drehbewegung der ins Zwischengetriebe und in das Antriebsrad eingreifenden Zahnräder schleifend verringert und gestoppt.

Die Bauteile des Antriebs sind größtenteils aus Aluminium gefertigt. Elemente wie Schrauben, Stellstifte, Stellringe, Unterlegscheiben und Teile des Motors sind Eisenlegierungen.

Beschreibung der Bauelemente für die Höhenverstellung

Einer die gesamte Mechanik der Höhenverstellung tragenden Grundplatte (\varnothing 540 mm) haftet ein Vierkantring (20 x 20 mm; \varnothing 460 mm) mit einer 145 mm breiten Öffnung für das Antriebsrad wie oben beschrieben an. Dem Vierkantring liegt in Form dreier Ringsegmente eine 2 mm starke Fläche (20 x 20 mm) als Abstandhalter für die acht Magazine tragende Grundplatte auf. Neben dem Vierkantring haftet einer Stufe auf der Grundplatte des Helixturms die Gehäusescheibe eines Axial-Rillenkugellagers formschlüssig an (\varnothing 300 mm), der Kugellagerkäfig mit 34 Kugeln (\varnothing 21,5 mm) und Wellenscheibe aufliegen. Im Zentrum der Grundplatte ist ein Zylinder (\varnothing 68 mm, Höhe 198 mm) mit zwei Ansätzen (\varnothing 140 mm bzw. \varnothing 100 mm) über vier Schrauben befestigt. Der Zylinder trägt am unteren Ende in einer Sacklochbohrung einen Stift. Den Zylinder umgibt am Grund eine Rotorscheibe mit zwei Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel. Diese Scheibe (\varnothing 239,5 mm) liegt nicht der Grundplatte auf, sondern in Verbindung mit weiteren Bauelementen dem Kugellager, das den rotierenden Teil der zentralen Einheit trägt. Auf der Rotorscheibe sind in Nuten mit jeweils acht Schrauben zwei Hohlzylinder, Wandstärke 10 mm, d. h. ein innerer und ein äußerer Rotorzylinder befestigt (Innenzylinder \varnothing 190 mm; Außenzylinder \varnothing 243 mm). Die Verbindung von Rotorscheibe und Rotorzylindern mittels Schrauben erfolgt von der Unterseite durch zwei Bohrungen in der Grundplatte. Der innere Rotorzylinder weist an der Außenseite, der äußere Rotorzylinder an der Innenseite eine Steuerfläche für die Steuerstege auf, die am oberen Ende jeweils einen Hubarm tragen.



Abb. 5: Helixturm, Bauteile der zentralen Einheit (von links nach rechts: Rotorscheibe mit Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel, Zentralzylinder und Stator, der Stern mit den Führungen für die Steuerstege und die zwei Rotorzylinder mit Steuerflächen für die Steuerstege), Foto: Achim Bunz

Den zentralen Zylinder umgibt ein Hohlzylinder, der sog. Stator (Höhe 347 mm). Positioniert wird er durch den Stift am unteren Ende des Zentralzylinders oberhalb der Rotorscheibe. In der Mitte des Stators ist über vier Schrauben ein Montagering befestigt (\varnothing 100 mm), der an den vier Eckpunkten der nach außen gezogenen Fläche jeweils ein Plättchen trägt. Er dient der Befestigung eines Halterings (\varnothing 192 mm), der die Führungen für die Steuerstege positioniert.

niert. Am Umfang des Stators befinden sich über jeweils zwei Schrauben befestigt Montagewinkel, 16 in einer Höhe von 22 mm, acht in einer Höhe von 129 mm und acht in der Höhe von 210 mm. In Bohrungen der Montagewinkel lagern zwei verschieden lange Ausführungen von Schwenksteuerhebeln. Ein Schwenksteuerhebel setzt sich zusammen aus zwei Stahlstangen ($\varnothing 2,5$ mm), die über einen Vierkant verbunden und dadurch in der vertikalen Linie versetzt sind. Das jeweils untere Ende der unteren Stange ist über einen Vierkant mit einem nach unten weisenden Kugellager ($\varnothing 16$ mm) verbunden, das in eine der zwei Steuerflächen der Rotorscheibe eingreift.



Abb. 6: Helixturm, Bauteile der zentralen Einheit, Foto: Achim Bunz



Abb. 7: Helixturm, Bauteile der zentralen Einheit (links unten zwei am Stator zu befestigende Schwenksteuerhebel, rechts unten zwei Steuerstege), Foto: Achim Bunz

Die Sicht von außen auf den Stator wird verdeckt durch 16 vertikale Führungen für die Steuerstege (Abb. 7). An den Enden der 16 Arme eines der oberen Fläche des Stators aufliegenden Sterns (\varnothing 192 mm) sind mittels Inbusschrauben die oberen Enden der vertikalen Führungen (Länge 377 mm) befestigt. Durch eine zusätzliche Schraubverbindung am Haltering mit Verbindung zum Montagering des Stators sind die Positionen der Führungsstege definiert. Führungsstege mit außen aufgeklebtem Blechstreifen und Führungsstege mit außen aufgeschraubtem Steg wechseln sich in der kreisförmigen Anordnung ab. In Nuten dieser Führungsstege lagern vertikal beweglich im Wechsel acht kurze und acht lange Steuerstege (s. Anhang 3, Blatt 4). Diese Steuerstege tragen in einer oberen und einer unteren Aussparung jeweils ein auf einer Achse drehbar gelagertes Rädchen, das seitlich der Steuerstege soweit übersteht, dass es links und rechts in die Nuten der am Stern befestigten Führungen eingreifen kann. Kurze Steuerstege sind aus einem Vierkant gefertigt, lange Steuerstege bestehen aus zwei mittels Inbusschrauben verbundenen Vierkanten. Am unteren Ende eines Steuerstegs ist ein Radialkugellager (\varnothing 19 mm) mit Lauffebene parallel zum Steuersteg befestigt. Bei kurzen Steuerstegen weist es nach außen, um in die Steuerfläche des äußeren Rotorzylinders einzugreifen. Bei langen Steuerstegen weist das Kugellager nach innen, um in die Steuerfläche des inneren Rotorzylinders einzugreifen. Am oberen Ende eines jeden Steuerstegs ist ein Träger in Form eines kurzen Rohrs für den Hubarm befestigt. Er lagert horizontal beweglich im Träger und weist neben einer Stufe am bei kreisförmiger Anordnung um den Stator nach außen zeigenden Ende eine halbkreisförmige Ausfräsung auf, in die die obere Stange eines Schwenksteuerhebels eingreift (s. Anhang 3, Blatt 5).



Abb. 8: Helixturm, Rotorscheibe mit Steuerflächen für die Magazinbewegung, Foto: Achim Bunz

Wie beschrieben liegt der Grundplatte des Helixturms ein Axial-Rillenkugellager (Höhe 43 mm) auf. Es trägt neben der Rotorscheibe mit den Rotorzylindern eine weitere Rotorscheibe (\varnothing 404 mm) mit zwei Steuerflächen für die Horizontal- und Vertikalbewegung der Magazine (Abb. 8). Der untere Durchmesser ist gegeben durch ein Zahnrad (Z 200), zusammengesetzt aus vier über Steckverbindung auf einer Kreisfläche positionierten Zahnradsegmenten. Dem sitzen zwei Ringe (\varnothing 340 mm) mit jeweils einer Steuerfläche auf, eine an der Außenfläche für die Vertikalbewegung und eine oben aufliegende für die Horizontalbewegung der Magazine. Der oberen Steuerfläche sind fünf Korrekturabschnitte eingesetzt, die mittels zahlreicher Schrauben befestigt sind. An der oberen inneren Kante der Rotorscheibe befindet sich ein

Montagewinkel, über den sie mit dem äußeren Rotorzylinder verbunden wird, der auf der Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Steuerschwenkhebel befestigt ist und die Vertikalbewegung der langen Steuerstege initiiert.

Auf der Grundplatte des Helixturms ist über Schraubverbindungen eine Grundplatte (\varnothing 540 mm) für die Positionierung der acht Magazine befestigt, die für die Horizontalbewegungen der Turmelemente bzw. deren Zuführung zur Hub- oder Senkmechanik des Turms verantwortlich sind. Diese Grundplatte liegt dem zu Beginn des Kapitels beschriebenen Vierkantring mit den drei abstandhaltenden Segmenten auf.

Die Grundplatte eines Magazins (Abb. 9, 10) hat die Form eines Achtelringsegments und ist über zwei Schrauben auf der die acht Magazine in kreisförmiger Anordnung tragenden Grundplatte befestigt. Ein Magazin wird justierbar positioniert durch ein Klemmblech, das in eine von acht Aussparungen am Rand der großen Grundplatte eingreift. Auf der 85 mm breiten Grundplatte eines Magazins befestigt ist ein 261 mm ho-

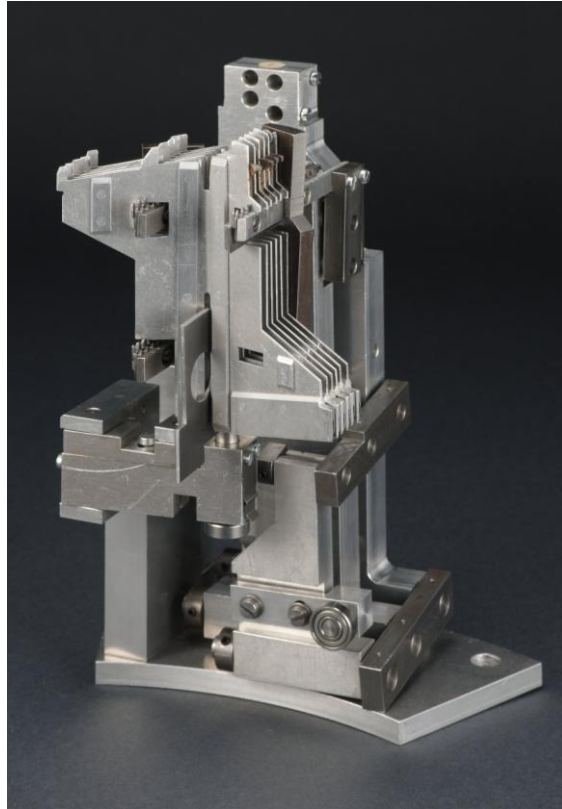


Abb. 9: Helixturm, Magazin, Foto: Achim Bunz

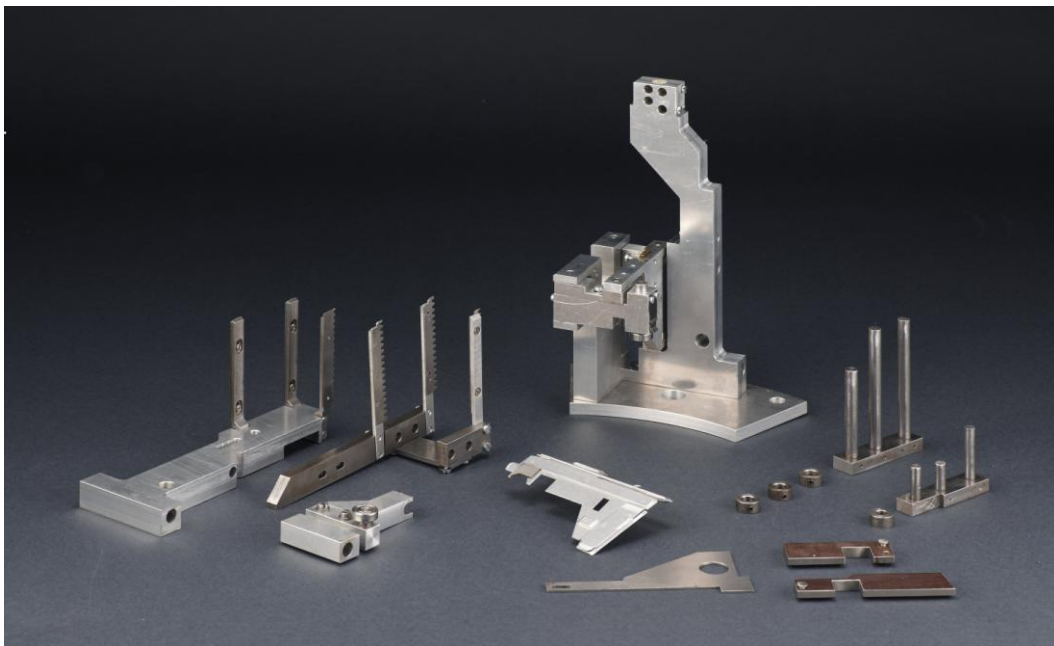


Abb. 10: Helixturm, Bauteile eines Magazins, Foto: Achim Bunz

her, seitlich in Stufen abgesetzter Standarm, an dem ein senkrecht zur zentralen Einheit gerichtetes Führungsblech befestigt ist. Das 142 mm lange Führungsblech dient der exakten Positionierung der Turmelemente auf den Zahnstegen und endet in einer Aussparung des auf der Führung für die Steuerstege befestigten Stegs zur Führung der Turmelemente der zentralen Einheit. Dem Standarm nachgeordnet, in Reihe dem kleiner werdenden Radius der Grundplatte folgend, befinden sich ein Hebearm mit Zahnstegen und ein Führungsarm mit Kugellager. Diese drei Bauelemente dienen der Vertikalbewegung der Turmelemente, weil das Kugellager des Führungsarms (Höhe 97 mm) in die äußere Steuerfläche des Rotorzylinders für die Magazinbewegung eingreift. Standarm, Hebearm und Führungsarm sind verbunden über zwei Stege mit jeweils drei Achsen, die durch die genannten Bauteile horizontal hindurch reichen und am anderen Ende mittels Stellringen die Position und Bewegungsfreiheit der drei Arme sichern. Durch die mittels der parallelen Achsen synchronisierte Bewegung der drei Arme werden die drei waagerechten Zahnstege am Hebearm über die Zahnhöhe der Zahnstege der Horizontalbewegung hinweg gehoben und auf deren Höhe gesenkt, entsprechend der Steuerfläche, in die das Kugellager des Führungsarms eingreift. Die Zahnstege sind mit zwei Schrauben seitlich am 217 mm hohen Hebearm befestigt. Zwei Zahnstege bilden mit dem Hebearm einen gemeinsamen oberen Abschluss. Der dritte Zahnsteg ist einige Zentimeter unter dem von außen betrachtet rechten Zahnsteg montiert. Die Horizontalbewegung eines Magazins bewirken ein Standfuß, ein Schubarm mit Zahnstangenriegel und drei Zahnstege, ein hinterer und ein vorderer Schubarm. Der 120 mm hohe Standfuß ist senkrecht zur Achse der zentralen Einheit auf der Magazingrundplatte befestigt. Durch vertikale Steckachsen ist er an seinen Enden mit den beiden Schubarmen verbunden. Die Schubarme sind dadurch horizontal beweglich. Der Schubarm mit Zahnstegen ist mit dem hinteren und vorderen Schubarm verbunden. Er trägt die Zahnstangenriegel, in der selben Anordnung wie der für die Vertikalbewegung der Turmelemente zuständige Hebearm. Seine und die Zahnstege von Hebearm und Zahnstangenriegel sind in der Höhe um wenige Millimeter versetzt. Durch die Vertikalbewegung nämlich derart, dass die jeweils zwei parallelen Zahnstege von der gemeinsamen auf eine höhere Position angehoben werden. Bei der durch die obere Steuerfläche des Rotorzylinders veranlassten Horizontalbewegung werden durch das Zusammenspiel der Zahnstege die Turmelemente zur zentralen Einheit hin versetzt. Denn auf den Zahngründen eines Magazins ruhen die Aussparungen bzw. Manipulierausnehmungen der Turmelemente, die durch Auf-, Vor- und Abbewegung der jeweils paarweise angeordneten Zahnstege horizontal verschoben werden.



Abb. 11: Helixturm, Turmelement, Foto: Achim Bunz



Abb. 12: Helixturm, Turmelementeverband, Foto: Achim Bunz

Ein Turmelement ist 134 mm hoch, 122 mm breit (Abb. 11). Die Grundform ist ein Parallelogramm. Es ist gebogen um die vertikale Mittelachse, der Innenwinkel beträgt 135° . Der obere Rand fällt von links nach rechts in einem Winkel von näherungsweise 10° (Steigungswinkel). Von außen gesehen links ist ein Turmelement abgestuft nach unten. Gespiegelt wiederholt sich diese Abstufung von unten nach oben an der von außen gesehen rechten Seite eines Turmelements. Die mittlere Stufe auf der von außen gesehen rechten Seite eines Turmelements ist 2 mm breit vertikal eingeschnitten und um 1 mm nach außen gebogen. Dies dient dem Abstützen des Turmelements auf dem Hubarm. Die Mitte, deren vertikale Achse den Biegewinkel beschreibt, ist 3 mm breit von oben 15 mm und von unten 60 mm lang ausgeschnitten. In die untere Aussparung greift das Führungsblech des Magazins ein. Das Turmelement ist außen und innen mit acht aufgenieteten Verstärkungsstegen versehen, jeweils 1 mm stark. Davon befinden sich zwei Längsverstärkungen beidseitig der vertikalen Mitte, zwei kurze Abschnitte auf der äußeren Stufe der linken und rechten Seite und am unteren rechten Rand eines Turmelements zwei auf beiden Seiten sich gegenüberliegende Verstärkungen, die nach unten überstehen. Dadurch ergibt sich dort ein Zwischenraum, in den ein im Turmmodell nachfolgendes Element mit seinen drei Zinken eingreifen kann. Die drei Zinken, 9 mm, 8 mm und 5 mm breit, bilden den oberen Abschluss eines Turmelements im Abstand von 30 und 33 mm. Sie sind oben angeschrägt und angefast, um besser in den Zwischenraum des im Turm darüber liegenden Turmelements wie beschrieben eingeschoben werden zu können. Auf den zwei Seiten eines Turmelements befinden sich rechteckige Aussparungen, Seitenlänge 14 mm,

Höhe 15 mm. Dort hinein greifen die Hubarme, die das jeweilige Turmelement nach oben schieben. In der Patentschrift werden die Aussparungen als Manipulieraussparungen bezeichnet. Die im Magazin hintersten Turmelemente verfügen über zwei kleine, kreisrunde Aussparungen am oberen Rand. In diese wird jeweils ein Gewicht gehängt, das die Aneinanderreihung der im Magazin senkrecht hängenden Turmelemente stabilisiert, weil die Bauteile im 1 : 30 - Modell sehr leicht sind. Am linken Rand ist außen ein Stützelement aufgeklebt, das in der Windung des Turms dem davor befindlichen Turmelement anliegt und sich daran abstützt (Turmelementeverband s. Abb. 12).

Eine „Krone“ schließt den Helixturm nach oben ab (Abb. 13). Ein waagrecht liegendes Blech in Form eines Oktogons mit einer Seitenlänge von 87 mm hat in der Mitte ein Loch (\varnothing 40 mm), in das ein Gewicht in Form eines Rohrabschnittes eingesteckt wird. Unterhalb des Blechs befindet sich ein 20 mm hoher Rahmen, der die Krone stabilisiert. Daran sind nach unten weisend außen befestigt acht in der Länge abgestufte Bleche, die am unteren Ende der Form eines Turmelements entsprechen. Die Krone dient dem Zusammenhalt der ausgefahrenen Turmelemente. Das Gewicht soll dem vertikalen Verband der Turmelemente untereinander bzw. der Stabilisierung einer Säule dienlich sein.



Abb. 13: Helixturm, Krone, Foto: Achim Bunz

Zusammengefasst vollziehen die Bewegung der Turmelemente bzw. deren Auf- und Ineinanderschieben die zentrale Einheit und die acht Magazine. Die zentrale Einheit verantwortet die Vertikalbewegung der Turmelemente. Sie setzt sich zusammen aus Zentralzylinder, Stator mit Schwenksteuerhebeln, der liegenden Rotorscheibe mit zwei Steuerflächen für die Bewegung der Schwenksteuerhebel zur Vor- und Zurückbewegung der Hubarme, zudem zwei Rotorzylindern, die Auf- und Abbewegung der Steuerstege und daran befestigter Hubarme initiieren. Bereitstellung und Horizontalbewegung der Turmelemente erfolgen durch die auf einer externen Grundplatte befestigten Magazine, deren Bewegung die mit der zentralen Einheit verbundene Rotorscheibe veranlasst.

Die Bauteile der Mechanik des Helixturms sind größtenteils aus Aluminium gefertigt. Abgesehen von Schrauben, Unterlegscheiben, Stellstiften und Kugellagern bestehen die Abschnitte der Auflagefläche für die Magazingrundplatte, einige Bauteile der Zahnstangenriegel der Magazine und die Zahnstege, der Stift im Zentralzylinder, die Schwenksteuerhebel, die Steuerstege, daran befestigte Träger und Hubarme und die Führungen der Steuerstege aus Eisenlegierungen. Die insgesamt 16 Rädchen der Steuerstege, den Führungen für die Steuerstege aufgesetzte Blechstreifen und Bleche am Verbindungsring sind aus Messing gefertigt.

2.2 Funktionsbeschreibung

KONRAD ZUSE hatte einen elektrischen Antrieb in Form eines Motors vorgesehen, verwendete aber meist den Handantrieb, um eine Beschädigung des Modells bei Fehlerhaftigkeit, d.h. Verklemmen einzelner Bauteile zu vermeiden.² Deshalb wird auch hier von manuellem Antrieb ausgegangen, wobei letztlich nur der Motor mit Stellbock und das Zwischengetriebe nicht berücksichtigt werden.

Mit der Handkurbel auf dem oberen Zahnrad der mittleren Baueinheit des Antriebs (Abb. 4) wird das unter der Bremsscheibe liegende, übertragende Zahnrad synchron bewegt. Es greift in das Antriebsrad ein, das seine Bewegung auf das Zahnrad der Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Magazine überträgt und damit die eigentliche Mechanik des Helixturms bewegt. Denn die Rotorscheibe mit den zwei Steuerflächen für die Vertikal- und Horizontalbewegung der Magazinelemente ist über einen Montagewinkel verbunden mit dem äußeren Rotorzylinder, der konzentrisch zum inneren Rotorzylinder befestigt ist auf der Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel. Wenn sich also das Zahnrad dreht mit den Steuerflächen für die Magazinbewegung, drehen sich gleichzeitig beide Rotorzylinder und die Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel.

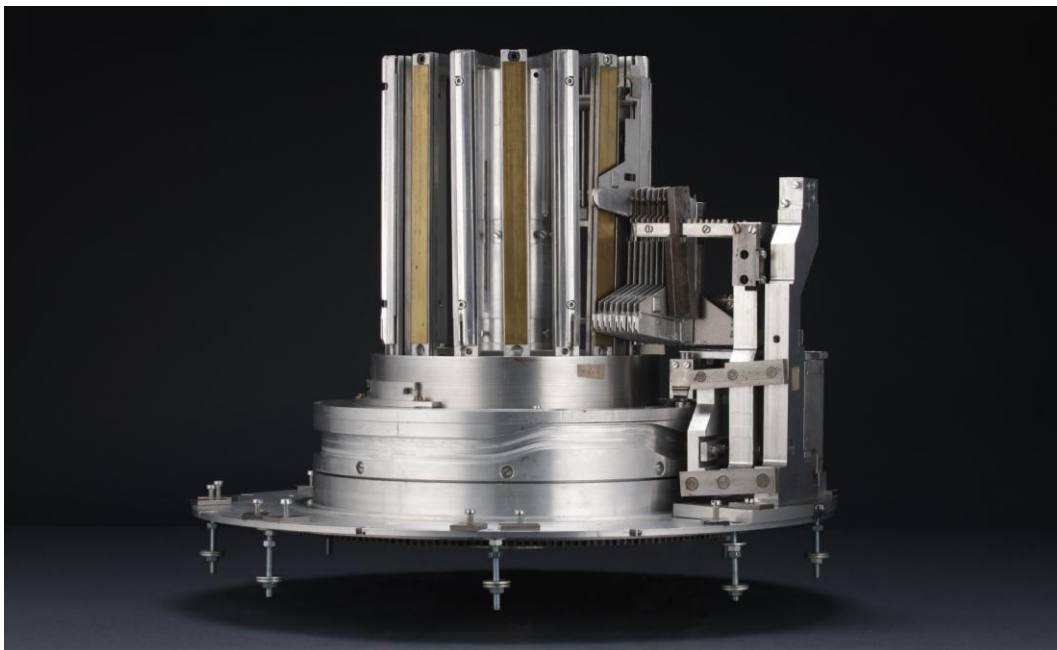


Abb. 14: Helixturm, zentrale Einheit und ein Magazin, Foto: Achim Bunz

² HERRMANN FLESSNER am 14.01.08 (Email).



Abb. 15:
Helixturm,
Schwenksteuerhebel, CAD-Zeichnung

Die Rotorscheibe der zentralen Einheit trägt zwei übereinanderliegende Steuerflächen zur Führung für jeweils acht kurze und acht lange Schwenksteuerhebel (Abb. 15). Deren Kugellager greifen in die Steuerflächen ein. Die oberen Stangen der Schwenksteuerhebel werden parallel zu den Kurven der Steuerscheiben vor- und zurückbewegt. Die Stangen greifen seitlich in die Hubarme ein, die horizontal beweglich in den Trägern an den oberen Enden der 16 Steuerstege gelagert sind (Abb. 16). Die Vor- und Zurückbewegung der Hubarme wird also initiiert durch die Stangen der Schwenksteuerhebel. Synchron zur Horizontalbewegung der Hubarme werden sie aufgrund ihrer Befestigung an den Steuerstegen auf und ab bewegt. Die Steuerstege greifen am jeweils unteren Ende über je ein Kugellager in die Steuerfläche eines Rotorzylinders ein. Kurze Steuerstege folgen dem Verlauf der Steuerfläche des äußeren Rotorzylinders, lange Steuerstege dem Verlauf des inneren Rotorzylinders. Durch die Positionierung der Steuerflächen zueinander werden kurze und lange Steuerstege und kurze und lange Schwenksteuerhebel derart bewegt, dass die Hubarme beim Drehen der Kurbel des Antriebs gegen den Uhrzeigersinn unten ausgefahren, nach oben bewegt, dort eingefahren und wieder nach unten bewegt werden. Das Drehen der Kurbel des Antriebs initiiert also die Bewegungen der zentralen Einheit des Helixturms derart, dass die Hubarme in jeweils eine von drei Aussparungen der Turmelemente eingreifen, wenn sie aus den Magazinen herausgeschoben und der zentralen Einheit überführt werden. Die Hubarme arbeiten wechselweise. Der Hubarm eines kurzen Steuerstegs greift zuerst in die Aussparung eines Turmelements und bewegt es soweit nach oben, bis der Hubarm einfährt und dadurch die Aufwärtsbewegung des Turmelements dem kurz zuvor ausgefahrenen Hubarm übergibt, der an einem langen Steuersteg befestigt ist. Die kooperierende Arbeit der Hubarme an langen und kurzen Steuerstegen ist abgestimmt auf die Transportbewegung der Turmelemente in den Magazinen. Das Gewicht des ausgefahrenen Turms lastet auf acht Hubarmen.



Abb. 16: Helixturm, Steuerstege, CAD-Zeichnung

An jedem Magazin (s. Anhang, Blatt-Nr. 6 und 7) sind zwei Kugellager montiert. Eines ist befestigt am Führungsarm und verantwortlich für die Vertikalbewegung der Turmelemente im Magazin, indem es am Umfang des Rotorzylinders in die Steuerflächen für die Magazinbewegung eingreift. Das zweite Kugellager ist befestigt am vorderen Schubarm und verantwortlich für die Horizontalbewegung der Turmelemente im Magazin, indem es in die dem Rotorzylinder aufliegende Steuerfläche eingreift. Die Magazine dienen der Deponierung der Turmelemente, 13 je Magazin, und bewegen sie zur zentralen Einheit hin oder weg davon. Der Transport erfolgt über Zahnstegen. Wie oben beschrieben liegt ein Turmelement insgesamt sechs Zahnstegen auf, paarweise greifen sie in drei Aussparungen eines Turmelements ein. Von den jeweils paarweise angeordneten Zahnstegen ist einer am Hebearm, der andere am davorliegenden Zahnstangenriegel befestigt, der wiederum mit dem hintere

ren Schubarm fest verbunden ist, der der Steuerfläche für die Horizontalbewegung folgt. Der Hebearm ist verbunden über einen Steg mit und zwischen dem fest auf der Grundplatte eines Magazins befindlichen Standarm und dem Führungsarm, dessen Kugellager eingreift in die am Umfang der Rotorscheibe befindliche Steuerfläche. Der Steg trägt drei Achsen. Je eine greift in den Stand-, in den Hebe- und in den Führungsarm. Dem Verlauf der Steuerfläche für die Vertikalbewegung folgend wird der Steg mit den drei Achsen geschwenkt um die Achse, die in den fest mit der Grundplatte des Magazins verbundenen Standarm eingreift. Der Führungsarm überträgt mit seinem Kugellager folglich den Verlauf der Steuerfläche als eine Vertikalbewegung des Hebearms, an dem die Zahnstege befestigt sind. Zum Transport der Turmelemente fehlt noch die Horizontalbewegung. Dazu kooperiert die Vertikalbewegung der Zahnstege des Hebearms mit der Horizontalbewegung der Zahnstege des Zahnstangenriegels. Die Horizontalbewegung wird ausgelöst durch das Eingreifen des Kugellagers am vorderen Schubarm in die dem Rotorzylinder aufliegende Steuerfläche. Der vordere Schubarm ist beweglich über vertikale Achsen verbunden mit dem Schubarm, der den Zahnstangenriegel trägt. Das Kugellager des Führungsarms greift in die Steuerfläche für die Horizontalbewegung und bewegt deren Verlauf folgend den hinteren Schubarm vor und zurück. Damit werden die Zahnstege am Zahnstangenriegel vor und zurückbewegt. Im Ergebnis der Horizontal- und Vertikalbewegung der jeweils drei Zahnstege ergibt sich für die Turmelemente eine Vor- oder Zurückbewegung. Denn sie liegen grundsätzlich den Zahngründen zweier paralleler Zahnstege auf. Der am Hebearm befestigte Zahnsteg hebt sich, der am Schubarm über den Zahnstangenriegel befestigte Zahnsteg bewegt sich nach vorne oder entsprechend der Antriebsrichtung des Zahnrads der Rotorscheibe zurück. Durch das aufeinander abgestimmte Heben und Senken und Vor- und Zurückbewegen zweier paralleler Zahnstege werden die darauf liegenden Turmelemente in horizontaler Ebene transportiert.

Mit jeder Windung steigt der Turm um die Höhe eines Turmelements von 120 mm. Der Steigungswinkel beträgt näherungsweise 10° . Er berechnet sich aus der Höhe eines Turmelements und dem Umfang des Turms von 696 mm. ($\tan \alpha = 120/696$)

Wird das Zahnrad des Antriebs ($\emptyset 44$ mm Z 20) zehnmal gedreht, dann dreht sich das übertragende Zahnrad des Antriebs zweimal ($\emptyset 205$ mm Z 100) und das Zahnrad mit den Steuerflächen für die Magazinbewegung einmal ($\emptyset 404$ mm Z 200). Dies ergibt sich aus den Übersetzungen ($i = 200/100 = 2$ und $i = 100/20 = 5$, daraus folgt $2 \times 5 = 10$). Dreht sich das Zahnrad des Antriebs einmal, dann dreht sich das Zahnrad mit den Steuerflächen für die Magazinbewegung um $1/10$ und der Turm steigt um $1/10$ der Höhe eines Turmelements, also um 12 mm.

Den Aufbau und die Funktion des Helixturms veranschaulicht der dieser Arbeit in Anhang 4 in Form einer DVD beiliegende Film, eine Vorabversion.



3 Konrad Zuse

KONRAD ZUSE, Erfinder, Künstler und Philosoph, wurde am 22. Juni 1910 in Berlin-Wilmersdorf als zweites Kind der Eheleute EMIL und MARIA ZUSE geboren. 1912 siedelte die Familie in die ostpreussische Kleinstadt Braunsberg um, 1924 nach Hoyerswerda, Sachsen. Dort beendete KONRAD ZUSE nach Besuch des Reformgymnasiums siebzehnjährig die Schule. Mit großem zeichnerischen Talent und gleichzeitiger Begeisterung für technische Konstruktionen war ihm die Entscheidung für ein der Schulausbildung folgendes Ingenieurstudium in Berlin nicht leicht gefallen. Im zunächst begonnenen Fach Maschinenbau vermisste KONRAD ZUSE die Möglichkeit der freien Entfaltung seines schöpferischen Geistes und wechselte zum Fach Architektur, doch auch dort wurde seine Vorstellung der Vereinigung von schöpferischem Gestalten und Ingenieurskunst enttäuscht. Schließlich studierte KONRAD ZUSE Bauingenieurwesen und war nach dem Studium 1935 als Statiker bei den Henschel-Flugzeugwerken beschäftigt. Die Idee, einen Rechenautomaten zu konstruieren, ließ ihn die Stelle als Statiker bald aufgeben und in der elterlichen Wohnung in Berlin eine Werkstatt einrichten, in der mit Unterstützung durch Freunde und Familie 1938 das Versuchsmodell einer rein mechanisch arbeitenden Maschine, die Z1 als erste frei programmierbare Rechenmaschine der Welt entwickelt worden ist. Dieser Erfindung liegt die Idee zugrunde, nicht wie bis dahin üblich eine Rechenmaschine dezimal, sondern im Binärsystem mit Ja-Nein-Werten arbeiten zu lassen, mit Null und Eins. Unabkömmlich gestellt war KONRAD ZUSE während des Krieges weiterhin bei den Henschel-Flugzeugwerken mit der Berechnung statischer Probleme im Flugzeugbau beschäftigt und arbeitete in freier Zeit an der Verbesserung seiner Erfindung. So folgten der Z1-Maschine die Z2 und die Z3, die mit Relais³ arbeiteten. Im Mai 1941 konnte KONRAD ZUSE einem kleinen Kreis von Wissenschaftlern die Rechenmaschine Z3 vorführen, womit „... *die Realisierbarkeit des Zuseschen Konzepts erstmals praktisch bewiesen worden* ...“⁴ war. In der 1942 gegründeten „Zuse Ingenieurbüro und Apparatebau Berlin“ konstruierte ZUSE die Z4, die als einzige der vier Rechenanlagen über die Zeit des Krieges auf einer abenteuerlichen Reise von Berlin nach Süddeutschland hatte gerettet werden können.

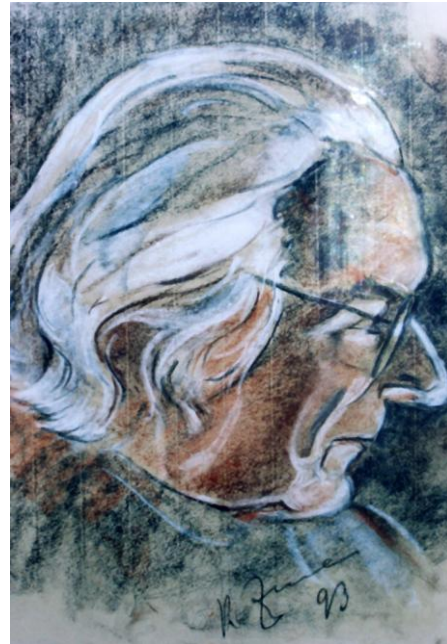


Abb. 17: Konrad Zuse, Selbstbildnis, 1993,
Besitz: Arthur Merz

Die letzten Kriegsmonate verbrachte KONRAD ZUSE mit seiner im Januar 1945 geheirateten Frau GISELA ZUSE, geb. BRANDES, in Hinterstein im Allgäu. In der ländlichen Abgeschiedenheit konnte er die für theoretische Arbeiten erforderliche Ruhe finden. Es entstanden frühe Ideen zu sich-selbst-reproduzierenden-Systemen und zum Plankalkül als einer ersten formalen Programmiersprache.

³ Mit „Relais“ wird ein elektromagnetischer Schalter bezeichnet, bei dem mittels Steuerstrom ein Stromkreis geschlossen oder geöffnet werden kann.

⁴ PETZOLD 2004, S. 502.

1947 gründete KONRAD ZUSE zusammen mit HARRO STUCKEN das Zuse Ingenieurbüro, Hopferau bei Füssen. Aufträge der ETH Zürich und des amerikanischen Unternehmens Remington-Rand erlaubten dem jungen Unternehmen Zugriff auf finanzielle Mittel, die den Ausbau der Firma ermöglichten.

1949 wechselte die Familie den Wohnsitz und lebte fortan in Neukirchen im Kreis Hünfeld, Hessen. HARRO STUCKEN, KONRAD ZUSE und ALFRED ECKHARD gründeten dort die Zuse KG, in der bis in die 60er Jahre des 20. Jahrhunderts erfolgreich Computer gebaut worden waren. In den 1960er Jahren kam es nicht zuletzt wachsender Konkurrenz wegen zu finanziellen Schwierigkeiten. 1964 war die Rheinstahl AG als Teilhaberin aufgenommen worden. 1965 hatte die Brown Boveri Company alle Geschäftsanteile übernommen, bevor sie die Zuse KG 1967 vollständig an die Siemens AG übergab. ZUSE schied 1969 aus dem Betrieb aus, der Name Zuse KG ist 1971 gelöscht worden.

Nach mehr als 20 Jahren unternehmerischer Tätigkeit hatte KONRAD ZUSE wieder Zeit, sich der Wissenschaft zu widmen. 1969 erscheint seine Arbeit *Rechnender Raum*, in dem er eine Brücke zu schlagen versucht zwischen Automatentheorie und Quantenphysik.⁵ Durch die Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD) gefördert, konnte ZUSE entsprechende Arbeiten an der Technischen Universität in Braunschweig durchführen. 1970 wird seine Autobiografie *Der Computer – Mein Lebenswerk* veröffentlicht, in der die Entwicklungen der Maschinen Z1 bis Z4 beschrieben sind und KONRAD ZUSE auf Erfahrungen mit seinen Firmen eingeht. 1972 wird die bereits seit Kriegsende entstehende Arbeit *Der Plankalkül* veröffentlicht, in der die gleichnamige Programmiersprache beschrieben ist. Ein weiteres Interessengebiet KONRAD ZUSES (und vielleicht auch die aufwendigste Auseinandersetzung mit einem Thema) betrafen die Sich-selbst-reproduzierenden-Systeme. Im Gegensatz zu JOHN VON NEUMANN hat KONRAD ZUSE diesen Gegenstand seit den späten 1960er Jahren praktisch umzusetzen versucht. In seinem Atelier im Familienhaus in Hünfeld baute ZUSE eine Montagestraße. Sie ist als Bestandteil des Nachlasses 2006 dem Deutschen Museum in München übergeben worden. Mit der Idee zu Sich-selbst-reproduzierenden-Systemen war KONRAD ZUSE, gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, mit einer Durchführbarkeitsstudie beauftragt worden, deren Betreuung die Fraunhofer Gesellschaft übernahm. Für ersten Ansätzen folgende Aktivitäten wurde seitens des Bundesministeriums die Beteiligung einer Industriefirma gefordert. Die Zahnradfabrik Friedrichshafen AG hatte Interesse und arbeitete mit. Durch dieses Unternehmen war KONRAD ZUSE die praktische Weiterentwicklung seiner Ideen versagt worden. Vielmehr wollte das Unternehmen durch Forschungsgelder unterstützt ein flexibles Fertigungssystem für die eigene Produktion schaffen. KONRAD ZUSE konnte beratend tätig sein, seine Ideen blieben dem Papier verhaftet. Das Projekt war im Kontext der innerhalb eines Bundesprogramms durch HANS MATTHÖFER, damaliger Bundesminister für Forschung und Technologie, initiierten, 1974-1989 großflächig angelegten Forschung zur „Humanisierung der Arbeitswelt“ zur Zeit der Veröffentlichung einer zweiten Ausgabe der Autobiografie 1984 nicht abgeschlossen.

Konrad Zuse – der Erfinder des Computers?

Anlässlich eines Treffens von Mathematikern der ganzen Welt 1998 in Paderborn fand eine „Internationale Konferenz über die Computergeschichte“ statt. Auf einer Podiumsdiskussion

⁵ JÜRGEN ALEX beschäftigt(e) sich nach eigenen Aussagen genauer mit dieser Thematik.

wurde über den Ursprung des Computers gesprochen. Mehrheitlich ist KONRAD ZUSE die Erfindung zugesprochen worden.⁶ Aber die Interpretation der Frage, wer den Computer erfunden habe, findet immer im Kontext der Gegenwart statt.⁷ Eine feste Definition für den Begriff „Computer“ existiert nicht. Die Computertechnik hat sich in den vergangenen Jahrzehnten gewandelt und wird sich weiterhin verändern, was Einfluss hat auf die Sichtweise der Geschichte des Computers. Galten bis vor einigen Jahren noch Inhalte der „Von-Neumann-Architektur“ als Kriterium, so werden zunehmend Konzepte moderner Betriebssysteme, die Parallelverarbeitung, interagierende autonome Systeme u. a. als wesentliche Bestandteile eines modernen Computers interessant. KONRAD ZUSE hatte 1941 einen programmierbaren, funktionsfähigen Rechenautomaten vorgeführt, der nicht mehr, wie bei Rechenmaschinen bis dahin üblich, im Dezimal-, sondern im Binärsystem arbeitete. Das binäre Zahlensystem, in dem es nur die Ziffern 1 und 0 gibt, geht zurück auf GOTTFRIED WILHELM LEIBNITZ (1646 – 1716), der seinerseits auf den Arbeiten des spanisch-italienischen Bischofs GIOVANNI CARAMUEL Y LOBKOWITZ (1606 – 1682) aufbaute.⁸ In der Diskussion um die Erfindung des Computers hat CHARLES BABBAGE (1791 – 1871) einen festen Platz. Von der *analytical engine* als, soweit bekannt, erster programmgesteuerter Rechenanlage, deren Mechanismus ein Dezimalsystem integrierte, hatte der Erfinder zu Lebzeiten nie ein funktionstüchtiges Modell fertigstellen können.

Die letzten Lebensjahre Konrad Zuses - Arbeiten am Helixturm

Diesem Abschnitt zugrundeliegende Informationen über die letzten Lebensjahre KONRAD ZUSES, in denen er den Nachbau der Z1 für das Technikmuseum in Berlin abschließt und mit der Konstruktion des Helixturms beginnt, beruhen primär auf Aussagen seiner jüngsten Tochter, HANNELORE ZUSE-STÖCKER, die 16 Jahre die Sekretärin ihres Vaters und dessen engste Vertraute gewesen war.

Spätestens seit 1987 beschäftigte sich KONRAD ZUSE mit der Rekonstruktion der Z1, deren Unterlagen und Prototyp durch den zweiten Weltkrieg verloren gegangen waren und deren Funktionsfähigkeit zu beweisen ZUSE ein Anliegen gewesen ist. Er hatte die anlässlich des offiziellen 50. Geburtstags des Computers wiederherzustellende Maschine, unterstützt durch die Deutsche Informationstechnische Industrie, aus seinen Erinnerungen rekonstruiert und den Nachbau, unterstützt durch die Siemens AG, respektive ARTHUR MERZ als ehemaliger Direktor, und zwei Studenten, 1989 fertiggestellt. Der Nachbau der Z1 steht heute im Technikmuseum in Berlin.

HANNELORE ZUSE-STÖCKER berichtete während eines Gesprächs mit dem Autor in Hünfeld über den Alltag mit dem Vater. Vormittags habe er im Atelier gearbeitet, sei zum Mittagessen in eine untere Etage des dreistöckigen Familienhauses gekommen und hätte sich nach einem Spaziergang am Nachmittag wieder seiner Arbeit im Atelier gewidmet, das über eine Fensterfront belichtet sehr hell und mit dem gegenüberliegenden Park auf der anderen Seite der verkehrsberuhigten Straße sehr still ist. Waren die Kinder im Atelier gewesen, so wussten sie sich ruhig zu verhalten und das Atelier zu verlassen, wenn ihre Anwesenheit stören konnte. Im Atelier hatte KONRAD ZUSE auf einer Staffelei gemalt und am Zeichenbrett konstruiert, immer im weißen Kittel. Einen letzten Kittel hat die Familie aufbewahrt. Er hing zur Zeit des

⁶ HANNELORE ZUSE-STÖCKER, freundliche Mitteilung am 25. 02. 2009.

⁷ CERUZZI 1993, S. 171.

⁸ ALEX 1997.

Besuchs in Hünfeld im Februar 2009 neben einem Waschbecken auf einem Bügel an dem kleinen Fenster, das zur Straße zeigt. Diese „Installation“ kann nicht den Eindruck eines von KONRAD ZUSE im vorausgegangenen Moment verlassenen Ateliers erzeugen. Es veranschaulicht dennoch, auch in Abwesenheit all der Werkzeuge und Montagen des Erfinders (es waren 1995 die Montagestraße als Modell eines Sich-selbst-reproduzierenden-Systems und der Helixturm), in welchem Umfeld ZUSE gearbeitet hatte. Empfang der Familienvater Gäste, so ist es den Aussagen HANNELORE ZUSE-STÖCKER folgend vorgekommen, dass sich ihr Vater in Anwesenheit des Besuchs in sein Atelier zurückzog und alles um sich herum vergaß. Der Erfinder des Helixturms hatte den Aussagen seiner Tochter zufolge gern Mozart gehört, war „... *dafür aber nach unten gegangen.*“⁹



Abb. 18: Kreidezeichnung von Konrad Zuse 1995, Porträt Wolfgang Händler

KONRAD ZUSE hatte die Familie nicht an seinen Ideen und seinem Schaffen derart teilhaben lassen, dass sie heute alles über das Tun des Vaters wüsste. ARTHUR MERZ meint, dass sich KONRAD ZUSE zu neuen Ideen vielmehr gegenüber Freunden geäußert haben könnte, die er 1994/1995, als er mit einer zweiten Konstruktion als Weiterentwicklung des höhenverstellbaren Turms beschäftigt gewesen ist, in Kreide zeichnete. Diese Zeichnungen hat FRIEDRICH GENSER in einem Kalender für das Jahr 2004 zusammengestellt. Abgebildet sind in Reihenfolge der Monate HEINZ ZEMANEK, HEINZ NIXDORF, N. J. LEHMANN, WILFRIED DE BEAUCLAIR, HEINZ BILLING, ROBERT PILOTY, HELMUT SCHREYER, WILHELM KÄMMERER, FRITZ-RUDOLF GÜNTSCH, HEINRICH SEIFERS, GOTTFRIED W. LEIBNITZ und WOLFGANG HÄNDLER (Abb. 18), alles Personen, die als Pioniere des Computers gelten.

Die Arbeit am Helixturm ist sehr verschwiegen abgelaufen. Auch nach Auswertung der Archivalien und Zeitzeugenberichte (s. Kap. 4) bleibt offen, seit wann KONRAD ZUSE die Idee der höhenverstellbaren Konstruktion hatte, warum er sie entwickelte und wofür. Belegt ist, dass KONRAD ZUSE einen Prototypen des spätestens seit 1989 zeichnerisch entwickelten Helixturms in seinem Atelier zusammenbaute aus bei der Siemens AG in Augsburg gefertigten Einzelteilen. 1991 wurde das Patent für den Helixturm erteilt mit der Bezeichnung „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“, parallel dazu ein Patent für eine Windkraftanlage. 1993, als das erste Funktionsmodell vorerst fertiggestellt war, beschrieb KONRAD ZUSE in einem Aufsatz drei mögliche Anwendungen für die höhenverstellbare Konstruktion: die Nutzung als Aussichtsturm, als in orkangefährdeten Gebieten einsetzbarer Funkturm und als Turm für Windkraftanlagen.¹⁰ Dass KONRAD ZUSE seine Erfindung schon früh im Windenergiesektor ansiedelte „... *war wohl der Versuch, seine Idee irgendwo für ihn unterstützend unterzubringen.*“¹¹

⁹ HANNELORE ZUSE-STÖCKER, freundliche Mitteilung am 25. 02. 2009.

¹⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1; Aufsatz vom 25.10.1993.

¹¹ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 9.01.09 (Email).

Abb. 20 zeigt KONRAD ZUSE in seinem Atelier in Hünfeld neben dem ausgefahrenen Helixturm, dem ersten Funktionsmodell. Dieser Moment, der für den Erfinder „... eine große Bedeutung ...“ hatte, weil das Modell angesichts immer neuer, verbessernder Ideen nur „... selten [...] gänzlich hochgefahren ...“¹² war, wurde von seiner Tochter HANNELORE ZUSE-STÖCKER 1994/95 festgehalten. KONRAD ZUSE hatte den Turm mehrfach zerlegt, um die nicht ausgereiften Details seiner Konstruktion zu bestimmen und um die Fehlerhaftigkeit des ersten Funktionsmodells mit einer zweiten Konstruktion, dem HT2, zu korrigieren.

Dem ersten Funktionsmodell im Maßstab 1 : 30 hatte der HT2 als ein Zwischenmodell im Maßstab 1 : 10 folgen sollen, um anschließend einen Versuchsturm im Maßstab 1 : 1 zu realisieren. 1992 begann KONRAD ZUSE, die verbesserte Konstruktion auf seinem Zeichenbrett zu entwickeln. Der HT2 unterscheidet sich vor allem in Form und Größe der Turmelemente und in deren Zuführmechanismus zur zentralen Einheit (s. Kap. 6).

Der dem Deutschen Museum überkommene Helixturm ist ein erstes Funktionsmodell, ein Prototyp, den KONRAD ZUSE für die Weiterentwicklung der höhenverstellbaren Turmkonstruktion gebaut hatte. Das Modell ist nicht perfekt. Davon war der Erfinder ausgegangen. Das zweite Modell, der HT2, wäre vielleicht auch nicht so vollkommen gewesen, dass es den Turmbau hätte revolutionieren können. Denn für eine Entwicklung bedarf es Zeit. „*Es ist eben so, daß eine Erfindung in der Regel erst*



Abb. 19: Konrad Zuse neben dem Helixturm, Foto: Hannelore Zuse-Stöcker

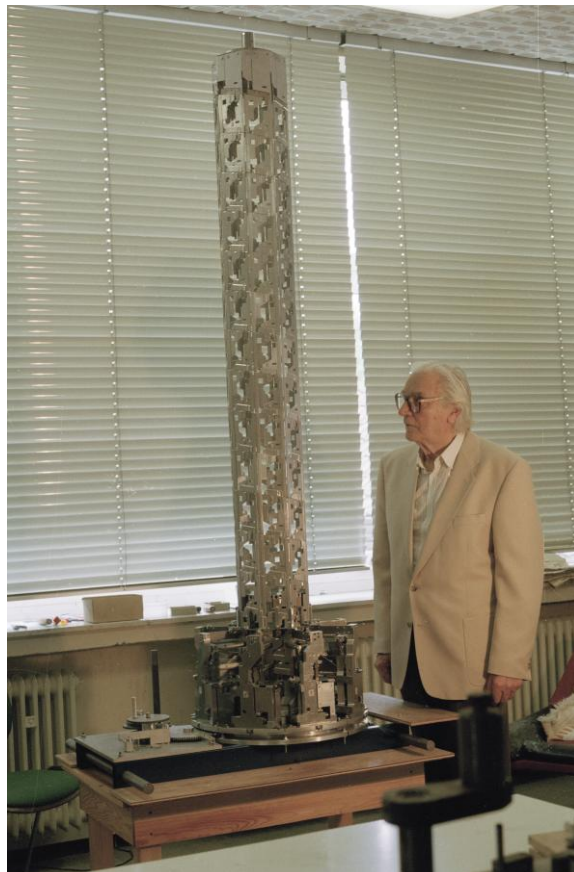


Abb. 20: Konrad Zuse in seinem Atelier in Hünfeld neben dem ausgefahrenen Helixturm (Foto: Hannelore Zuse-Stöcker, 1994/95)

¹² HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 10.1.09 (Email).

*dann öffentliches Interesse findet, wenn aus dem noch formbaren kleinen Kind sozusagen ein strammer Bursche geworden ist. [...] Die Freiheit des Forschers und Erfinders wird hier oft überschätzt... Will er seine Ideen durchsetzen, muß er sich mit Mächten einlassen, deren Realitätssinn schärfer und ausgeprägter ist.*¹³ Wären KONRAD ZUSE Fördergelder bewilligt worden für den Bau des HT2, dann hätte ein diesem folgender Versuchsturm im Maßstab 1:1 vielleicht überzeugen können.

Die Konstruktion des Helixturms war für KONRAD ZUSE nicht ein plötzlicher Gedanke, keine spontane Idee. Der Helixturm war für ihn vielmehr eine ernsthafte Angelegenheit, der er große Bedeutung zugemessen hatte. KONRAD ZUSE hatte es vermutlich für schwierig, wenn nicht für unmöglich gehalten, mit Fachleuten der Informatik oder Bautechnik über seine Idee zu sprechen. Der Helixturm im Deutschen Museum muss grundsätzlich als eine Vorstufe, ein Zwischenergebnis, als das erste realisierte Funktionsmodell verstanden werden. KONRAD ZUSE hatte gehofft, anhand des ersten Modells technische Probleme lösen zu können, was innerhalb der Konstruktion des zweiten Modells, dem HT2, auch weitgehend erfolgte.

KONRAD ZUSE starb am 18. Dezember 1995 während eines Krankenhausaufenthaltes nach einem Herzinfarkt in Hünfeld im Alter von 85 Jahren. Im Januar 2006 wurde der Nachlass, zu dem neben dem Helixturm das Modell einer Montagestraße, einige Gemälde und zahlreiche Schriftstücke gehören, in das Deutsche Museum in München überführt.

Anlässlich des 100. Geburtstags von KONRAD ZUSE erscheint 2010, gefördert vom Bundesministerium der Finanzen, durch die Deutsche Bundespost eine Sonderbriefmarke, und die Deutsche Bundesbank wird KONRAD ZUSE mit einer 10-Euro-Gedenkmünze ehren.



Abb. 21: Gemälde von Konrad Zuse, 1991, Besitz: Arthur Merz (der Rotor ist zweiflügelig dargestellt, vorgesehen hatte Zuse in um die Anwendung auf Windkraftanlagen erweiterten Patentschriften mehrere Flügel)

¹³ Zitat nach ALEX 1997, S. 82.

4 Archivalien und Berichte von Zeitzeugen

In seiner Autobiografie schreibt KONRAD ZUSE, dass der Nachlass bzw. die originalen Unterlagen nach seinem Tod der Stiftung Preußischer Kulturbesitz übergeben werden sollen.¹⁴ Nach ZUSES Tod aber meldeten verschiedene Institutionen, Archive, Bibliotheken und Museen, Ansprüche an. Am 18. Dezember 2005, dem 10. Todestag KONRAD ZUSES, sicherte die Familie dem Deutschen Museum den Nachlass zu, der Mitte Januar 2006 nach München überführt wurde und heute öffentlich zugänglich ist. Zu diesem Nachlass (NL 220) gehören Entwürfe der frühen Rechner, frühe Patentanmeldungen, stenografische Notizen, Überlegungen zum Plankalkül, zahlreiche Fotografien und Zeichnungen, das Vormodell zum Nachbau der Z1, das Modell einer Montagestraße und der Helixturm, alle zusammen als „... *die zentralen Dokumente zu den Entwicklungen Zuses* ...“¹⁵

Im Archiv des Deutschen Museums in München (DMA) wurde der Nachlass KONRAD ZUSES themenbezogen gesichtet, dem sowohl Briefe, Patentschriften und Zeitungsartikel als auch mehr als 300 Zeichnungen angehören. Die Sichtung folgte der bestehenden Vorsortierung des Nachlasses im Archiv.

Inhalte des schriftlichen Nachlasses und die Inhalte der Mappen mit den technischen Zeichnungen sind in Excel-Tabellen zusammengefasst (s. Anhang 1).

4.1 Textdokumente

Der den Helixturm betreffende schriftliche Nachlass KONRAD ZUSES ist vorläufig geordnet in elf Mappen. Sie beinhalten drei Patentschriften (DE 3804193 A1¹⁶; DE 3322100 A1¹⁷; DE 3918833 A1¹⁸), einen Zeitungsartikel, ein Gutachten der Turmkonstruktion durch den German Lloyd¹⁹ und zahlreiche Briefwechsel, die ausschließlich das Thema Helixturm behandeln. Die genaue Auflistung der im Archiv des Deutschen Museums vorhandenen, die Erfindung betreffenden Schriftstücke ist der dieser Arbeit im Anhang beiliegenden Tabelle zu entnehmen, die das jeweilige Datum eines Eintrags, die Nummer der zugehörigen Mappe und stichpunktartig den Inhalt eines Schriftstücks enthält.

Der älteste im themenbezogen begutachteten Nachlass befindliche Brief ist datiert auf den 17. Januar 1990.²⁰ Darin wendet sich KONRAD ZUSE an Prof. Dr.-Ing. JOHANNES LOOMANN, Zahnradfabrik Friedrichshafen AG, mit den einleitenden Worten, es sei „... *nun schon einige Jahre her, dass wir zusammengearbeitet haben*...“ ZUSE schreibt, er beschäftige sich mit „... *einer Konstruktion*...“, für die er „... *einige Zahnräder gebrauchen könnte* ...“ und bittet, diese „... *entsprechend beiliegender Zeichnung fertigen* ...“ zu lassen. Die genannte Zeichnung ist im Nachlass ebenso wenig zu finden wie ein Antwortschreiben. Durch diese Erwähnung einer

¹⁴ ZUSE 1984, S. 146.

¹⁵ FÜSSL 2006.

¹⁶ Verfahren, Vorrichtungen und Einrichtungen für teleskopierbare Maste von mobilen und stationären Hubwerken, s. Kap. 7.

¹⁷ Biegesteife Teleskopstützen, s. Kap. 7.

¹⁸ Mastausfahr- und Drehvorrichtung, s. Kap. 7.

¹⁹ Schiffsklassifikationsgesellschaft, die sich u. a. mit der Zertifizierung für Windenergieanlagen beschäftigt.

²⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6.

"Konstruktion", die offenbar mit Zahnrädern arbeiten sollte, kann der Brief als erstes Dokument verstanden werden, das den Helixturm betrifft.

Im Juni 1990 beschreibt Prof. Dr.-Ing. HERMANN FLESSNER, Professor an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften an der Universität Hamburg, in einem Brief an KONRAD ZUSE, genannt *Kuno*, die ersten Ergebnisse seiner Recherchen zum „Montagebau“.²¹ Er nennt die durch Dr.-Ing. ROLAND VOGEL angemeldeten Patentschriften, die ZUSE zu beachten hätte und legt dem Schreiben eine Liste bei, in der wichtige Patente zusammengestellt sind. Sie beziehen sich auf Fördereinrichtungen, Teleskopgerüste, Türme und Maste. In der Auflistung der Patentanmeldungen des Dr.-Ing. ROLAND VOGEL sind markiert DE 2627587 A1, DE 2720905 A1 und DE 2742246 A1, die in Kapitel 7 dieser Arbeit näher beschrieben sind. Ein weiterer Kontakt zwischen KONRAD ZUSE und HERMANN FLESSNER ist in den Archivalien des Deutschen Museums nicht nachweisbar. In Antwort auf ein Schreiben des Verfassers dieser Arbeit hatte HERMANN FLESSNER zahlreiche Informationen geben können (s. Kap. 6, 7).

Ein früherer Patentanwalt ZUSES war vermutlich der erstmals im Juni 1990 angeschriebene, in der Patentanwaltskanzlei „VON FÜNER, EBBINGHAUS, FINCK, HANO, München“ tätige DIETER EBBINGHAUS.²² In der einzigen in den Archivalien nachweisbaren Korrespondenz mit genannter Kanzlei wird seitens ZUSE mitgeteilt, er sei „... *inzwischen zu der Überzeugung gekommen, dass diese Anmeldung [...] noch erhebliche Überarbeitung bedarf.*“²³ ZUSE zieht seine Patentanmeldung zurück und hat spätestens seit Januar 1991 Kontakt zum Patentanwalt WALTER ANDREJEWSKI, tätig im „ANDREJEWSKI, HONKE, HONKE & SOZIEN Patentanwälte Büro“ in Essen.²⁴ Laut erstem nachweisbaren Kontakt wird der Anwalt im Januar 1990 von ZUSE anlässlich seiner Ehrenpromotion nach Dortmund eingeladen. Im Antwortschreiben ANDREJEWSKIS wird vorgeschlagen, im Rotary-Club in Essen einen sich dem anstehenden Treffen am 31. Januar anschließenden Vortrag zu hören, der die Pionierleistung ZUSES würdigt. Der folgende Briefwechsel im Jahr 1991 zeugt von gegenseitiger Wertschätzung.²⁵ Erst wieder im September 1992 betrifft ein Brief seitens ZUSE an ANDREJEWSKI den Helixturm.²⁶ Darin teilt ZUSE seine Freude mit über erteilte Patentschriften zu „Mast und Propeller flexibel anpassbar“²⁷ und „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“²⁸. ZUSE schreibt weiterhin in diesem Brief, dass „... *der Bau des Funktionsmodells [...] durch verschiedene Umstände etwas verzögert worden ...*“ war.²⁹ KONRAD ZUSE hatte den Sommer 1992 auf Sylt verbracht und war infolge eines Treppensturzes nicht in der Lage, die Probleme der Turmkonstruktion schnellstmöglich weiter zu behandeln. „*Es hat sich herausgestellt, dass die in der Anmeldung angeführten drei Arme zur Führung der Bauelemente nicht ausreichen. Es musste daher ein vierter Arm hinzugesetzt werden, was einige konstruktive Änderungen und erheblichen Zeitaufwand erforderte.*“³⁰ Dass sich ANDREJEWSKI in einem Brief vom 25. Januar 1993 bei ZUSE bedankt für die Dokumentation des „Aus- und einfahrbaren Turmbauwerks“ und Freude darüber äußert, dass ZUSE „... *das Funktionsmodell inzwischen fertigstellen ...*“ konnte, ist der erste schriftliche Hinweis auf Beendigung der konstruktiven Arbeiten am ersten Funktionsmodell.³¹ Aller-

²¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6.

²² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6.

²³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 28.06.1990 an EBBINGHAUS.

²⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6.

²⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

²⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

²⁷ DE 4119428, Bezeichnung „Windkraftanlage“, angemeldet am 13. Juni 1991.

²⁸ DE 4119466, angemeldet am 13. Juni 1991.

²⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 15.09.1992 an ANDREJEWSKI.

³⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 15.09.1992 an ANDREJEWSKI.

³¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

dings schreibt ZUSE in einem Brief vom Juni 1993 an Herrn HÄÜBER im Deutschen Patentamt, dass die Arbeiten am „... Funktionsmodell für den ein- und ausfahrbaren Turm [...] inzwischen im Wesentlichen abgeschlossen werden ...“ konnten, womit die Fertigstellung zu Beginn des Jahres in Frage gestellt ist.³² Weiterhin schreibt ANDREJEWSKI am 25. Januar 1993, „... daß die wesentlichen Patente erteilt sind.“ Es äußert ZUSE in einem an ANDREJEWSKI gerichteten Brief vom 8. April 1993 die Tatsache, dass sich „... noch eine Reihe von Schwierigkeiten eingestellt...“ haben, „... die aber alle überwunden werden können. Zur Zeit ...“ befände sich ZUSE selbstredend „... in der Endphase des Aufbaus, und es besteht die Möglichkeit, [...] zu Ostern mit der Konstruktion fertig ...“ zu sein.³³ Zwei Monate später, im Juni 1993, schreibt ZUSE in einem Brief an ANDREJEWSKI, dass „Der Bau des Turmmodells [...] inzwischen weiter fortgeschritten ...“ ist. Dem Brief legt er ein „... Foto vom Aufbau in voller Höhe ...“ bei. Im Folgenden schreibt ZUSE, es hätten „... sich einige Mängel im gesamten Verband ergeben.“ Er sei „... zur Zeit dabei, aufgrund der Erfahrungen mit dem Funktionsmodell eine neue Konstruktion zu entwerfen.“³⁴ Dies ist die erste schriftliche Äußerung KONRAD ZUSES, in der er den konstruktiv verbesserten HT2 erwähnt.³⁵ Ferner schreibt ZUSE in dem Brief, dass er mit Bemühungen, Fördergelder zu beantragen, 1994 beginnen will.

KONRAD ZUSE vergleicht die Umstände der Entwicklung des Helixturms Mitte der 1990er Jahre mit der Entwicklung seiner ersten Rechenmaschine: „Mein erstes Computermodell Z1 [...] fand in Fachkreisen wenig Interesse. Ein Zwischenmodell Z2 bewies, dass es [...] möglich war, das Ziel zu erreichen.“³⁶ ZUSE befand sich mit dem „... neuen Projekt [...] etwa dort ...“ wo er sich mit dem „... Gerät Z1 etwa 1938 befand.“³⁷ Die Z2 war die Basis für den Bau der Z3, die 1941 als erster funktionstüchtiger, frei programmierbarer Rechner präsentiert worden war. Mit dem nicht realisierten Modell des HT2 hätte ZUSE vielleicht so weit sein können, dass seiner Idee des Helixturms die nötige Aufmerksamkeit geschenkt worden wäre.

1991 wurden zwei Patente erteilt (DE 4119466 A1 „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“ und DE 1419428 C1 „Windkraftanlage“). Im März 1994 übersendet KONRAD ZUSE seinem Patentanwalt ANDREJEWSKI „... den Entwurf einer neuen Anmeldung, welche wohl am besten als Zusatzanmeldung zum Patent „Windkraftanlage – Mast und Propeller flexibel anpassbar“ eingereicht werden könnte.“³⁸ Am 16. April 1994 wird das Patent angemeldet unter der Bezeichnung „Windkraftanlage mit einem Mast, der nach Maßgabe der Geschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe ein- und ausfahrbar ist“. (Beschreibung s. Kap. 6)

KONRAD ZUSE ging beim Bau des Helixturms nach der Methode vor, die er „... vor 50 Jahren bei der Entwicklung des Computers angewendet ...“ hatte, nämlich hat er „... auch diesmal mit Hilfe einiger Freunde [...] ein erstes Modell gebaut und ein weiteres Modell begonnen.“³⁹ Durch Archivalien belegt haben ihn unterstützt Dr.-Ing. HERMANN FLESSNER, Bauingenieur und Professor für Angewandte Informatik in Naturwissenschaft und Technik an der Universität Hamburg; WALTER BUTTMANN, Betreiber einer Handelsvermittlung in Frankenthal in Rheinland-Pfalz; der damalige Direktor der Siemens AG Augsburg ARTHUR MERZ und ein Mitarbeiter, VON TAUBE; die Konrad-Zuse-Schule in Hünfeld; weiterhin BERNHARD TILLMANN, Informati-

³² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 25.05.1993 an HÄÜBER.

³³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 15.09.1992 an ANDREJEWSKI.

³⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 15.09.1992 an ANDREJEWSKI.

³⁵ Die früheste Zeichnung als Bestandteil des Nachlasses ist datiert auf April 1992.

³⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 4.03.1994 an ANDREJEWSKI.

³⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, ZUSE in Brief vom 14.06.1994 an ALFRED DREGGER.

³⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1.

³⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, ZUSE in Brief vom 6.07.1995 an RÜTTGERS

ker und Gründungsmitglied des Zusepark e.V.; Professor Dr.-Ing. FRITZ-RUDOLF GÜNTSCH, Erfinder des virtuellen Speichers und 1971 bis 1990 Ministerialdirektor am Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie. Nach 1994 unterstützte ihn vor allem GERD FÜLLER, der von der Anwendbarkeit des Helixturms auf Windkraftanlagen bis heute überzeugt ist. Er verfasste in der Zeitschrift WindEnergieAktuell Ausgabe 12/95 einen den Helixturm beschreibenden Artikel.

HERMANN FLESSNER hatte Mitte 1990 einige Patentschriften des Dr.-Ing. RUDOLF VOGEL zusammengestellt und versucht, Kontakt zwischen KONRAD ZUSE und Dr. VOGEL herzustellen, der „... *allein 45 Patente angemeldet* ...“ hat. Auch WALTER BUTTMANN bemühte sich um bestehende Patentschriften und erwähnt in einem Brief an KONRAD ZUSE im Juli 1990 „*Drei Offenlegungsschriften DE 3322100 A1, DE 3804193 A1, DE 3918833 A1*“, die für ZUSE kopiert worden waren (Beschreibungen s. Kap. 7). Weiterhin schreibt BUTTMANN, dass es „*Nachschub-Magazine mit Einzelteilen [...] für Türme offenbar noch nicht*“ gibt. „*Außerdem gehen alle angemeldeten Konstruktionen [...] von Teleskoprohren aus.*“⁴⁰ In Kapitel 7 dieser Arbeit werden durch das Deutsche Patent- und Markenamt veröffentlichte Erfindungen beschrieben und mit dem Helixturm verglichen, um dessen technische Innovation zu verdeutlichen.

Für den Bau seines ersten Funktionsmodells konnte KONRAD ZUSE nach schriftlicher Mitteilung vom August 1990 einige Teile bei der Siemens AG in Augsburg fertigen lassen.⁴¹ Die Bauteile für den Nachbau der Z1 waren wenige Jahre zuvor ebenfalls durch Mitarbeiter eines Siemenswerks gefertigt worden, in Bad Hersfeld.⁴² Ein häufiger Kontakt zu Herrn VON TAUBE ist nachweisbar, der immer wieder Zeichnungen und schriftliche Erläuterungen zu einzelnen Bauteilen seitens ZUSE erhält.

In einem Brief an VON TAUBE beschreibt ZUSE 1991, dass die „... *gefertigten Bauelemente (Blechteile f) und das Magazin* ...“ erprobt werden konnten, und „... *einige Änderungen erforderlich sind.*“ Denn „... *bei der jetzigen Konstruktion* ...“ mit den „... *gebogenen aufgesetzten Bleche(n)* ...“ verhaken sich die Turmelemente. „*Aus diesem Grund müssen die Teile entweder aufgeklebt oder so vernietet werden, daß die Oberfläche glatt bleibt.*“⁴³ In das Modell des Helixturms im Deutschen Museum sind die korrigierten Turmelemente eingesetzt. An der Krone hingegen sind die früheren Turmelemente mit aufgesetzten, nach außen gebogenen Blechen befestigt. Von den vier verschiedenen Ausführungen der Turmelemente des ersten Funktionsmodells, die im den Helixturm betreffenden Nachlass ZUSES vorhanden sind, lassen sich anhand dieses Hinweises zwei in eine zeitliche Folge einordnen (s. Kap. 5). Zudem ist in einem Brief an VON TAUBE zu lesen, dass ZUSE in einer Konstruktionszeichnung für Teil c5 (Steuerfläche für die Magazine) „... *innen und außen verwechselt*“ hatte.⁴⁴

BERNHARD TILLMANN war nach Übersendung der Patentanmeldung und technischer Zeichnungen im August 1990 mit der Bauteilfertigung in Dortmund beauftragt worden.⁴⁵ Zunächst war über Kontakte (durch TILLMANN) die Grundplatte herzustellen gewesen, wobei „... *der Ring für die Kugeln auch gesondert gefertigt und mit einigen Schrauben auf der Platte befestigt werden* ...“ könnte, so dass man „... *dann nicht das große Kugellager brauchen*“ würde.⁴⁶

⁴⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6.

⁴¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 06.08.1990 an MERZ.

⁴² DORSCH 1998, S. 23.

⁴³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5, ZUSE in Brief vom 15.10.91 an VON TAUBE.

⁴⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 12.09.91 an VON TAUBE.

⁴⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 16.08.1990 an TILLMANN.

⁴⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 04.06.91 an VON TAUBE.



Im in dieser Arbeit behandelten Modell ist die Gehäusescheibe auf die Grundplatte aufgeklebt, der Kugelkäfig und darüber die Wellenscheibe sind lose aufgelegt. Im Dezember 1994 korrigiert ZUSE in einem Brief an TILLMANN den für den HT2 zu fertigenden Zylinder, was ein Nachweis ist für erste Arbeiten an der Realisierung des zweiten Turmmodells.⁴⁷ Im Februar 1995 sendet ZUSE an TILLMANN eine „... Skizze mit den Maßen der anzufeilenden Schrägfläche.“⁴⁸ Dabei handelt es sich vermutlich um Schrägflächen an Turmelementen, die für das erste Modell noch während der Arbeit an dem neuen Turmmodell entwickelt worden waren.

Die Fertigung der Bauteile für das erste Funktionsmodell des Helixturms in der SIEMENS AG und mit Hilfe von BERNHARD TILLMANN in Dortmund ist spätestens im November 1993 abgeschlossen. Denn in einem Brief vom 4. November 1993 bedankt sich ZUSE bei ARTHUR MERZ und VON TAUBE für die Mithilfe und lädt sie ein, das Modell in Hünfeld zu besichtigen.⁴⁹ Wer die Zahnräder für den Antrieb des Helixturms fertigte, ist ungeklärt. Nach Anfrage bei der Zahnradfabrik Friedrichshafen AG wie oben beschrieben im Juni 1990 liegt ein Schreiben vom 2. Mai 1991 vor, in der die Tobias Baeuerle & Söhne GmbH & Co. KG im Schwarzwald eine Fertigung ablehnt.⁵⁰ Einige Teile der Magazine wurden in der Konrad-Zuse-Schule in Hünfeld hergestellt.⁵¹

ZUSE beginnt, was aus den schriftlichen Archivalien folgt, 1994 mit Bemühungen um Fördergelder und der Suche nach Unternehmen, die an seiner Konstruktion interessiert sind. Zunächst schreibt sein Patentanwalt ANDREJEWSKI in einem Brief vom 13. April 1994, dass seinerseits „Mit dem technischen Geschäftsführer der SIM Zuführ- und Montagetechnik GmbH & Co. KG [...] in der kommenden Woche ein Gespräch ...“⁵² stattfinden würde, dessen Ausgang jedoch archivalisch nicht belegt werden kann. Im Mai 1994 entsteht durch Interesse BERNHARD TILLMANNs an getriebelosen Windkraftanlagen ein Kontakt über Herrn DÜSER zum Windkraftanlagenhersteller Enercon, es werden ZUSE und TILLMANN zu einer Werksbesichtigung eingeladen.⁵³ Ob das Werk besichtigt worden ist und weitere Kontakte bestanden bleibt offen. Im Sommer 1994 wendet sich ZUSE an den damaligen hessischen Ministerpräsidenten HANS EICHEL und informiert ihn mit Anlage einer Ausarbeitung des Turmprojekts darüber, dass er „... in Kontakt mit dem wohl auch vom Land Hessen geförderten Institut für Solare Energietechnik ISET (Kassel) ...“ stehe.⁵⁴ Dieses Schreiben wird am 31. August 1994 beantwortet mit der Mitteilung, die Ausarbeitung werde weitergeleitet „... an das Hessische Ministerium für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten, die sich der landeseigenen Gesellschaft Hessen-Energie-GmbH bedienen.“⁵⁵

Auf der Suche nach Zusammenarbeit mit einem Unternehmen lehnt die Firma Liebherr-Werk Biberach GmbH eine Kooperation ab, weil sie „... bei der Beurteilung der Anwendbarkeit auf [...] Turmdrehkrantürme zu der Entscheidung gelangt ...“ war, dass der Helixturm für ihre „... Anwendungsfälle leider nicht in Frage kommen kann.“⁵⁶ In den „... Krantürmen überwiegt das Biegemoment gegenüber der Normalkraft, so dass die Randträger ständig einer

⁴⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, Brief vom 01.12.94.

⁴⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 23.02.95 an TILLMANN.

⁴⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

⁵⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

⁵¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 21.10.1991 an VON TAUBE.

⁵² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/5.

⁵³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, TILLMANN an DÜSER am 09.05.94, Enercon an TILLMANN am 30.05.94.

⁵⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4.

⁵⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4.

⁵⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, Professor DIEMEL in Brief vom 08.07.94 an ZUSE.

*hohen Zug- und Druckbelastung ausgesetzt sind.*⁵⁷ Weitere Kontakte zu Unternehmen sind innerhalb der gesichteten Archivalien nicht nachweisbar.

Kontakte zu Förderinstituten, d. h. zum Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BWFT) und zur Fraunhofer Gesellschaft sind in zahlreichen Schriftstücken belegt. So wendet sich betreffs Fördermöglichkeiten FRITZ-RUDOLF GÜNTSCH als ehemaliger Ministerialdirektor des BWFT am 11. November 1994 an den dortigen Ministerialdirigent EITNER.⁵⁸ GÜNTSCH fragt, ob „... mit öffentlichen Mitteln durch entsprechende Studien geklärt werden ...“ könnte, „... unter welchen Voraussetzungen ein solches aus- und einführbares Turmbauwerk im Zusammenhang mit der Windenergietechnik nützlich ist und, ob es andere wichtige potentielle Anwendungsbereiche, außerhalb der Windenergietechnik gibt [...] ob die von Zuse entwickelte Konstruktion anderen denkbaren Techniken – insbesondere der Teleskopbauweise [...] überlegen ist ...“ und ob „... Zuse für die von ihm im Augenblick konstruierte zweite, verbesserte Version aus öffentlichen Mitteln Hilfe erhalten ...“ kann. Diese finanzielle Unterstützung sollte vor allem dem „... Bau eines Modells im Maßstab 1:10 ...“ dienen. In einem Schreiben an ZUSE vom 21. November 1994 berichtet GÜNTSCH, was telefonisch bezüglich des Briefes an EITNER mit dem Ministerialdirigenten besprochen worden war.⁵⁹ EITNER hatte „... die Angelegenheit seinem zuständigen Leiter des Referats 313 (Windenergie, Geothermie, Wasserstofftechnologie, elektrische Energiespeicher), Herrn Regierungsdirektor Dr. Hauerstein zur Stellungnahme gegeben.“⁶⁰ Herr HAUERSTEIN hätte sich negativ geäußert zu Festigkeit und Herstellungskosten des Gliederturms. GÜNTSCH forderte eine genauere Untersuchung innerhalb einer Studie. „Man muss ja auch an ganz andere Länder denken, in denen sich das Problem der Stürme und der Zugänglichkeit von Turmbaustellen ganz anders darstelle als in Deutschland.“⁶¹ GÜNTSCH schreibt weiter, EITNER hielt ein solches Vorhaben für bedeutend leichter zu realisieren, „... wenn eine (oder mehrere) Firmen dahinterstünden (und sich an der Finanzierung beteiligen würden).“⁶² GÜNTSCH schlägt vor, dass BERNHARD TILLMANN, der in ZUSES Auftrag wohl die Firmenverbindungen betreute, interessierte Unternehmen bei EITNER einführt. Außerdem wird ZUSE in diesem Brief vorgeschlagen, sich mit der Fraunhofer Gesellschaft in München, speziell mit der Patentstelle für die Deutsche Forschung in Verbindung zu setzen, denn dort gäbe es die Möglichkeit, finanzielle Mittel bereitzustellen für den Bau des Turmmodells. GÜNTSCH schreibt abschließend „... daß es nicht einfach sein wird Fördergelder für den Turm zu bekommen ...“⁶³ Im Januar 1995 wird der Erfindervorschlag vom BWFT an die Patentstelle für die Deutsche Forschung der Fraunhofer Gesellschaft in München übersandt.⁶⁴ Die schriftliche Antwort auf das Schreiben von GÜNTSCH mit Anfragen zu Fördermöglichkeiten wird erst am 13. April 1995 verfasst. Darin teilt EITNER mit, dass „... zwischenzeitlich eine besonders gründliche Prüfung sowohl durch den für Windenergie zuständigen Projektträger Biologie, Energie und Ökologie (BEO) im Forschungszentrum Jülich als auch durch mehrere unabhängige Gutachter ...“ durchgeführt worden ist. Dabei hatte sich „... herausgestellt, daß eine Anwendung im Bereich der Windenergie sehr unwahrscheinlich ist ...“ Dies wird näher erklärt mit Bezug auf einer Turmstruktur abzuverlangende Zug- und Biegefestigkeit, die nicht gegeben sei. Die Höhenverstellung wäre nicht im Hinblick auf Energieausbeute interessant, sondern für Bau- und Repara-

⁵⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, Professor DIEMEL in Brief vom 08.07.94 an ZUSE.

⁵⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4 (GÜNTSCH kennt ZUSE seit ca. 1955, hatte mit ihm während der Entwicklung der Z22 zusammengearbeitet und hat ihn immer sehr geschätzt).

⁵⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4.

⁶⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, GÜNTSCH in Brief vom 21.11.1994 an ZUSE.

⁶¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, GÜNTSCH in Brief vom 21.11.1994 an ZUSE.

⁶² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, GÜNTSCH in Brief vom 21.11.1994 an ZUSE.

⁶³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, GÜNTSCH in Brief vom 21.11.1994 an ZUSE.

⁶⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, Fraunhofer Gesellschaft in Brief vom 16.01.1995 an ZUSE.

turphasen und in Anbetracht der „... auf die mit der Turmhöhe veränderbaren Eigenfrequenzen des Turms.“ EITNER sagt die Unterstützung ab. Daraufhin wird er von GÜNTSCH gebeten, die Prüfungsergebnisse dem Erfinder KONRAD ZUSE zukommen zu lassen.⁶⁵ Im Mai 1995 wendet sich ZUSE schriftlich an Dr.-Ing. HANS-JÜRGEN WARNECKE am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung und bittet ihn um seine Meinung. ZUSE glaubt „... daß von einer gründlichen Prüfung nicht die Rede sein kann und daß wahrscheinlich bestimmte Gesichtspunkte überhaupt nicht berücksichtigt worden sind.“⁶⁶ Am meisten stört ZUSE, nicht persönlich angehört worden zu sein „... und dass man es nicht für nötig hält ...“ das „... mit großer Mühe und mit Hilfe von Freunden gebaute(s) Modell zu berücksichtigen.“⁶⁷ Anfang Juni teilt die Forschungszentrum Jülich GmbH ZUSE mit, dass er durch Kontaktaufnahme zu Herrn RICHTER, German Lloyd⁶⁸, von der Möglichkeit Gebrauch machen könne, Genaueres über die Wertung eines Gutachters zu erfahren.⁶⁹ Bald darauf liegt ZUSE mit dem durch Dr. RICHTER zugesandten Bericht des German Lloyd eines von drei Gutachten zu seinem Turmbauwerk vor. Einem Brief vom 6. Juli 1995 an Dr. RICHTER legt ZUSE die Stellungnahme zu den Ergebnissen des German Lloyd bei.⁷⁰ (Schriftwechsel s. unten, Abschnitt „Begutachtung durch den German Lloyd“) Wenig später wendet sich ZUSE an den damaligen Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie, JÜRGEN RÜTTGERS, und bittet ihn unter Anlage der Stellungnahme darum, dass nach missverständlicher Beurteilung des Turmbauwerks durch sein Ministerium die „... Idee mit der erforderlichen Gründlichkeit studiert und erprobt werden ...“ sollte.⁷¹ Das Antwortschreiben verfasst Dr. GEBHARD ZILLER am 04. August 1995 im Auftrag RÜTTGERS`. Erneut wird, auch unter Beachtung der Gegendarstellung ZUSES, eine Förderung abgelehnt. In ZUSES Turmkonstruktion mit festgelegter Anwendung auf eine Windkraftanlage seien „... hohe mechanische Stabilität und Kontinuität des Betriebs auch bei sich schnell ändernden Windverhältnissen [...] nur bedingt erfüllbar, ohne daß darüber hinaus ein bedeutender, wirtschaftlicher Vorteil erkennbar wäre.“⁷² GERHARD ZILLER empfiehlt, auf andere Anwendungsgebiete auszuweichen, verweist auf militärische oder zivile Einsatzbereiche wie Plattformen für Baustellen und Reparaturmaßnahmen. ZUSE solle sich an den Leiter der Patentstelle Deutsche Forschung der Fraunhofer Gesellschaft in München, Dr. PAULUS, wenden. Der Präsident der Fraunhofer Gesellschaft, Prof. Dr.-Ing. HANS JÜRGEN WARNECKE, schlägt ZUSE in einem Brief vom 4. Oktober 1995 vor, Herrn Dr. PAULUS nach Hünfeld zu schicken, so dass er sich das Modell anschauen könne.⁷³ ZUSE hatte sich bereits im Mai 1995 an WARNECKE gewandt, ein Treffen hatte terminbedingt nicht stattfinden können.⁷⁴ Einem Schreiben vom Oktober 1995 zufolge sah sich Dr. PAULUS bald darauf den allerdings demontierten Turm in Hünfeld an.⁷⁵ ZUSE hatte gehofft, Anfang 1996 die neuen, verbesserten Bauelemente der Turmkonstruktion eingebaut und probiert zu haben.⁷⁶ Vermutlich hatte er die verbesserten Turmelemente, die er in einem Brief vom Februar 1995 an TILLMANN erwähnt (s. oben), in das erste Funktionsmodell einsetzen wollen.⁷⁷ Einem Schreiben im November an die Fraunhofer Patentstelle für die Deutsche Forschung legt ZUSE den Aufsatz „Höher hinauf“, die Beurteilung des German Lloyd, den „Entwurf der Projektvereinbarung“

⁶⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, GÜNTSCH in Brief vom 26.04.1995 an EITNER.

⁶⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, ZUSE in Brief vom 08.05.95 an WARNECKE.

⁶⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, ZUSE in Brief vom 08.05.95 an WARNECKE.

⁶⁸ Schiffsklassifikationsgesellschaft, die sich u. a. mit der Zertifizierung für Windenergieanlagen beschäftigt.

⁶⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, Brief des Forschungszentrums vom 9.6.95 an ZUSE.

⁷⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, ZUSE in Brief vom 06.07.1995 an RICHTER.

⁷¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, ZUSE in Brief vom 06.07.1995 an RÜTTGERS.

⁷² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, ZILLER in Brief vom 04.08.1995 an ZUSE.

⁷³ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4.

⁷⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4.

⁷⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, ZUSE in Brief vom 28.11.1995 an Fraunhofer Gesellschaft.

⁷⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, ZUSE in Brief vom 28.11.1995 an Fraunhofer Gesellschaft.

⁷⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, ZUSE in Brief vom 23.02.95 an TILLMANN.

und einen Artikel der Zeitschrift WindEnergieAktuell Ausgabe 12/95 bei.⁷⁸ Diesen Artikel, „Weg frei für höhenverstellbare WKA“, hatte GERD FÜLLER, Mitarbeiter des Instituts für Solare Energietechnik (ISET), Kassel, verfasst. Er hatte ZUSE der anstehenden Veröffentlichung des Zeitschriftenartikels wegen im Oktober 1995 besucht.⁷⁹ FÜLLER unterstützte ZUSES Idee insofern, als dass er den Erfinder auf Beiträge in der Zeitschrift WindEnergieAktuell aufmerksam machte, Kontakt zu einer „Windkraft-Gruppe“ der Siemens AG in Erlangen aufnahm und Zugang zur Fraunhofer Gesellschaft ermöglichen wollte. FÜLLER wollte versuchen, Professor SCHMID als neuen ISET-Vorständigen für ZUSES Projekt zu gewinnen.⁸⁰

Das letzte im Archiv vorhandene, zu Lebzeiten ZUSES verfasste Schriftstück ist ein auf den 5. Dezember 1995 datierter Brief als Reaktion auf den Artikel „Weg frei für höhenverstellbare WKA“ der Zeitschrift WindEnergieAktuell.⁸¹ Darin wendet sich LUDWIG GEHRA an KONRAD ZUSE mit der Bitte um Zusammenarbeit. LUDWIG GEHRA hatte seine Erfindung eines neuen Rotor-systems damals angemeldet und war gerade mit der Europäischen Patentanmeldung beschäftigt.

In Mappe 220/7, die in den Fußnoten unerwähnt bleibt, befinden sich Schriftstücke als Korrespondenz zwischen dem Patentanwalt ANDREJEWSKI und GISELA ZUSE. Vorrangig handelt es sich um Patentumschreibungen und fällige Gebühren für bestehende Patente. LUDWIG GEHRA hatte sich noch einmal am 17. September 1998 an ANDREJEWSKI gewandt mit der Bitte um Auskünfte zu ZUSES Patent. Eine Reaktion auf sein Schreiben ist in den Unterlagen des Archivs nicht zu finden.

Begutachtung durch den German Lloyd

In einem Brief vom 6. Juli 1995 bedankt sich ZUSE bei Dr. RICHTER für die Übersendung der Beurteilung des Turmprojekts.⁸² ZUSE schreibt, es lägen „... einige Mißverständnisse vor.“ RICHTER war als Mitarbeiter des German Lloyd⁸³ durch die Forschungszentrum Jülich GmbH im Januar 1995 mit der Begutachtung der „... Projektidee von Herrn Prof. K. Zuse aus Hünfeld zur Entwicklung eines aus- und einfahrbaren Turmbauwerks ...“ beauftragt worden.⁸⁴ Die schriftliche Ausführung der Begutachtung ist derart gegliedert, dass im ersten Kapitel Einleitung und Ziel der Beurteilung beschrieben sind, im zweiten die Projektidee umrissen wird, im dritten Kapitel die stichpunktartige Bewertung erfolgt und im letzten Kapitel die eigentliche Begutachtung beschrieben ist. KONRAD ZUSE hatte in einem Schreiben vom 6. Juli 1995 Stellung bezogen, was durch RICHTER Anfang August des Jahres beantwortet wird.⁸⁵

Die Unterpunkte der Beurteilung durch den German Lloyd, dem gegenüberstehende Stellungnahmen seitens ZUSE und die darauf bezogenen Argumente im Antwortschreiben seitens RICHTER sind im Folgenden mit Rücksicht auf den Leser der Übersicht und Verständlichkeit wegen in einer Tabelle zusammengefasst:

⁷⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, ZUSE in Brief vom 28.11.95 an Fraunhofer Gesellschaft.

⁷⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, Notiz KONRAD ZUSES.

⁸⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, FÜLLER in Briefen vom 24.10., 03.11.; 25.11.95 an ZUSE.

⁸¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2.

⁸² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3.

⁸³ Der German Lloyd ist eine Art TÜV für Windkraftanlagen. Die Zustimmung dieser Anstalt ist Voraussetzung für die Zulassung einer neuartigen Turmkonstruktion, vermutlich auch für deren Förderung.

⁸⁴ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, Gutachten des German Lloyd.

⁸⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3.



Aussage des GL

„Vielfach sind Vorschläge geäußert und teilweise realisiert worden, Maste so zu bauen, daß sie aus und einfahrbar sind.“

„Aus wirtschaftlichen Gründen haben sich diese Ideen nur bei Masten verwirklichen lassen, die kurze Zeit an einer Stelle stehen sollen. Aufgrund der niedrigen Montagekosten rechnet man sich die höheren Investitionskosten.“

„Diese Masten sind nur für sehr geringe Kopflasten und mit Abspannung konzipiert, die hier nicht in Betracht kommen.“

„Herr Prof. Zuse schlägt aus- und einfahrbare Turmbauwerke für Windkraftanlagen vor. Weiterhin sollen in wenigen Minuten Rotorblätter verschiedener Länge gewechselt werden. Beide Vorgänge sollen vollautomatisch ohne menschlichen Eingriff ablaufen.“

„Auch an der Küste gibt es abrupte Änderungen der Windgeschwindigkeiten und -richtungen. Die Voraussetzung für die Idee ist die rechtzeitige Erkennung von Änderungen der Windgeschwindigkeit.“

„Bei der Projektidee werden die grundlegenden meteorologischen Kenntnisse für den Betrieb von Windkraftanlagen vermisst.“

Stellungnahme seitens ZUSE

(1) „Es wäre interessant zu wissen, um welche Projektidee mit ‚aus- und einfahrbaren Türmen‘ es sich dabei handelt.“

(2) „Daß solche Masten sich nur verwirklichen lassen, wenn sie kurze Zeit an einer Stelle stehen sollen, mag für bisherige Konstruktionen zutreffen. Im allgemeinen dürfte eine Anlage um so wirtschaftlicher sein, je länger die Amortisierungszeit für die Entwicklung und den Bau angesetzt werden kann.“

(3) „Die vorgeschlagene Konstruktion ist für größere Kopflasten gedacht. Gerade das sollte der Gegenstand einer eingehenden Prüfung sein.“

(4) „Dem Vorschlag entsprechend sollen nicht die Rotorblätter allein gewechselt werden, sondern der Verbund der zum Rotor gehörenden Blätter.“

(5) „Daß es auch in Küstennähe abrupte Änderungen der Windgeschwindigkeit geben kann, spricht für flexible Konstruktionen. Die rechtzeitige Änderung der Windgeschwindigkeit ist selbstverständlich Voraussetzung jeder Windkraftanlage.“

(6) „Gute meteorologische Kenntnisse mögen dem Erfinder fehlen. Es geht aber bei dem Projekt gerade darum, den beobachteten Erscheinungen durch eine Voruntersuchung Rechnung zu tragen, und die Ergebnisse dieser Untersuchung dann zu verwerten.“

Antwortschreiben des GL (1. August 1995)

1, 2: „Es wurde zum Ausdruck gebracht, dass solche Maste sinnvoll sein können – für andere Einsätze.“

3: „Bei den Kopflasten (Maschinenhaus und Rotor) von Windenergieanlagen (WEA) der MW-Klasse gehen wir von 60 – 80 Tonnen aus, die nur noch mit entsprechenden Kränen bewegt werden können.“

4: „Es soll sich offensichtlich um das Maschinenhaus mit Blättern handeln, Gewicht siehe Pkt. 3.“

5: „Voraussetzung jeder WEA ist es, dass sie jeder abrupten Windgeschwindigkeitsänderung widerstehen kann. Eine Vorhersage ist praktisch nicht möglich.“

6: „Kenntnisse liegen vor; weitere Untersuchungen für dieses Projekt können entfallen.“

Aussage des GL

„Die rechtzeitige nachweisbare Erkennung von Änderungen der Windgeschwindigkeit ist eine der Voraussetzungen für die Genehmigung. Es müssen Windmessungen in größerer Entfernung durchgeführt und ausgewertet werden. Das dürfte für eine Windkraftanlage oder einen Park nicht wirtschaftlich sein.“

„Sollte keine rechtzeitige Warnung möglich sein, ist die Anlage in allen Betriebszuständen z.B. nach der Jahresbö auszulegen. Dies betrifft auch alle Zwischenzustände des Aus- und Einfahrens sowie auch die Längen der Rotorblätter.“

„Türme, die der Aufnahme von Windkraftanlagen dienen, erfahren neben der Windbelastung auf den Turmschaft große Horizontalkräfte am Turmkopf, welche aus der Windbelastung auf Rotor und Gondel herrühren. Daneben treten am Turmkopf bedingt durch Exzentrizitäten noch Biegemomente, im günstigsten Fall einachsrig wirkend, auf. Besonders diese Turmkonstruktionen führen zu großen Biegespannungen im Turmschaft, d. h. es treten sowohl Druck- als auch Zugspannungen auf. Aus der vorliegenden Beschreibung des Turmes geht hervor, dass die Dimensionierung des Turmes so erfolgen sollte, dass zwischen den übereinanderliegenden Bauelementen keine Zugkräfte auftreten. Die aus ‚Sicherheitsgründen‘ vorzusehende Verriegelung der Bauelemente ist in keinem Fall in der Lage, die nicht unerheblichen Zugspannungen aufzunehmen, die in der Wandung des Turmschaftes auftreten. Eine Dimensionierung dieser Verbindungselemente im Hinblick auf Kraftschlüssigkeit dürfte zu äußerst unwirtschaftlichen Turmbauwerken führen.“

Stellungnahme seitens Zuse

(7) „Es dürfte klar sein, daß eine neuartige Windkraftanlage zunächst als einzelnes Objekt dazu dient, Erfahrungen und Gesichtspunkte für weitere Konstruktionen zu sammeln. Eine Rentabilität ist wohl bei allen Konstruktionen erst in größeren Parks zu erwarten.“

(8) „Gerade bei der Jahresbö ist es in jedem Fall wichtig, ihr mögliches Auftreten zu studieren. Bei der Vorgesprochenen Konstruktion sollte man Maßnahmen treffen, daß bei ihrem möglichen Auftreten der Turm bereits heruntergefahren ist.“

(9) „Die Möglichkeit, die Turmhöhe zu wechseln bzw. den Turm ganz hinunterzufahren erlaubt es ja gerade, Betriebszuständen hoher Belastung auszuweichen. Die Steuerung kann so ausgelegt werden, daß in normalen Betriebszuständen keine Zugkräfte in der Turmkonstruktion auftreten. Es ist inzwischen eine weitere Patentanmeldung eingereicht worden, bei der die Verriegelung gut durchgebildet ist. Sie sollte aber nur bei plötzlichen Ausnahmezuständen, die kurzfristig auftreten können, in Aktion treten, so daß eine Beschädigung der Konstruktion durch Rattern vermieden wird. Ohne Berücksichtigung dieser Verriegelungskonstruktion ist ein Schluß auf die Wirtschaftlichkeit nicht möglich. Die geplanten Versuche dienen ja gerade dazu, die Konstruktion zu erproben und Gesichtspunkte für die weitere Entwicklung zu finden.“

Antwortschreiben des GL (1. August 1995)

7: „Eine Rentabilität kann sich bei einer derartigen Anlage nicht einstellen. Die Investitionskosten bestimmen maßgeblich den kWh-Preis, und diese sind zu hoch.“

8: „Die Jahresbö ist bekannt. Eine Vorhersage ist nicht möglich und ein vorzeitiges Herunterfahren unwirtschaftlich.“

9: „Dieser Ansatz kann nicht verwirklicht werden. Die Steuerung kann so nicht ausgelegt werden. Zugkräfte treten immer auf.“



Aussage des GL

„Ein schon bei Vollwandtürmen äußerst schwieriges Konstruktionsdetail ist die Anbindung des Turmes an das Fundament. Bei einem Turm variabler Höhe müsste die Verankerung ebenfalls variabel, d. h. vielfach, möglich sein. Eine Tatsache, die ebenfalls der Wirtschaftlichkeit der Konstruktion widerspricht.“

„Das vollautomatische Wechseln von Rotorblättern ist unrealistisch. [...] Derzeit besteht nur die Möglichkeit, die Rotorblätter anzuschrauben. Die Anzugsmomente sind nachzuweisen und jeweils zu belegen. Ein vollautomatisches Anschließen ist derzeit nicht machbar.“

„Die Kosten für Rotorblätter sind dem Patentinhaber offensichtlich nicht bekannt. Die Kosten für 2 Sätze sind unwirtschaftlich.“

„Der Bau von aus- und einfahrbaren Türmen mag möglich und sinnvoll sein für Maste und Türme mit geringen Kopflasten. Die Idee ist für Windkraftanlagen ungeeignet.“

„Türme für WKA müssen Zugspannungen aufnehmen können. Da das gemäß den Unterlagen nicht möglich ist, ist der vorgesehene Ansatz nicht machbar.“

Stellungnahme seitens Zuse

(10) „Völlig unverständlich ist die Behauptung, daß bei variabler Turmhöhe die Anbindung an das Fundament ebenfalls variabel sein muß. Selbstverständlich muß die Dimensionierung für die höchsten entsprechend dem flexiblen Verfahren auftretenden Kräfte dimensioniert werden. Das ist dann für alle Fälle ausreichend. Es ist im Gegenteil zu erwarten, daß die gesamte Fundamentkonstruktion mit ihren zugehörigen Verankerungen erheblich leichter gehalten werden kann. Die Dimensionierung auf Orkanstärke ist nicht erforderlich. Dadurch können erhebliche Ersparnisse erzielt werden.“

(11) „Wie bereits unter Punkt 4) erwähnt, werden bei der vorgeschlagenen Konstruktion nicht die einzelnen Blätter, sondern die Rotoren als ganze ausgewechselt.“

(12) „Bei der Kostenrechnung muß berücksichtigt werden, daß die Rotorblätter leichter konstruiert werden können. Erst die Möglichkeit der besseren Ausnutzung bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten erlaubt eine Rentabilitätsrechnung.“

(13) „Erst eine nähere Untersuchung anhand eines weiteren Versuchsmodells kann eine solche Beurteilung ermöglichen.“

(14) „Wie bereits oben erwähnt sollte es der Sinn weiterer Versuche und Untersuchungen sein, auch in bezug auf die zu erwartenden Kopflasten die nötige Klarheit zu erlangen. (s. auch unter Pkt. 9)“

Antwortschreiben des GL (1. August 1995)

10: „Eine genaue Beschreibung der vorgesehenen Fundamentanschlußkonstruktion war in den Unterlagen nicht enthalten. Derzeit üblich und notwendig sind vorgespannte Fundamentanschlüsse. Lösen und wiederanspannen, bei jedem neu eingeschobenen Element erforderlich, ist nur in sehr begrenztem Umfang möglich. Außerdem kann es nicht wirtschaftlich sein, jedes Turmelement mit der notwendigen Verankerungskonstruktion auszustatten.“

11: „Die Rotoren können nicht ausgetauscht werden; in diesem Fall ist das Maschinenhaus mit 60 – 80 t gemeint.“

12/13: „Bisherige WEA nutzen den Wind von 4 bis 30 m/s aus. Es ist bei der vorgesehenen Konstruktion eine Ausweitung dieses Bereichs nicht möglich – eher wird der Betriebsbereich eingengt, da der Turm „rechtzeitig“ runtergefahren werden muß.“

14: „Die Kopflasten sind hinreichend bekannt und optimiert.“

Aussage des GL

„Die Reparatur des Growian war auch deshalb nicht sinnvoll, weil das konstruktiv vorgesehene angeblich wirtschaftliche Hoch- und Runterfahren des Maschinenhauses 2 mal mehr gekostet hätte als heute die Installation von 3 MW-Anlagen der 95er-Generation.“

„Die maximale Höhe von Windkraftanlagentürmen wird bestimmt von der „wirtschaftlichen“ Kranhakenhöhe, dem maximalen Durchmesser für den Straßentransport sowie den zulässigen Belastungen der Wege und Straßen. Türme müssen als Serienprodukte in der Fabrik gebaut werden, das ist auch ein Ergebnis der Forschungswindkraftanlagen Growian, WKA 60 und Aeolus II.“

Stellungnahme seitens Zuse

(15) „Der sehr wichtige Gesichtspunkte der Reparaturen läßt die vorgeschlagene Konstruktion als besonders günstig erscheinen, da teure Reparaturen in Bodennähe durchgeführt werden können. Das gilt auch für die Vereisung der Rotorblätter und eventueller Windschäden.“

(16) „Auch diese Beurteilung ist unverständlich. Ein wesentlicher Vorteil der vorgeschlagenen Konstruktion ist es ja gerade, daß der Turm ohne die Hilfe von hohen Kränen montiert werden kann. Er kann vielmehr an Ort und Stelle zusammengebaut werden. Die Bauelemente, welche die Turmkonstruktion bilden, werden in den Magazinen befördert. Das bedeutet erhebliche Ersparnisse in bezug auf die Fertigung und den Transport zur Baustelle. Bei der neuen Turmkonstruktion sind diese Gesichtspunkte bereits besonders durchdacht, und erst anhand eines solchen Zwischenmodells kann das endgültige Modell entworfen werden.“

Antwortschreiben des GL (1. August 1995)

15/16: „Bei den notwendigen Gewichten und Wanddicken ist die Montage ohne Kräne nicht denkbar.“

„Nach Ansicht des Erfinders sind bei der Beurteilung wesentliche Gesichtspunkte nicht erwähnt bzw. außer acht gelassen worden. Das hätte durch ein kurzes persönliches Gespräch vermieden werden können.“⁸⁶

4.2 Zeichnungen / Skizzen von Konrad Zuse

367 Zeichnungen des Helixturms sind im Archiv des Deutschen Museums (DMA) gesichtet worden, mindestens 149 betreffen den HT2. Wie der schriftliche Nachlass wurden die im Archiv vorhandenen Zeichnungen in einer Excel-Tabelle zusammengefasst (s. Anhang 1). Darin sind neben der laufenden Nummer aufgelistet die Kennzeichnung der jeweiligen Mappe, Bezeichnung und Datierung einer Zeichnung durch KONRAD ZUSE, eine kurze Notiz der Darstellung seitens Verfasser dieser Arbeit und die Blattfolgennummer innerhalb der Mappe. Die Zeichnungen sind vorläufig sortiert. Deshalb erscheinen die Bezeichnungen der Mappen zum Teil sehr ausführlich.

⁸⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/3, ZUSE in Brief vom 05.07.1995 an RICHTER, GL.

Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass zum Zeitpunkt der Sichtung der Zeichnungen der HT2 nicht Inhalt der Arbeit war. Folglich sind die Zeichnungen zum HT2 in der Tabelle nicht genauer beschrieben.

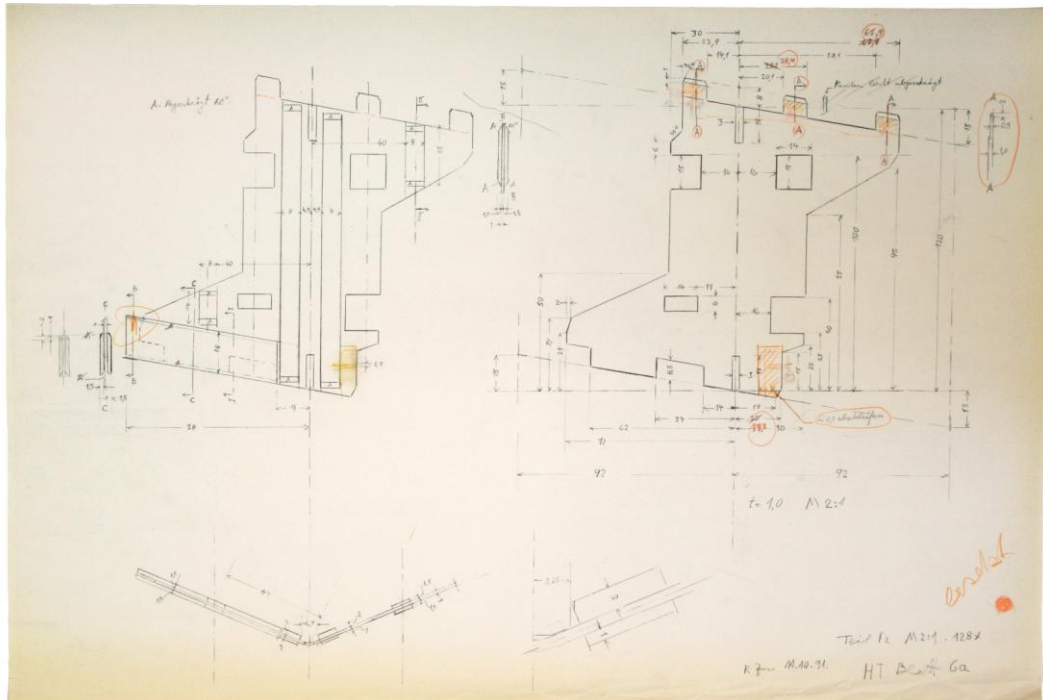


Abb. 22: Zeichnung von Konrad Zuse, datiert auf Oktober 1991, Turmelement des Helixturms

KONRAD ZUSE hatte seine technischen Zeichnungen im Format A1 erstellt. Die meisten Zeichnungen sind gekennzeichnet mit HT oder HT2 und der Blatt-Nummer. Nahezu jede Zeichnung trägt ZUSES Unterschrift und mindestens ein Datum. Oft sind die Darstellungen bezeichnet durch Stücknummern wie *c1* oder *g3.5*, wobei der Buchstabe *a* Bauteile des Antriebs bezeichnet, *b* den Stator und die Führungen für die Steuerstege, *c* Bauteile mit Steuerflächen, *d* die Steuerstege und *g* Bauteile der Magazine. Viele Zeichnungen tragen Vermerke wie *ersetzt*, *überholt* oder *Änderung* mit Datum. Oft wurden von einer Zeichnung mehrere Kopien angefertigt, in denen mit Buntstift Korrekturen vorgenommen worden sind. Dabei ging KONRAD ZUSE bei der zeichnerischen Entwicklung seines Turmmodells genauso vor wie beim Nachbau der Z1 in den Jahren 1987 bis 1989. Dies kann eine Beschreibung der Rekonstruktion der Z1 für das Deutsche Technikmuseum Berlin verdeutlichen: „Zuse veränderte seine Konstruktionszeichnungen jeweils mit einer anderen Farbe, die dann für ihn die neueste Änderung anzeigte. Dabei war er mit seinen Gedanken oft schon viel weiter. Er vergaß deshalb häufig, das Datum hinter die Änderungen zu schreiben, so daß die Reihenfolge der Korrekturen in den heute noch erhaltenen Konstruktionsplänen nicht mehr nachzuvollziehen ist.“⁸⁷ Ebenso verhält es sich mit den gesichteten Zeichnungen des Helixturms im Archiv des Deutschen Museums in München.

Vorhanden sind die Zeichnungen *HT Blatt 1 - 6, 6a, 7 - 20, 20a, 20b, 20e, 21 - 26, 28, 28a, HT zu Blatt 6, zu Blatt 9, zu Blatt 10, zu Blatt 11, zu Blatt 12, zu Blatt 15* sowie *HT2 Blatt 1 - 22, 24 - 29, 32 - 37*. Die Ziffernfolge entspricht nicht der zeitlichen Folge, die sich aus dem jeweiligen Datum einer Zeichnung ergibt. Die erste Zeichnung des Helixturms ist datiert auf

⁸⁷

DORSCH 1998, S. 26.

den 11. Dezember 1989 und zeigt Manipulierkurven bzw. Steuerflächen und ein Turmelement. Sie ist bezeichnet mit *HT Blatt 1*, Vermerk *überholt*. Eine weitere Zeichnung vom 25. August 1991 ist ebenso benannt, trägt den Vermerk *Ersatz für Blatt 2* und zeigt den Querschnitt durch das Zentrum des Helixturms mit Steuerflächen, Stator und Steuerschwenkhebeln. Die Zeichnung *HT Blatt 2* ist datiert auf den 14. April 1990 und zeigt denselben Schnitt.

Es ist nicht möglich, die Zeichnungen in eine zeitliche Reihenfolge zu bringen und damit den Entwicklungsprozess nachzuvollziehen, denn auch die Kopien einzelner Zeichnungen tragen mehr als ein nachträglich notiertes Datum und enthalten diverse Korrekturen, deren Reihenfolge nicht ersichtlich wird.

1991 werden zunächst die Magazine des Turmmodells, ab Juli der Antrieb und danach alle weiteren Bauteile und -gruppen auf dem Papier konstruiert. 1993 werden Änderungen vorgenommen am Standfuß des Magazins, an den Hubarmen und Steuerstegen. Die letzte Änderung ist datiert auf den 18. Oktober 1993. Danach beschäftigt sich KONRAD ZUSE mit dem HT2. Die erste Zeichnung ist datiert auf den 29. April 1992 (*HT2 Blatt 1*), dargestellt ist ein Turmelement. Die letzte Zeichnung betrifft *Teil L* und ist datiert auf den 21. April 1995 (*HT2 Blatt 3*). Im Juni 1995 beschäftigt sich KONRAD ZUSE in der Zeichnung *HT 1 Teil W* noch einmal mit den Turmelementen des ersten Modells. Zwei folgende und letzte Zeichnungen entstehen im Oktober und zeigen die Krone (*HT 1 W 2*) bzw. Turmelemente an der Krone (*W3*) des ersten Funktionsmodells. Die letzte Zeichnung ist datiert auf den 23. Oktober 1995.

4.3 Mündliche/schriftliche Informationen von Zeitzeugen

Nachdem KONRAD ZUSE den Nachbau der Z1 1989 für das Technikmuseum in Berlin fertiggestellt hatte, wollte er „... *etwas zu tun haben* ...“⁸⁸ So beschreibt es neben WILHELM MONS auch HANNELORE ZUSE-STÖCKER. Ihren Berichten zufolge erschien dem Vater das Atelier zu aufgeräumt, es „... *musste eine neue Idee her*.“⁸⁹ Der Haushalt der Familie war vom Erfindungsdrang KONRAD ZUSES geprägt. „*Wenn ein Hindernis vor einer Türe stand, räumte er es nicht fort, sondern entwarf eine Konstruktion, die die Tür um das Hindernis herumführte*.“⁹⁰ HANNELORE ZUSE-STÖCKER weiß, dass sich ihrem Vater aufgrund erster starker Stürme über Deutschland zu Beginn der 1990er Jahre die Frage gestellt hatte „... *wie eine Erfindung der Macht eines starken Sturms ohne Schaden entgegentreten kann*.“⁹¹ Zunächst hätte KONRAD ZUSE über Gebäude nachgedacht „... *die einem überstarken Sturm widerstandsfähig trotzen können. Er dachte, dies gelänge nur mit einem Herunterfahren*.“⁹² KONRAD ZUSE bekam die Anregungen für seinen Turmbau den Aussagen seiner Tochter HANNELORE zufolge „... *auf dem hiesigen Volks- und Schützenfest [...] Er machte über den Festplatz gerne seine Spaziergänge und beobachtete, wie die Karussells ihre Runden drehten und dabei ihr ‚Fahrgestell‘ hoch- und runterfahren. Er war schlichtweg fasziniert und nahm dies als Ideenschub für seine Helixturm-Grundtechnik*.“⁹³ HANNELORE ZUSE-STÖCKER sagt über ihren Vater, er sei seine Ideen betreffend verschlossen gewesen. Dies nicht mangelnden Vertrauens in Freunde und Be-

⁸⁸ WILHELM MONS am 02.12.08 (Telefongespräch).

⁸⁹ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 09.01.09 (Email).

⁹⁰ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 09.01.09 (Email).

⁹¹ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 09.01.09 (Email).

⁹² HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 10.01.09 (Email).

⁹³ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 10.01.09 (Email).

kannte wegen, sondern vielmehr aus dem Umstand „... *dass er im Kreise seiner Familie abschalten wollte ...*“⁹⁴

HERRMANN FLESSNER, Professor an der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften an der Universität Hamburg, hatte KONRAD ZUSE 1959 kennengelernt. Damals war FLESSNER als Bauingenieur mit der Beschaffung von Rechenanlagen beauftragt gewesen. Es „... *muss ungefähr 1984 gewesen sein*“⁹⁵, als ZUSE ihm gegenüber erstmals von einem höhenverstellbaren Turm sprach. In diesem Gespräch machte FLESSNER auf bestehende Erfindungen von Dr. ROLAND VOGEL aufmerksam und hatte anschließend für ZUSE in der Auslegestelle der Handelskammer in Hamburg recherchiert. Als ZUSE die Zeichnungen der Patentschriften VOGELS, speziell DE 3020027 A1 und DE 295242 A1 (s. Kapitel 7), zu sehen bekam, sagte er „... *dann ungefähr so etwas wie ‚das funktioniert bei mir aber anders‘ oder ‚ähnlich.‘*“⁹⁶ Es war ZUSE „... *gar nicht so recht [...] dass es eine, wenn auch anders ausgelegte, Technik bereits gab.*“⁹⁷ Die Idee hatte ZUSE gegenüber FLESSNER zunächst mit Worten beschrieben, aber FLESSNER vermutet, dass ZUSE damals bereits „... *Zeichnungen hatte, die über Skizzen hinausgehen [...] wahrscheinlich mit stenografischen Notizen versehen.*“⁹⁸ ZUSE hatte seit seiner Jugend fast mehr stenographiert als in Langschrift geschrieben. „*Man kann also mit Sicherheit davon ausgehen, dass Zuse die Idee eines höhenverstellbaren Turms schon seit ungefähr mindestens 1984 hatte.*“⁹⁹ Wenig später hatte FLESSNER in Hünfeld Skizzen von ZUSE sehen können zum Vorhaben des mechanisch ausfahrbaren Turms.¹⁰⁰ Beim Vergleich der Erfindungen von VOGEL und ZUSE stellte FLESSNER fest „... *dass die Erfindungen von Dr. Vogel, vom Zweck her beurteilt, fast das gleiche betrafen wie die Erfindungsgedanken von Herrn Zuse.*“¹⁰¹ Verschieden seien die Erfindungen in ihrer Arbeitsweise. Zudem kommen „... *Elektronik und Hydraulik [...] in beiden Arbeitsprinzipien nur am Rande zur Anwendung und spielen bei den Patentansprüchen keine Rolle.*“¹⁰² (Genauer s. Kap. 7)

ROLAND VOLLMAR, Professor am Lehrstuhl Informatik für Ingenieure und Naturwissenschaftler in Karlsruhe, hatte KONRAD ZUSE als „... *einen Menschen mit einem überragenden räumlichen Vorstellungsvermögen ...*“¹⁰³ kennengelernt. Die Idee eines höhenverstellbaren Turms, d. h. die Variabilität sei nach Aussagen VOLLMARS für ZUSE „... *zunächst eine ingenieurmäßige Herausforderung ...*“¹⁰⁴ gewesen. Das „... *überragende räumliche Vorstellungsvermögen ...*“ gepaart „... *mit einem gewissen Spieltrieb ...*“ hatten ZUSE vielleicht zu seinem Entwurf getrieben.¹⁰⁵ VOLLMAR bewundert die „... *hoch ästhetische Form ...*“ des Helixturms, mit der dessen Konstruktion als Kunstwerk betrachtet in ZUSES künstlerisches Werk dahingehend eingeordnet werden könnte, als dass ZUSES künstlerisches Schaffen „... *durch dynamisch Aufstrebendes gekennzeichnet ist.*“¹⁰⁶ WILHELM MONS meint, ZUSE hätte mit seinem letzten Projekt „... *seine ganze mechanische Kunst zeigen ...*“¹⁰⁷ wollen. Er hatte ein „... *sich selbst regenerieren-*

⁹⁴ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 10.01.09 (Email).

⁹⁵ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

⁹⁶ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

⁹⁷ HERRMANN FLESSNER am 22.01.09 (Email).

⁹⁸ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

⁹⁹ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

¹⁰⁰ HERRMANN FLESSNER am 13.01.09 (Email).

¹⁰¹ HERRMANN FLESSNER am 13.01.09 (Email).

¹⁰² HERRMANN FLESSNER am 13.01.09 (Email).

¹⁰³ ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).

¹⁰⁴ ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).

¹⁰⁵ ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).

¹⁰⁶ ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).

¹⁰⁷ WILHELM MONS am 02.12.08 (Telefongespräch).

*des System ...*¹⁰⁸ entwickeln wollen, das auf Umwelteinflüsse reagiert. Der Helixturm baut sich selbst auf und ab, regulierte sich folglich selbst. Professor FRITZ RUDOLF GÜNTSCH, Erfinder des virtuellen Speichers, beschreibt den Turm, wie VOLLMAR, als ein „*technisches Kunstwerk*“¹⁰⁹ Einen Bezug zu Windmühlen, für die sich KONRAD ZUSE zeitlebens begeisterte, sehen sowohl HANNELORE ZUSE-STÖCKER als auch ROLAND VOLLMAR. Für Dr. HARTMUT PETZOLD ist die Geometrie der Turmelemente entscheidend. ZUSE hätte gedanklich experimentiert mit logischen Mustern, um seine Ideen anschließend mechanisch umzusetzen. PETZOLD und VOLLMAR sehen Ähnlichkeiten zwischen den Blechen des Helixturms und den Blechen der Z1. „*Im Zusammenhang mit dem [...] Nachbau der Z1 war der zeitliche Abstand zur Verwendung derartiger Basiselemente nicht sehr groß.*“¹¹⁰ Dr. JÜRGEN ALEX sieht im Helixturm ein Pendant zum Rechnenden Raum.¹¹¹ Er nannte im Telefongespräch im Dezember 2008 die Stichworte Expansion und Kontraktion. Für eine Spezifizierung wäre die Auseinandersetzung mit den theoretischen Ansätzen ZUSES erforderlich, so z. B. Überlegungen zum Rechnenden Raum, zu Sich-selbst-reproduzierenden-Systemen und nicht zuletzt zum Begriff der Kybernetik, was innerhalb dieser Arbeit nicht möglich war.

HERRMANN FLESSNER hatte sich das Turmmodell in ZUSES Atelier in Hünfeld vorführen lassen. Damals war das Gerät bereits mit Motorantrieb gebaut „... *den Zuse aber [...] nicht gern benutzte, weil im Falle einer noch möglichen Verklemmung irgendeines Bleches einige Teile hätten beschädigt werden können. Er benutzte also die Handkurbel.*“¹¹² FLESSNER schrieb, dass die Mechanik gut funktionierte, dass KONRAD ZUSE den Turm „... *ohne Probleme mehrmals rauf und runter ...*“¹¹³ hatte fahren können. „*Allerdings war die Konstruktion nicht sehr steif, im ausgefahrenen Zustand konnte sie zu schwanken anfangen, wenn man zu schnell drehte.*“¹¹⁴ FLESSNER nennt diese Probleme „... *Anfangsschwierigkeiten, die bei neuen Entwicklungen immer vorkommen.*“¹¹⁵ ROLAND VOLLMAR wurde das Turmmodell 1995 vorgeführt. Er hatte den Helixturm im Atelier KONRAD ZUSES mit einem Tuch verhüllt vorgefunden, weil der Erfinder damals nicht wusste, was mit dem Turm geschehen sollte. Von verschiedenen Seiten war KONRAD ZUSE darauf hingewiesen worden, dass der Helixturm in großem Maßstab nicht funktionieren könne. Dem Erfinder gefielen die Bedenken nicht, er wollte sich seine Erfindung nicht ausreden lassen. Deshalb blieb er zurückhaltend mit Äußerungen zu seinem Projekt. Laut FLESSNER berichtete ZUSE nur dann von seiner Konstruktion, wenn er einen wichtigen Schritt vorangekommen war. Insgesamt ist „... *die Turmarbeit Zuses sehr verschwiegen abgelaufen ...*“¹¹⁶

WILHELM MONS sagte, die Einzelteile des Helixturms seien durch die Siemens AG in Augsburg mittels CNC-Maschinen gefertigt worden (ganz anders als bei der Z1 1936, nämlich mit maximaler Präzision). Dies wird neben Schriftstücken im Archiv des Deutschen Museums bestätigt durch ARTHUR MERZ, der die Bauteilfertigung bei SIEMENS ermöglichte, sowie durch HERRMANN FLESSNER, der ARTHUR MERZ „... *einen ganz entscheidenden Anteil bei der Unterstützung ...*“¹¹⁷ zuspricht. Die Art der Fertigung mittels CNC-Maschinen kann durch Aussagen nach Sichtung der Bauteile seitens Dr. SPICKER und TH. REBÉNYI am Deutschen Museum bestätigt

¹⁰⁸ WILHELM MONS am 02.12.08 (Telefongespräch).
¹⁰⁹ FRITZ-RUDOLF GÜNTSCH im November 2008 (Telefongespräch).
¹¹⁰ ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).
¹¹¹ JÜRGEN ALEX am 03.12.08 (Telefongespräch).
¹¹² HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).
¹¹³ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).
¹¹⁴ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).
¹¹⁵ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).
¹¹⁶ HERRMANN FLESSNER am 22.01.09 (Email).
¹¹⁷ HERRMANN FLESSNER am 13.01.09 (Email).

werden. BERNHARD TILLMANN hingegen, vor dessen euphorischer Begeisterung für ZUSE verschiedentlich gewarnt worden war, will den Turm großenteils selbst zusammengebaut und finanziert haben. Die Grundplatte für den Helixturm habe er auf einem Schrottplatz gefunden und geradgedreht. Die Mehrzahl der Bauteile für den Helixturm seien in Dortmund gefertigt worden, die Firmen hätte TILLMANN für die Fertigung der Bauteile engagiert. Einzelteile seien gelasert und geknickt worden, er selbst habe die Turmelemente an einer Feuerstelle im Stadtbad entgratet. Neben TILLMANN hatte sich während eines Besuches des Autors dieser Arbeit in Hünfeld auch Herr TOPAT im Stadtgeschichtlichen Museum als ein enger Mitarbeiter KONRAD ZUSES beim Bau des Helixturms erklärt. Auf Nachfrage zum von ihm umschriebenen, den Ehrenbürger der Stadt Hünfeld zu Lebzeiten fördernden Unternehmen hatte TOPAT keine genaueren Angaben machen wollen, weil schwarz gearbeitet worden wäre. BERNHARD TILLMANN führte seine Umstände genauer aus: Es seien im Januar 1996 Fördergelder in Höhe von 150.000 DM erwartet worden, wovon ihm ein Anteil zugesichert gewesen worden wäre.¹¹⁸ Im Weiteren verwies TILLMANN auf HERMANN SCHEER. Dieser hatte Ensolar in Bonn gegründet und für sein Engagement den alternativen Nobelpreis erhalten. HERMANN SCHEER war nach Aussage TILLMANNs der letzte Mensch, den ZUSE vor seinem Tod hatte sehen wollen. In einem weiteren Telefongespräch teilte TILLMANN mit, er hätte mit den damals mit Fertigung der Bauteile betrauten Firmen inzwischen sprechen können, es sei aber problematisch, Informationen zu bekommen, weil in den Firmen einen Monat lang legal und anschließend schwarz gearbeitet worden wäre.¹¹⁹ JOACHIM FISCHER glaubt, TILLMANN müsse einige Bauteile des Helixturms in Besitz haben. Sie hatten in das Modell eingesetzt werden sollen, um abgenutzte Elemente zu ersetzen. ARTHUR MERZ berichtete, dass die ersten Teile des Helixturms beim Ausfahren nicht ganz funktionierten und neue Turmelemente gefertigt werden mussten. Dies ist durch Unterlagen im schriftlichen Nachlass belegt. MERZ bezeichnet die Turmelemente als „Schuppen“, die die Außenhaut des Turms bildeten.

ZUSE versprach dem Helixturm eine Lebensdauer von 50 Jahren.¹²⁰ Dass die Erfindung von Anfang an für Windkraftanlagen gedacht gewesen sei glauben u. a. Professor GÜNTSCH und ARTHUR MERZ. Aber „*Dass er letztlich seine Idee nun zu einem ‚Windprojekt‘ umfunktionierte, war wohl eher der Versuch, seine Idee irgendwo für ihn unterstützend unterzubringen ...*“¹²¹ Laut VOLLMAR könnte die Festlegung der Erfindung auf Windkraftanlagen damit begründet werden, dass die alternative Energiequelle Wind Mitte der 90er en vogue gewesen ist. ZUSE hatte VOLLMAR gegenüber davon gesprochen „... *dass bei Sturm eine entsprechende Anlage in der Höhe heruntergefahren werden könne, und sich auf diese Weise zu starke mechanische Belastungen vermeiden ließen.*“¹²² BERNHARD TILLMANN, der nach eigenen Aussagen „... *mehr als 200 Stunden im Auto ...*“¹²³ neben ZUSE gesessen hatte, erzählte von langen Diskussionen über Umweltpolitik, „... *das Zukunftsthema schlechthin ...*“¹²⁴ Bei Betrachtung der Windkraftanlagen hätte ZUSE einen allen gemeinsamen Fehler festgestellt, nämlich den Turm.

VOLLMAR bezweifelt „... *nicht, dass der Helixturm als Windkraftanlage genutzt werden könnte.*“¹²⁵ Diese Aussage wird ergänzt durch die Vermutung „... *dass es weniger kostspielig ist,*

¹¹⁸ BERNHARD TILLMANN am 16.11.08 (Telefongespräch).
¹¹⁹ BERNHARD TILLMANN am 18.12.2008 (Telefongespräch).
¹²⁰ GERD FÜLLER am 10.12.08 (Telefongespräch).
¹²¹ HANNELORE ZUSE-STÖCKER am 06.01.2009 (Email).
¹²² ROLAND VOLLMAR am 24.11.08 (Email).
¹²³ BERNHARD TILLMANN am 16.11.08 (Telefongespräch).
¹²⁴ BERNHARD TILLMANN am 16.11.08 (Telefongespräch).
¹²⁵ ROLAND VOLLMAR am 25.11.08 (Email).

*die Anlagen bei Sturm stillstehen zu lassen.*¹²⁶ Denn die Mechanik variabler Türme sei teuer. Laut ARTHUR MERZ hätte ein digitales System abhängig vom Winddruck das Aus- und Einfahren des Turms steuern sollen. FLESSNER weiß, dass der Turm hohe Kopflasten tragen kann, wenn eine ausreichende Seitenstabilität gegeben ist. Er geht genauer auf konstruktive Details ein, was in Kapitel 7 dieser Arbeit näher beschrieben ist. Professor GÜNTSCH hatte als ehemaliger Ministerialdirigent des BWFT hinsichtlich Fördermöglichkeiten zuallererst die Wirtschaftlichkeit des Turms geprüft wissen wollen, denn er hielt den höhenverstellbaren Turm für zu kostspielig. Die Erfindung des Helixturms ist durch drei Institute geprüft worden, u. a. durch den German Lloyd. Dass die dort erfolgte Untersuchung anzuzweifeln ist, können die Korrespondenzen zwischen ZUSE und Dr. RICHTER belegen (s. oben, Abschnitt „Beurteilung durch den German Lloyd“). Beim German Lloyd herrschte „... *die typische Beamtenmentalität ...*“ und weil „... *man die Erfindung des Helixturms beim GL nicht selbst gemacht hat, fallen dort Beurteilungen fast immer hinter dem Vorzeichen einer überwiegend negativen Bewertung statt.*“¹²⁷ Der German Lloyd war lange mit den Zertifizierungen von Windkraftanlagen betraut gewesen, wobei Konkurrenzaktivitäten anderer Behörden wie die der Det Norske Veritas¹²⁸ als unabhängige Stiftung ungern gesehen waren. Professor GÜNTSCH erzählte von einer Studie durch die Fraunhofer Gesellschaft, von der er nicht überzeugt ist.¹²⁹ GERD FÜLLER, Mitarbeiter bei ISET in Kassel, meint, ZUSE sei unvoreingenommen und etwas zu naiv mit der Thematik umgegangen.¹³⁰ Mitte der 1990er hätte es eine große Lobby auf dem Windenergiesektor gegeben. Die Großunternehmen konnten nicht begeistert sein von einer Idee, die ein bis dahin auf dem Gebiet der Windenergie Unbekanntes einbringt und die vielleicht Erfolg verspricht. Deshalb sei der Turm von vornherein durch Förderinstitute abgelehnt worden, zumal sie nicht über die Schutzrechte verfügten. FÜLLERS Aussagen werden unterstützt durch ARTHUR MERZ. Große Stahlbauunternehmen wie Mannesmann oder Salzgitter hätten sich bedroht gefühlt von einer neuen Idee. Die Firmen selbst kannten nur starre Türme und hatten nicht die Rechte am Patent der höhenverstellbaren Konstruktion. ARTHUR MERZ begründet mit dieser abgeneigten Lobby die Ablehnung einer finanziellen Unterstützung und die Verhinderung der Vermarktung der von ZUSE erfundenen Konstruktion. Die Firmen hätten gute Kontakte gehabt zu interessierten bzw. an Windkraftanlagen beteiligten Firmen. Den Namen ZUSE kannte dort keiner. Heute, mehr als zehn Jahre nach dem Ableben ZUSES, sei die Lobby nicht mehr so groß. Die Windkraftanlagenhersteller wären derzeit sehr beschäftigt, es herrschte Fachkräftemangel und für eine Auseinandersetzung mit dem Helixturm seitens eines Windkraftanlagenherstellers fände sich keine Zeit.¹³¹ FÜLLER war 1995 nach eigenen Aussagen in Vorbereitung einer Zusammenkunft wichtiger Pioniere für Windkraftanlagen in ZUSES Atelier in Hünfeld. Dieses Treffen hatte nach dem Tod KONRAD ZUSES nicht stattgefunden. Durch die Auseinandersetzung mit dem Helixturm, wie es im Rahmen einer Diplomarbeit möglich ist, kann nach Aussage FÜLLERS ein Rad ins Laufen gebracht und eine Tür geöffnet werden. Er nannte den Namen SIEGFRIED HEIER, der im Bereich Windkrafttechnik tätig ist. Außerdem will FÜLLER Kontakt zu PETER SCHAUMANN, Professor für Stahlbau an der Universität Hannover, aufnehmen, denn er wäre damals interessiert gewesen an der Konstruktion eines höhenverstellbaren Turms. Zuvor aber sei der Turm durch einen Statiker zu untersuchen.

¹²⁶ ROLAND VOLLMAR am 25.11.08 (Email).

¹²⁷ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

¹²⁸ 1864 in Oslo gegründete, unabhängige Stiftung zum Zweck des Schutzes von Leben, Eigentum und Umwelt.

¹²⁹ FRITZ-RUDOLF GÜNTSCH im November 2008 (Telefongespräch).

¹³⁰ GERD FÜLLER am 11.11.08 (Telefongespräch).

¹³¹ GERD FÜLLER am 11.11.08 (Telefongespräch).

Nach Auskunft WILHELM MONSS hatten sich Mitte der 1990er Jahre Architekten für das Modell des Helixturms interessiert.¹³² Sie hatten in Berlin ein Restaurant auf dem höhenverstellbaren Turm errichten wollen als Attraktion für Touristen. Diese Idee sei mit dem Tod ZUSES aufgegeben worden. JÜRGEN ALEX berichtete, dass es einen Plan der Gesellschaft für Informatik gegeben hätte, ein Café in Berlin zu bauen auf einem HT-Modell im Maßstab 1 : 1. In der Zeitschrift „Spektrum der Wissenschaft“, Ausgabe 1/1997, schreibt JÜRGEN ALEX in einem Artikel über KONRAD ZUSE, dass die Fraunhofer Gesellschaft ein 70 m hohes Monument auf dem Ernst-Reuter-Platz in Berlin vorgesehen hatte. KONRAD ZUSE war von diesem Vorhaben sehr angetan. *„Da sah er eine Verbindung zwischen Kunst und Technik und in der wandelbaren Form ein Symbol des Prinzips der sich selbst reproduzierenden Systeme.“*¹³³ Nach dem Tod von KONRAD ZUSE wurden alle Aktivitäten aufgegeben.

4.4 Wertung

*„Im Grunde bist Du stets allein.“*¹³⁴

KONRAD ZUSE sprach selten über die Idee des höhenverstellbaren Turms. Belegt mit einer auf Dezember 1989 datierten Zeichnung hat spätestens Ende 1989 die zunächst zeichnerische Entwicklung des Helixturms begonnen. Dass dieser Zeichnung eine grundsätzliche Idee vorausgegangen sein muss, können Aussagen HERRMANN FLESSNERS bestätigen, der bereits Mitte der 1980er Jahre mit KONRAD ZUSE über einen variablen Turm gesprochen hatte. Für die Bauteilfertigung eines realen Prototyps der in Form von Zeichnungen konzipierten Idee begann sich KONRAD ZUSE 1990 an verschiedene Unternehmen zu wenden. Die Bauteilfertigung erfolgte letztlich unterstützt durch ARTHUR MERZ in der Siemens AG in Augsburg. Beim Zusammenbau des Helixturms im Atelier in Hünfeld traten Probleme auf, die konstruktive Änderungen verschiedener Bauteile notwendig machten. Diese Veränderungen sind in Kopien von Zeichnungen festgehalten, in denen mittels verschiedenfarbigen Buntstiften durch Striche und Schraffuren auf ergänzte oder zu entfernende Details hingewiesen wird. Korrigierte Zeichnungen wurden der Siemens AG mit Bitte um Änderung übersandt. Das erste Funktionsmodell war im Sommer 1993 vorerst fertiggestellt worden. Dem „inversen Vorführeffekt“¹³⁵ folgend funktionierte das Modell in Anwesenheit von Publikum. Nachweisbare Besucher waren HERRMANN FLESSNER, ROLAND VOLLMAR, ULF HASHAGEN, der Bürgermeister von Hünfeld EBERHARD FENNEL, GERD FÜLLER und die Familie ZUSE.

Die Idee, den Helixturm für Windkraftanlagen zu nutzen, entstand spätestens im Frühjahr 1991, denn im Juni des Jahres erfolgte parallel zu „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“, durch ANDREJEWSKI unterstützt, die Patentanmeldung mit der Bezeichnung „Windkraftanlage“. Zudem hatte KONRAD ZUSE sein Vorhaben 1991 auf einem Gemälde festgehalten (s. Kap. 2, Abb. 4). Im April 1994 ist ein drittes Patent angemeldet worden mit der Bezeichnung „Windkraftanlage mit einem Mast, der nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe aus- und einfahrbar ist“. Die Konzeption der höhenverstellbaren Turmkonstruktion, mit der sich KONRAD ZUSE im Anfangsstadium befand, mit Ausblick auf eine Anwendung für Windkraftanlagen weiterzuentwickeln, mag dem Zweck dienlich gewe-

¹³² WILHELM MONS am 02.12.08 (Telefongespräch).

¹³³ ALEX 1997.

¹³⁴ ZUSE 1984, S. 27.

¹³⁵ ZUSE 1984, u.a. S 55.

sen sein, mit Fördergeldern den Bau eines zweiten Modells zu finanzieren. Denn es ist „... *ein Erfinder fast immer auch unter einem gewissen Erfolgsdruck bezüglich der eingesetzten finanziellen Mittel.*“¹³⁶ Es befand sich KONRAD ZUSE wie beschrieben mit dem ersten realen Funktionsmodell des Helixturms gerade „... *etwa dort...*“ wo er sich mit dem „... *Gerät Z1 etwa 1938 befand.*“¹³⁷ Die Weiterentwicklung des ersten Funktionsmodells begann spätestens im April 1992, aus dieser Zeit liegen Zeichnungen für den HT2 vor. Die neue Konstruktion erwähnt KONRAD ZUSE erstmals schriftlich im Juni 1993 in einem Brief an seinen Patentanwalt ANDREJEWSKI. BERNHARD TILLMANN weiß möglicherweise mehr als er bekanntzugeben bereit ist. Denn in einem Brief an TILLMANN vom Dezember 1994 korrigiert ZUSE den für den HT2 zu fertigenden Zylinder.¹³⁸ BERNHARD TILLMANN war vermutlich mit Bauteilfertigung für den HT2 beauftragt worden und muss dafür einige Zeichnungen erhalten haben. Nach ZUSES Tod wird am 13. März 1996 durch ANDREJEWSKI das Patent für den HT2 angemeldet.

Die alternative Energiequelle Wind erlebte in den 1990er Jahren einen Aufschwung, es waren auf diesem Gebiet Gelder vorhanden. An das Bundesministerium für Wissenschaft, Forschung und Technologie wurde vermittelt durch den ehemaligen Ministerialdirektor FRITZ RUDOLF GÜNTSCH ein Antrag gestellt für den Bau eines 1 : 10 - Modells. Das BWFT hatte drei unabhängige Gutachter beauftragt. Die Prüfer lehnten die Förderung ab. ZUSE hatte sich nach Auseinandersetzung mit dem ihm übersandten Gutachten des German Lloyd an den Bundesminister für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie JÜRGEN RÜTTGERS gewandt, der durch einen Vertreter, GEBHARD ZILLER, die Erfindung ohne weitere Prüfung hat ablehnen lassen. Mit dessen Empfehlung, auf andere Anwendungsgebiete auszuweichen, mag das Desinteresse einer Gemeinschaft bestätigt sein, was die Aussagen unterstützen können, direkte Produktförderung sei „... *ohnehin vom BMFT auch in der Anfangsphase nur sehr ungern gewährt...*“¹³⁹ worden, und beim German Lloyd herrschte „... *die typische Beamtenmentalität...*“ Weil „... *man die Erfindung des Helixturms beim GL nicht selbst gemacht hat, fallen dort Beurteilungen fast immer hinter dem Vorzeichen einer überwiegend negativen Bewertung statt.*“¹⁴⁰ Der Erfindervorschlag wurde 1995 an die Deutsche Patentstelle der Fraunhofer Gesellschaft in München übersandt. Seitens dieser Gesellschaft sah sich erstmalig ein Mitarbeiter eines Förderinstituts das Modell des Helixturms in Hünfeld an, das zu dieser Zeit demontiert gewesen ist. Kurz darauf verstarb der Erfinder, und die Weiterentwicklung des höhenvariablen Turms brach ab.

KONRAD ZUSE wusste, dass für die reale Umsetzung seiner Konstruktion Verbesserungen notwendig gewesen wären.¹⁴¹ Ein größeres Funktionsmodell hätte Korrekturen möglich machen können. Bei seinem dem Deutschen Museum in München überkommenen Prototyp im Maßstab 1 : 30 sind Veränderungen im Millimeterbereich ausschlaggebend für ein Funktionieren. In größerem Maßstab regulieren Veränderungen im Bereich von Zentimetern das Ineinandergreifen der Bauelemente.

Die Entwicklung der höhenverstellbaren Turmkonstruktion war mit dem Ableben des Erfinders abgebrochen. Alle den Helixturm betreffenden Aktivitäten wurden aufgegeben. Das Modell im Atelier im Wohnhaus der Familie in Hünfeld ist wie alle zugehörigen Unterlagen

¹³⁶ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

¹³⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, ZUSE in einem Brief vom 14.06.1994 an ALFRED DREGGER.

¹³⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/6, Brief vom 01.12.94.

¹³⁹ ERICH HAU am 28.11.08 (Email).

¹⁴⁰ HERRMANN FLESSNER am 14.01.09 (Email).

¹⁴¹ HERRMANN FLESSNER am 16.01.09 (Email).

nicht der Öffentlichkeit zugänglich gewesen, bis der Nachlass 2006 an das Deutsche Museum nach München überführt worden ist.

Die Dokumentation des Helixturms und dessen Aufarbeitung im Deutschen Museum erleichtern es zukünftig Interessierten, einen Zugang zu finden und sich mit der Konstruktion und grundsätzlichen Idee KONRAD ZUSES auseinanderzusetzen, die Idee gegebenenfalls weiter zu entwickeln.

5 Dokumentation, Restaurierung und Instandsetzung

Der Helixturm wurde im Oktober 2008 einer Vitrine der Abteilung für Robotik im Deutschen Museum entnommen, in der er nach dem Transport aus Hünfeld im Frühjahr 2006 ausgestellt gewesen ist, und der Restaurierungswerkstatt für Wissenschaftliche Instrumente und Uhren übergeben, in der das Turmmodell bis zum Abschluss dieser Arbeit verblieb.

KONRAD ZUSE schreibt in seiner Autobiografie von einem „inversen Vorführeffekt“.¹⁴² Damit bezeichnet er den Umstand, dass seine Modelle während praktischer Arbeiten selten funktionierten, die erfindungsgemäß bestehenden Mechanismen aber bei Vorführungen ineinandergreifend wirkten. Dem folgend sollte innerhalb dieser Arbeit das Turmmodell nicht derart funktional restauriert werden, dass es jederzeit mechanisch perfekt in Bewegung gesetzt werden könnte. Vielmehr meint ZUSES Aussage, dass der Eigenschaft eines Modells die ihm eigene Unvollkommenheit innewohnt. Diese Unvollkommenheit des Helixturms als ein Funktionsmodell sollte beibehalten werden.

Nach fotografischen Aufnahmen ist das Turmmodell zerlegt worden. In Bezug auf eventuell fehlende Bauteile wurde der Nachlass KONRAD ZUSES im Deutschen Museum gesichtet. Der Reinigung der Bauteile folgten Vermessen der Einzelteile, Erstellen einer Stückliste (s. Anhang 1) und das Zeichnen im CAD (s. Anhang 3). Vor dem Zusammenbau, der videounterstützt dokumentiert ist (DVD in Anhang 4), hat ACHIM BUNZ mit exzellenten Aufnahmen diverser Bauteile des Helixturms die vorliegende Arbeit unterstützt (Aufnahmen s. Anhang 2).



Abb. 23: Helixturm, vor der Restaurierung



Abb. 24: Helixturm, nach der Restaurierung

Der Helixturm vor der Restaurierung

Das Turmmodell war verstaubt, Stahlbauteile korrodiert (Vgl. Abb. 23 - 25), die Funktion nicht mehr gegeben. Das Ausfahren des Turms mit der Handkurbel war möglich auf eineinhalb Windungen, also etwa 60 cm. Dann klemmten die Turmelemente. Den Turm einzufahren verlief widerstandslos.

¹⁴² ZUSE 1984, u. a. S. 55.

Einige Bauteile und -gruppen des Modells wurden noch von KONRAD ZUSE mit einer Nummerierung auf Klebezetteln versehen. So auch die im Modell vorhandenen, unvollzählig 60 Turmelemente, die in wahlloser Reihenfolge in den Magazinen hingen. Klebezettel hatten sich partiell oder gänzlich gelöst. Mehrere Schrauben, Unterlegscheiben und Stützelemente lagen neben diversen Klebezetteln lose auf dem Bock bzw. Tisch.

Die Bauteile des Helixturms sind meist aus Aluminium, manche aus Stahl, wenige aus Messing gefertigt. Die Metalle Aluminium und Stahl liegen in unterschiedlichen Legierungen vor und sind, bedingt durch deren Formgebung, an der Oberfläche verschieden strukturiert. Denn die Einzelteile sind bei der Siemens AG in Augsburg aus Resten gefertigt worden, die von verschiedenen Projekten stammten, für deren Bauteilherstellung spezielle Legierungen verwendet worden sind.¹⁴³

Demontage

Die Dokumentation des Helixturms als erstes Funktionsmodell und dessen Instandsetzung machten eine Demontage notwendig. Zunächst wurden dem Modell lose aufliegende Elemente, d. h. Schrauben, Unterlegscheiben, Stützelemente und Klebezettel entnommen. Dann begann die Demontage des Helixturms, von oben nach unten bzw. von außen nach innen. Überwiegend sind die Bauteile abgeschraubt worden.



Abb. 25: Helixturm, Detail, vor Demontage und Restaurierung

Zuerst wurde die Krone abgenommen, dann die oberen zwölf Turmelemente, die nicht in die Magazine eingeschoben waren. Vor Demontage der Magazine wurde der daran oberhalb befestigte Verbindungsring entfernt, danach die Grundplatte für die Magazine. Die Rotor-scheibe mit den Steuerflächen für die Magazine wurde nach Lösen der zwei Schrauben, die

¹⁴³

ARTHUR MERZ, freundliche Mitteilung am 25.02.1009.

sie mit dem äußeren Rotorzylinder verbindet, abgehoben. Dann sind die 16 Führungsstege für die Steuerstege am Stern entnommen worden, um die Steuerstege einzeln herausheben zu können. Das war falsch. Alle Führungsstege mussten zwischen den über jeweilige Kugellager im Modell hängenden Steuerstegen wieder eingesetzt werden. Denn jede Steuerfläche eines Rotorzylinders verfügt über eine nach oben weisende Aussparung, durch die das Kugellager eines Steuerstegs aus der Steuerfläche eines Rotorzylinders herausgeschoben werden kann. Nachdem die 16 Steuerstege erfindungsgemäß entfernt waren, wurde der Stern mit den Führungen für die Steuerstege vom Haltering gelöst und abgenommen. Der Haltering war am Montagering am Stator über vier Plättchen befestigt. Der Stator mit den Schwenksteuerhebeln ließ sich bei noch montierten Rotorzylindern herausheben. Es wurden die Zeichnungen gesichtet, aber darin ließ sich die Verbindung von Rotorzylindern und Grundplatte nicht lesen. Es fielen die zwei nebeneinanderliegenden Bohrungen ($\varnothing 20 \text{ mm}$) auf der Unterseite der Grundplatte des Helixturms auf. Beim Drehen der Rotorzylinder geben die Bohrungen die Schrauben frei, mit denen die Rotorzylinder mit der Rotorscheibe oberhalb der Grundplatte befestigt sind: zweimal acht Schrauben wurden gelöst und die Rotorzylinder konnten abgehoben werden. Dann wurden die Schwenksteuerhebel über die jeweiligen Montagewinkel demontiert. Anschließend konnte der Stator abgehoben werden. Nach Entfernen des Kugellagerdeckels bzw. der Wellenscheibe und des Kugellagerkäfigs wurde die Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel abgehoben. Der zuletzt auf der Grundplatte des Helixturms stehende Zentralzylinder war über vier Schrauben mit der Grundplatte verbunden und wurde entfernt. Die Schrauben, die die Grundplatte der Turmmechanik mit den Vierkantrohren des Tisches verbinden, ließen sich nicht lösen. Die Gehäusescheibe und der Vierkantring sind mit der Grundplatte des Helixturms verklebt. Diese drei Verbindungen wurden nicht gelöst.

Die Bauteile des Antriebs waren problemlos abzuschrauben. Nicht entfernen ließen sich die vier Stellstifte. Die Grundplatte des Antriebs ist wie die Grundplatte des Helixturms mit den Vierkantrohren über Schrauben verbunden, die sich nicht lösen ließen, weshalb auch diese Grundplatte nicht demontiert wurde.



Abb. 26: Helixturm, nach der Demontage

Stückliste (s. Anhang)

Nach der Demontage des Helixturms lagen dessen Bauteile einzeln vor. Sie sind in Baugruppen geordnet in eine Stückliste in Form einer Excel-Tabelle übertragen worden. Sie beinhaltet die Stücklistennummer, die ein Bauelement einer übergeordneten Baugruppe zuordnet, zudem die - soweit möglich - der Patentschrift entnommenen Bezeichnungen, die Anzahl der jeweiligen Bauelemente und gelegentlich die Materialbezeichnung, außerdem die KONRAD ZUSES technischen Zeichnungen entnommenen Bauteilbezeichnungen in Form von Buchstaben und Nummern. In Summe ergeben sich für den Helixturm 6295 einzelne Bauteile, wobei den Baugruppen Bock, Grundplattenträger und Antrieb 239, der Mechanik der Höhenverstellung 1932 Einzelteile und den Turmelementen des restaurierten Modells 4124 Einzelteile zugeordnet werden. Alle wesentlichen Bauteile sind achtmal oder als ein Vielfaches von acht vorhanden. Innerhalb der Arbeit wurden 54 weitere, dem nicht restaurierten Modell fehlende Turmelemente, ein Turmelemente-Gewicht und das Gewicht in Form einer Röhre für die Krone aus dem Nachlass ZUSES in das Modell eingefügt.

CAD-Zeichnung (s. Anhang)

Die Maße für die Zeichnungen einzelner Bauteile wurden mit dem Messschieber abgenommen. Großteils stimmen den Bauteilen abgenommene Maße mit den von ZUSE in Zeichnungen angegebenen Maßen überein. Auf Angabe geringfügiger Unterschiede wird verzichtet.

Im CAD-Programm SolidWorks wurden die einzelnen Bauteile gezeichnet (Beispiele in Abb. 27), mit den Nummern der Stückliste und entsprechenden Bezeichnungen versehen (soweit möglich der Patentschrift entnommen). Sich wiederholende Bauteile wie Unterlegscheiben oder Kugellager sind jeweils einfach gezeichnet und in den Baugruppen mehrfach verwendet. Schrauben wurden nicht aufgenommen, weil sie im virtuellen Modell mit ihrer Anzahl die erforderlichen Speicherkapazitäten nicht rechtfertigten. Deshalb weist die Auflistung im CAD gezeichneter Bauteile im Vergleich zur Stückliste Lücken auf.

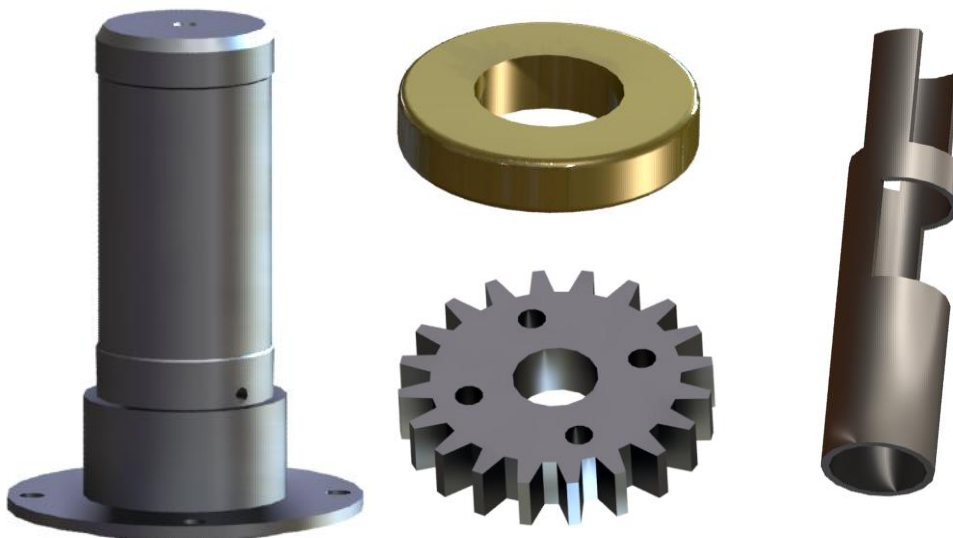


Abb. 27: Bauteile des Helixturms, im CAD gezeichnet (links der Zentralzylinder, rechts ein Hubarmträger)

Unter Verwendung der gezeichneten Bauteile wurden in SolidWorks Baugruppen erstellt, die zu einem virtuellen Modell des Helixturms zusammengefügt wurden. Einzelne Baugruppen sind im Programm animiert. Die Bewegung des gesamten Modells wurde in dieser Arbeit nicht modelliert.

Vom 3D-Modell abgeleitete Zeichnungen finden sich im Anhang. Blatt 1 zeigt Vorder-, Seitenansicht, Aufsicht und einen Schnitt. Um die Details im Schnitt besser zu erkennen, befindet sich ein weiterer Querschnitt in größerem Maßstab auf Blatt 2. Den beiden Zeichnungen im Format A2 schließen sich sieben Konstruktionszeichnungen im Format A3 an. Auf Blatt 3 sind die wesentlichen Baugruppen gezeigt, die in den Zeichnungen 4 bis 8 extrahiert zu sehen sind. Die letzte Zeichnung zeigt die Bauteile mit Steuerflächen.

Nachlass

Neben dem Modell des Helixturms befinden sich im Nachlass KONRAD ZUSES im Deutschen Museum diverse Einzelteile, die dem Helixturm zugeordnet werden konnten. Dazu gehören fünf verschiedene Arten von während der Entwicklung entstandenen Turmelementen, eine zweite Krone und die sehr vereinfachte Form einer dritten Krone, der Standarm eines Magazins mit Zahnstegen und ein Zahnstangenriegel mit Zahnstegen, ein Verbindungssteg, dem eine von drei Achsen abgesägt worden ist, drei vermutlich der Krone aufzulegende Scheiben mit knapp zwei Kilogramm Gewicht zur Beschwerung des Turms, zahlreiche Stellringe und diverse Stangen. Sie stammen vermutlich vom Z1-Nachbau. Deren Ähnlichkeit zu den Schwenksteuerhebeln des Helixturms ist auffallend (Vgl. Abb. 28).

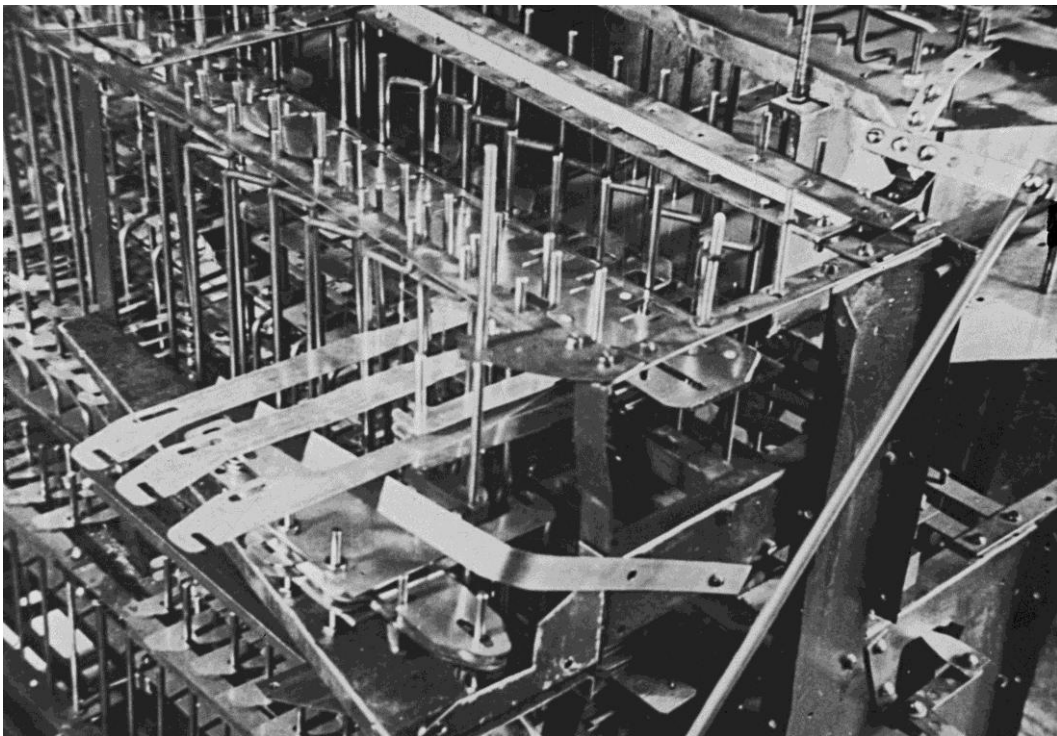


Abb. 28: Z1, Detail



Abb. 29: Helixturm, Turmelement, 1990, Foto: Achim Bunz



Abb. 30: in den Helixturm eingesetztes Turmelement, 1991, Foto: Achim Bunz

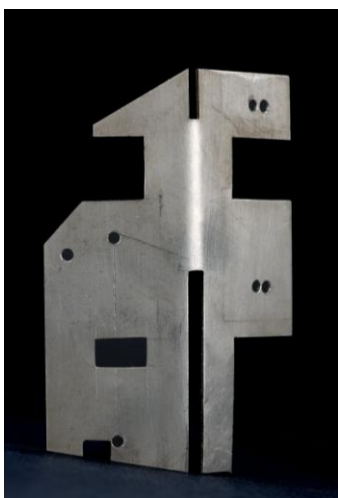


Abb. 31: Turmelement, 1992, Foto: Achim Bunz

Während der Besichtigung des Ateliers von KONRAD ZUSE in Hünfeld im Februar 2009 war ein Karton aufgefallen mit Metallbauteilen. Es befanden sich darin neben diversen Blechen (vermutlich Z1-Nachbau) ein Richtwinkel für die Positionierung der Zahnstege der Magazine, ein Werkzeug, vermutlich für die Ausrichtung des Führungsarms mit Kugellager im Magazin, und eine Art Schablone für den Standarm eines Magazins. Der Richtwinkel war bekannt aus einem Film der von HORST ZUSE kommerziell vertriebenen DVD. Die anderen zwei Konstruktionsmittel wurden der Form folgend identifiziert. Der Inhalt des Kartons wurde im Deutschen Museum nachträglich in den Nachlass integriert.

Im Archiv des Deutschen Museums liegen Zeichnungen vor, anhand derer die fünf vorhandenen, in Form und Größe verschiedenen Turmelemente zeitlich geordnet werden konnten (Abb. 29 - 33).

Die Turmelemente (Abb. 29) mit nach außen gebogen aufgesetzten Blechen sind im Januar bzw. März 1990 entstanden. Von dieser Art sind 24 Stück vorhanden, einmal ist ein aufgenietetes Blech länger ausgebildet.

Von ins Turmmodell eingesetzten Elementen (Abb. 30) waren im Nachlass 59 weitere zu finden, größtenteils mit Klebezetteln versehen, deren Beschriftung diese Bauteile nummeriert. KONRAD ZUSE hatte sie im Oktober 1991 entwickelt. Als Notiz ist auf einer betreffenden Zeichnung zu lesen, dass die Turmelemente in einer Stückzahl von 128 zu fertigen vorgesehen waren. Mit der Anzahl der Zahnlücken eines Zahnstegs kann ein Magazin 16 Turmelemente aufnehmen, das entspricht bei acht Magazinen 128 Turmelementen. Durch diese im Nachlass gefundenen Turmelemente konnten während der Montage 54 weitere Turmelemente ergänzend in das Turmmodell eingesetzt werden (s. Anhang: Auflistung der vorhandenen, im Nachlass gefundenen und ins Modell, der Nummerierung folgend, eingesetzten Turmelemente).

Die Form des Turmelements (Abb. 31) als einfach gebogenes Stahlblech entstand im Juni 1992. Derart befinden sich zehn Stück im Nachlass, zweien fehlt ein Ausschnitt.

Im März 1994 entstand das sich in Größe und Form deutlich unterscheidende Turmelement mit einer Länge von 240 mm (Abb. 32). Es war gefertigt worden für das Modell HT2 im Maßstab 1 : 10.



Abb. 32: HT2, Turmelement, 1994, Foto: Achim Bunz

1995 sind die in Abb. 33 zu sehenden Turmelemente als fünfte und letzte Art gefertigt worden. Deren Form ähnelt den ins Modell eingesetzten Turmelementen. Die aufgenieteten Verstärkungsbleche sind im Vergleich zu den im Modell vorhandenen Turmelementen stärker. Das Ineinandergreifen von „Nut“ und „Feder“ zweier im Modell aufeinanderstehender Turmelemente ist derart verbessert, dass sich nach manuellem Ineinanderstecken der Turmelemente ein stabiles Gefüge ergibt. Von diesen Turmelementen sind 28 vorhanden.



Abb. 33: Helixturm, Turmelement, 1995, Foto: Achim Bunz

Die dem Turmmodell aufgesetzte Krone (Abb. 34) weist Elemente auf, die mit nach außen gebogen aufgenieteten Blechen der ersten Art von Turmelementen ähneln. Im Nachlass befindet sich eine zweite Krone, deren Kranz Bleche in der Form der 1995 gefertigten Turmelemente bilden. Eine dritte, einfache Krone besteht aus dem Tragrings und an den acht Seiten nach unten gebogen aufgesetzten Blechstreifen. Ein im Modell fehlendes Gewicht eines hinteren Turmelements und das der Krone einzusetzende Gewicht in Form eines Rohrabschnitts wurden im Nachlass gefunden und während der Montage an entsprechenden Stellen eingesetzt. Im Nachlass gefundene Stützelemente wurden den Turmelementen aufgeklebt, die das Stützelement verloren hatten und während der Montage in den vorderen Bereich eines Magazins eingesetzt worden sind.



Abb. 34: Dem Helixturm aufgesetzte Krone, Foto: Achim Bunz

Veränderungen / Verbesserungen am Modell, vermutlich nach 1993



Abb. 35: Helixturm, Zahnsteg, Detail Nachbearbeitung des Funktionsmodells

Betrachtet man das Modell des Helixturms von außen genauer, fällt auf, dass die Zahnlücken der parallelen Zahnstege von Hebearm und Zahnstangenriegel eines jeden Magazins nachgefeilt sind, auf die Stärke eines Turmelements, das durch diese Nacharbeitung korrekt mechanisch vor- und zurückbewegt werden kann (Abb. 35).

Kein Turmelement gleicht dem anderen. Die Aussetzungen bzw. Zinken am oberen Rand eines jeden Turmelements, die die Funktion einer Feder beim Eingreifen in eine Nut übernehmen, sind manuell angefast. Der kleine Einschnitt der Stufe am von außen gesehen rechten Rand ist verschieden lang, der Biegewinkel verschieden. In der Stufe darüber ist unterhalb des äußeren Zinkens eine kleine Kerbe manuell gefeilt, der das

Stützelement eines in einer Windung benachbarten Turmelements anliegt. Die Kerben sind unterschiedlich tief. Das Turmelement 7.12 (Beschriftung des Klebezettels) trägt auf der Innenseite mit schwarzem Filzstift geschriebene Bezeichnung „Muster“. Auf der Innenseite der Krone befinden sich diverse Notizen, mit schwarzem Filzstift geschrieben. In die obere Steuerfläche des Rotorzylinders für die Magazinbewegung sind mehrere Ergänzungen eingesetzt, mit Schrauben befestigt, und es ist mehrmals nachgefräst worden (Abb. 36). Für die Positionierung der Bauteile mit Steuerflächen zueinander sind sie punziert oder mit Strichen versehen, in das Material eingeritzt oder mit schwarzem Filzstift gezogen. Auf den Achsen eines Magazins, die über einen Steg verbunden sind, befinden sich an einem Ende mit Inbusschrauben befestigte Stellringe, die Stand-, Hebe- und Führungsarm positionieren. Auf den Achsen sind je mindestens zwei nebeneinanderliegende Abdrücke der Inbusschrauben zu sehen, folglich ist deren Position mindestens einmal verändert worden. Im Magazin M4 sind die Stellringe nicht mit Inbus-, sondern mit Schlitzschrauben befestigt, die einige Millimeter

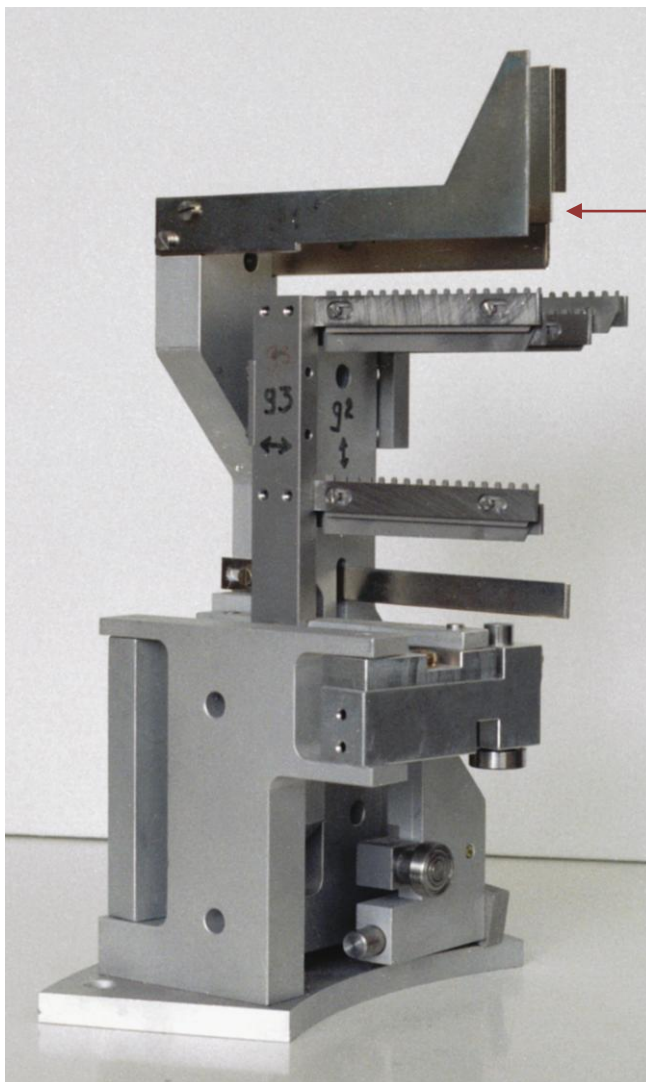


Abb. 36: Helixturm, Rotorscheibe mit Steuerflächen für die Magazinbewegung, Detail der Nachbearbeitung, Foto: Achim Bunz

nach außen überstehen. Auf dem äußeren Rotorzylinder befinden sich Abdrücke mehrerer Etiketten, die früher entfernt worden waren. Am Zentralzylinder ist neben dem vorhandenen Stift eine weitere, durch eine Ergänzung geschlossene Bohrung zu erkennen. Auf der Unterseite der Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel befinden sich kreisförmige Kerben, die durch Abrieb entstanden sind. Die Rotorscheibe ist befestigt mit-

tels Schrauben am äußeren Rotorzylinder und liegt damit nicht der Grundplatte des Helixturms auf. Aber auf der Grundplatte befinden sich vier Schrauben, die den Zentralzylinder mit der Grundplatte verbinden. Deren kreisförmige Anordnung entspricht im Durchmesser dem Abrieb auf der Unterseite der Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel.

Der Standarm eines Magazins und jeweils einer der kurzen und langen Steuerstege unterscheiden sich konstruktiv von den anderen Elementen der jeweiligen Baugruppe, speziell Magazin 4, der lange Steuersteg Nummer 5 und der kurze Steuersteg Nummer 3. Vermutlich hatten sie als Prototypen für die in den Helixturm einzusetzenden Bauteile gedient.



Diese Bauteile fehlen dem Funktionsmodell, das heute als „Helix-turm“ Bestandteil der Sammlung des Deutschen Museums ist.

Abb. 37: Helixturm, Magazin, Foto: vermutlich Konrad Zuse

Diverse Bohrungen in Bauteilen der Magazine haben keine Funktion. Den am Standarm oben zu beiden Seiten befindlichen Bohrungen konnte eine Funktion zugeteilt werden beim Vergleich mit Fotografien einzelner Bauteile, deren Aufnahmen ZUSE um 1992 wahrscheinlich selbst gemacht hatte. Sie sind Bestandteil des Nachlasses im Archiv des Deutschen Museums (Abb. 37). Vermutlich war damals kein Verbindungsring vorgesehen, der die der zentralen Einheit zugeführten Turmelemente unterhalb der auffahrenden Turmelemente positioniert.

Reinigung / Konservierung

Nach der Demontage des Helixturms lagen die Bauteile einzeln oder in Baugruppen vor. An aus Aluminium gefertigten Elementen war starker Abrieb des Metalls sichtbar, zum Teil in Form von Spänen (Abb. 38). Für die Reinigung wurden die Baugruppen, soweit nötig, demontiert.



Abb. 38: Helixturm, Zentralzylinder, während der Demontage



Abb. 39: Helixturm, Detail Kugellager und Grundplatte, während der Demontage

Die Reinigung der Aluminiumbauteile erfolgte mit Siedegrenzbenzin 100 – 140 °C. Metallabrieb in den Zahnzwischenräumen der Zahnräder wurde unter fließendem Wasser mit einer weichen Kunststoffbürste entfernt, was die Oxidschicht des Aluminiums nicht beschädigt hat.¹⁴⁴

Mit dem Problem der Korrosion von Eisenlegierungen hatte sich der Autor innerhalb einer Seminararbeit auseinandergesetzt.¹⁴⁵ Darin sind elektrolytische und mechanische Versuche zur Reinigung beschrieben. Im Ergebnis wurde die Reinigung durch Strahlen mit Walnussgranulat positiv bewertet, wie es auch im zusammenfassenden Endbericht zum Vorhaben DBU-Az 06834 empfohlen wird.¹⁴⁶ Darauf zurückgreifend sind die Stahlbauteile des Helixturms durch Strahlen mit Walnussgranulat, Druck 3 bar, Düsendurchmesser 1,8 mm, Abstand ca. 1 cm von lose aufliegender Rost befreit worden. Der sich anschließenden, nassen Reinigung mit Siedegrenzbenzin 100 – 140 °C folgte das Wachsen der kurzzeitig erwärmten Stahlbauteile mit Cosmoloid 2 %ig in Shellsol T.

Lose Stützbauteile der Turmelemente sind mit Zweikomponentenkleber gefestigt worden.¹⁴⁷ Die Verwendung dieses Klebemittels erzeugt eine stoffschlüssige Verbindung. Es wird das Gefüge der zu verbindenden Bauteile nicht verändert, weder durch Schweißen oder Lötten, noch durch Schrauben oder Niete.

¹⁴⁴ Versuche wurden an Proben durchgeführt, die unter dem Stereomikroskop bei 20facher Vergrößerung kontrolliert worden sind.

¹⁴⁵ TUM, Fallstudie WS 2006/07, Nora Eibisch: *Die Turmuhr der Firma J. NEHER SÖHNE im Deutschen Museum in München.*

¹⁴⁶ BRÜGGERHOFF 2002, S. 10.

¹⁴⁷ Zweikomponentenkleber ist ein Epoxidharz, ein Duroplast. Methylisobuthylketon kann jedes Epoxidharz lösen. Es wurden Versuche durchgeführt, die Verbindung zweier Metalle durch Zweikomponentenkleber mittels Hitze zu lösen, was im Ergebnis bei 75 - 80 °C möglich ist.

Für die Festigung loser Klebezettel kamen nur unpolare Bindemittel in Betracht, weil wässrige Klebstoffe Korrosion fördern. In Anbetracht einer Festigung auf Metall, dessen Schutz mittels Wachsauftrag in der Restaurierung üblich ist, waren säurefreie Wachse Bestandteil einer Versuchsreihe. Ein drittes Material, speziell Kunststoff, hatte nicht eingebracht werden sollen und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Neben Paraffin 4 %ig in Siedegrenzbenzin 100 -140 °C und Cosmoloid 4 %ig in Schellsol T hat sich das Klebewachs der Fa. Kremer bewährt, weil es sich nach Erstarren weniger leicht löste und weniger stark durchgeschlagen hatte als andere in der Versuchsreihe erprobte Materialien. Alle zuzuordnenden Etiketten wurden mit dem Klebewachs annähernd auf ihren ursprünglichen Plätzen befestigt.

In der Bewegung eingeschränkte Bauteile, speziell die Hubarme in den Trägern der Steuerstege und die Rädchen der Steuerstege, sind mit einem Uhren- und Instrumentenöl¹⁴⁸ der Dr. Tillwisch GmbH behandelt worden. Auf Nachfrage in der Firma wurde durch den Geschäftsführer mitgeteilt, es seien „... *alle technischen Öle säurefrei*.“¹⁴⁹ Wenn Öle altern, entwickeln sie in Kontakt mit Luftsauerstoff und Lagermetall Säuren und Metallseifen, sie verharzen. Um das zu vermeiden, sind Uhrenöle additiviert. Das Verharzen der Öle während der Alterung erfolgt durch oxidative Prozesse, für „... *ein nicht additiviertes Mineralöl in 5 Jahren, ein Uhrenöl in 50 Jahren. Spezialöle (fluorierte) in 500 Jahren*.“¹⁵⁰ In der Bewegung eingeschränkte Kugellager der Schwenksteuerhebel und der Steuerstege machten ein Öl mit höherem Penetrationsvermögen erforderlich. Verwendet wurde Max-5 der Firma TONACO. Das Produkt basiert auf Kohlenwasserstofflösemitteln und ist säurefrei.¹⁵¹

Die gereinigten und zum Teil konservierten Bauteile wurden montiert wie in Folge beschrieben (Abb. 40 - 47).

¹⁴⁸ Art.-Nr. TK2300.

¹⁴⁹ WERNER STEHR am 22.11.08 (Email).

¹⁵⁰ WERNER STEHR am 22.11.08 (Email).

¹⁵¹ JENS LÖSCHE am 24.02.2009 (Email).

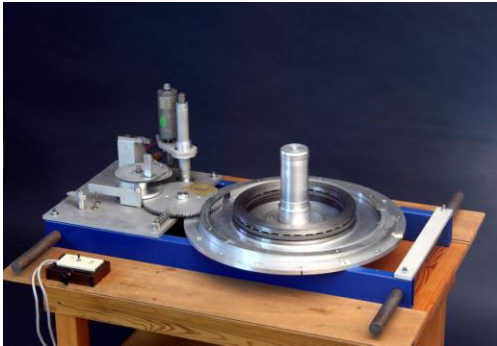


Abb. 40: Helixturn, Montage, Bild 1

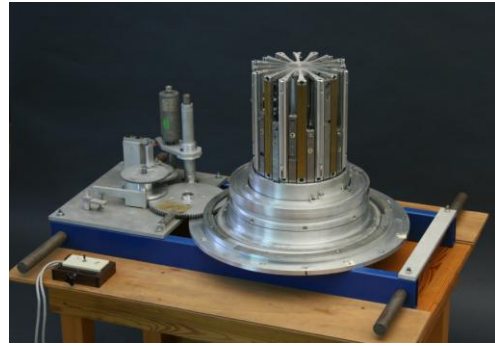


Abb. 41: Helixturn, Montage, Bild 5

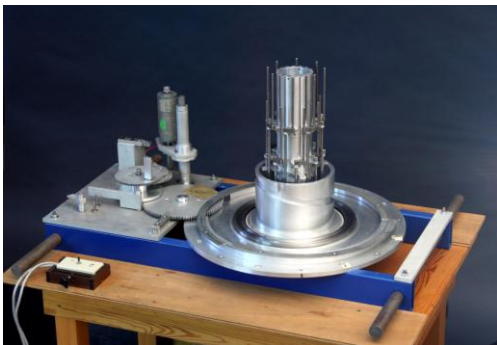


Abb. 42: Helixturn, Montage, Bild 2



Abb. 43: Helixturn, Montage, Bild 6



Abb. 44: Helixturn, Montage, Bild 3

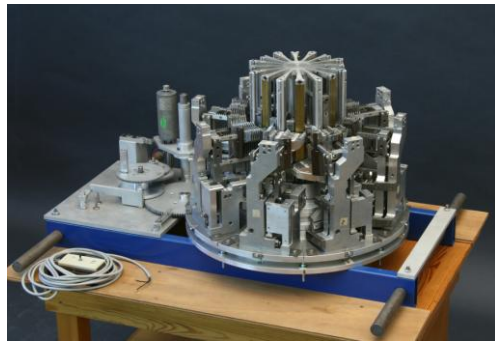


Abb. 45: Helixturn, Montage, Bild 7

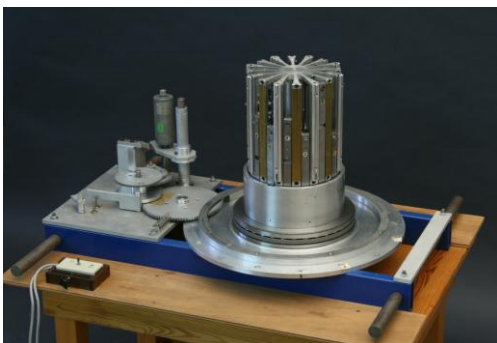


Abb. 46: Helixturn, Montage, Bild 4



Abb. 47: Helixturn, Montage, Bild 8

Montage

Die Montage der einzelnen Bauteile erfolgte nach Erfahrungen mit der Demontage in kürzerer Zeit. Die Positionierung der Rotorzylinder und -scheiben bzw. die Orientierung der Steuerflächen zueinander gaben Markierungen an den Bauteilen in Form von Punzierungen oder Farbstift vor, die ZUSE gesetzt hatte. Nach dem Zusammenbau der zentralen Einheit (Abb. 46), bestehend aus Zentralzylinder, Stator mit Schwenksteuerhebeln, Stern mit Führungen für die Steuerstege und Rotorzylindern, war eine manuelle Bewegung der Mechanik von reibungsbedingt hohen Tönen (Quietschen) begleitet. Es wurde zurückgebaut, um die Ursache herauszufinden. Es drehte sich die Rotorscheibe mit den Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel um den Zentralzylinder schleifend. Durch Ölen mit dem oben erwähnten Uhren- und Instrumentenöl konnte das Geräusch beseitigt werden. Nach Anordnung der Magazine auf entsprechenden Positionen (Abb. 45) war die manuell angetriebene Bewegung wiederholt von Geräuschen begleitet, die Metallabrieb assoziieren ließen. Ursache waren die Schwenksteuerhebel, deren Stangen nicht erfindungsgemäß in die Hubarme eingriffen und deren Kugellager nicht reibungsarm in den Steuerflächen der Rotorscheibe liefen. Die Kugellager der Steuerstege sind wie die Flächen der Hubarme in den Trägern geölt worden. Drei Schwenksteuerhebel hatten gerade gebogen werden müssen. Anschließend war die zentrale Einheit montiert mit Stator, Schwenksteuerhebeln, Führungen für die Steuerstege und Steuerstegen. Nach Montage der Grundplatte für die Magazine wurde das erste Magazin aufgeschraubt. Es war auszurichten durch die Positionierung des Führungsblechs, das genau in die untere Aussparung eines Stegs eingreifen muss, der auf einem Führungsarm befestigt ist. Alle weiteren Magazine sind zunächst derart ausgerichtet und auf der Grundplatte montiert worden. Der Versuch, die Mechanik über die Handkurbel des Antriebs zu bewegen, stieß sofort auf Widerstand. Ursache war das Klemmen der Turmelemente in den Magazinen. Die Zahnstege des Hebearms und des Zahnstangenriegels waren nach der Demontage für die Reinigung durch das Lösen der Schrauben um Bruchteile von Millimetern verschoben und konnten die Turmelemente nicht mehr erfindungsgemäß vor- oder zurücktransportieren. Alle Zahnstangen mussten ausgerichtet werden. Die im Nachlass vorhandenen Turmelemente wurden derart integriert, dass den aufgeklebten Nummern folgend eine neue Ordnung in den Magazinen vorgenommen worden ist (s. Anhang 1). Nachdem die Magazine wieder auf der Grundplatte befestigt waren, wurde der Verbindungsring aufgesetzt. Auch hier mussten die Schrauben mehrmals für eine geeignete Positionierung gelöst werden. Nach Montage des Verbindungsringes war der Turm vollständig aufgebaut. Es folgte die erste Umdrehung der Kurbel des Antriebs, was nur unter Kraftaufwendung möglich war. Das lag daran, dass sich das Zahnrad des Antriebs genau in das Zahnrad des Helixturms einpasste und kein für das Ineinandergreifen zweier Zahnräder notwendiges Spiel vorhanden war. Die Zahnräder des Antriebs wurden gelöst und wieder festgeschraubt. Dem folgte ein zweiter Versuch der Bewegung. Es klemmten einige Turmelemente in den Magazinen. Um das Problem zu lösen, wurden einige Zahnstangen neu positioniert. Im Anschluss wurde der Verbindungsring wiederholt ausgerichtet, weil während des Ausfahrens die Turmelemente zwischen Führungsstegen und Verbindungsring klemmten.

Nach zweiwöchiger Montagearbeit konnte im Ergebnis von Reinigung und Konservierung der Turm mit 114 Turmelementen auf insgesamt 270 cm ausgefahren werden.¹⁵² Dabei darf die Handkurbel des Antriebs, die linksherum gedreht den Turm wachsen lässt, nicht zu lang-

¹⁵²

Die Zahl der Turmelemente ist nicht durch acht teilbar. Denn es befinden sich nach der Restaurierung auf zweien der acht Magazine 15 Turmelemente, auf den anderen sechs Magazinen 14 Turmelemente. Es hatten nicht alle im Nachlass vorhandenen Turmelemente eingesetzt werden können, weil ein Teil unbrauchbar ist. (s. Anhang, Auflistung der ursprünglich im Modell vorhandenen, im Nachlass gefundenen und in das Modell eingesetzten Turmelemente).

sam bewegt werden, weil etwaiges Haken mit schnelleren Bewegungen leichter zu überbrücken ist und zu langsame Bewegungen ein Klemmen erst verursachen. Ein Haken kann überwunden werden durch kurzes Zurück- und schnelles Vorwärtsdrehen der Handkurbel. Das Einfahren ist wegen des zu geringen Gewichtes des Turms schwierig, weil sich die „Nut“- und „Feder“-Verbindungen zwischen aufeinanderstehenden Turmelementen immer wieder lösen. Es muss die Handkurbel des Antriebsrades langsam gedreht und Druck als Gewicht auf die Krone ausgeübt werden, was den Turmelementeverband stabilisiert. Denn der Turm ist ausgelegt auf eine hohe Kopflast, die als senkrecht nach unten wirkende Kraft die „Nut“- und „Feder“-Verbindungen stabilisiert.

Videoaufzeichnung

Die Montage des Turms und die zwei ersten Vorführungen des Turm-Aus- und Einfahrens am 28. Januar 2009 wurden mit einer Filmkamera festgehalten.

Kamera: Sony A1 HDV¹⁵³ 1080i

Kassetten: Mini-DV, Auflösung 1920 x 1080 pixel

Schnitt: Final Cut Pro (Apple), SILVIA KAROLA BUCHENBERG (Deutsches Museum)

Nach Ausschneiden für den Film wichtiger Videosequenzen wurden auf einem Storyboard einzelne Szenen einer Reihenfolge zugeordnet und ein zu sprechender Text formuliert. Der Film soll in der Ausstellung über eine Medienstation die Funktionsweise des Helixturms erklären und das Aus- und Einfahren demonstrieren. Eine unausgereifte, vorerst musikalisch unterlegte, weil nicht vertonte Version liegt dieser Arbeit in Form einer DVD bei (Anhang 4).

Empfehlungen für die Ausstellung des Helixturms

Die Bauteile des Helixturms bestehen neben dem Tisch aus Nadelholz überwiegend aus Aluminium, aus Stahl und Messing. Die Metalle Stahl und Aluminium liegen in verschiedenen Legierungen vor. In der Literatur wird ein für Metalle geeigneter Bereich der relativen Luftfeuchtigkeit von höchstens 40 bzw. 45 % vorgeschlagen.¹⁵⁴ Dieser niedrige Wasserdampfgehalt der Luft ist nur in einer hermetisch dichten Vitrine oder durch Klimatisierung der Ausstellungsräume zu erreichen. Das Deutsche Museum wird in nächster Zukunft saniert. Inwieweit eine Klimatisierung der Ausstellungsräume vorgesehen ist, ist zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit nicht absehbar. Es ist im März 2009 auch nicht bekannt, wo der Helixturm im Deutschen Museum ausgestellt werden soll. Eine hermetisch dichte Vitrine, evtl. mit einem Inertgas wie Stickstoff gefüllt, ist kostspielig und wird in Anbetracht des mehr als 100.000 inventarisierte Stücke zählenden Sammlungsbestandes des Deutschen Museums nicht geleistet werden können. Deshalb sind folgend Möglichkeiten beschrieben, ein geeignetes Klima in einer staubdichten Vitrine zu schaffen, in der das Turmmodell langfristig ausgestellt werden kann.

Der Helixturm sollte um weniger als fünf Windungen ausgefahren im Museum in einer Vitrine ausgestellt werden, in der das Modell von vier Seiten betrachtet werden kann. Für den

¹⁵³ High divison video.

¹⁵⁴ STOLOW 1988 bzw. THOMSON 1981, nach KOESLING 1999 und HILBERT 2002.

Sockel wird Metall empfohlen, von Holz und Holzwerkstoffen ist abzusehen.¹⁵⁵ Für den Glaskorpus wird Einscheibenschutzglas vorgeschlagen.¹⁵⁶ Eine Seite des Glaskorpus sollte als Tür zu öffnen sein. Um Staubeintrag und starke Schwankungen der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit im Vitrineninnenraum zu vermeiden, muss die Vitrine abgedichtet werden.¹⁵⁷ Hohe Luftfeuchtigkeit fördert die Korrosion der Stahlbauteile. Aluminium schützt sich dagegen mit einer dünnen Oxidschicht. Allerdings hat Aluminium ein sehr niedriges Normalpotential von -1,65 V. In Verbindung mit Stahlbauteilen kann Kontaktkorrosion entstehen, weshalb der Feuchtegehalt der Luft im Vitrineninnenraum unbedingt konstant gering zu halten ist. Dies kann mit feuchteabsorbierenden Materialien¹⁵⁸ erfolgen, die im Sockel untergebracht werden können, weil die Luft im Vitrineninnenraum zirkuliert.¹⁵⁹ Daneben sollten auch Schadstoffabsorber in die Vitrine eingebracht werden, denn Schadgase wie Schwefeldioxid und Stickoxide schädigen Metalle, Essig- und Ameisensäure v. a. Kupfer und Kupferlegierungen.¹⁶⁰ Die Beleuchtung¹⁶¹ muss außerhalb der Vitrine angebracht sein. Wichtig ist, dass die Vitrine nicht direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist.

Eine Medienstation kann dem Besucher den Aufbau und die Funktion des Helixturms erläutern mit den während dieser Arbeit erstellten CAD-Zeichnungen und dem Film, der nach Aufnahmen während des Zusammenbaus des Turmmodells, unterstützt durch SILVIA K. BUCHENBERG, im Deutschen Museum entstanden ist. Von regelmäßigen Vorführungen des Aus- und Einfahrens des Helixturms wird abgeraten! Die Aluminiumbauteile der Mechanik werden während der Bewegung erheblichen Beanspruchungen ausgesetzt, was starken Metallabrieb zur Folge hat. Außerdem ist die Mechanik des ersten Funktionsmodells von KONRAD ZUSE nicht derart ausgereift, als dass die Stangen der Schwenksteuerhebel zuverlässig in die Aussparungen der Hubarme eingriffen und die Turmelemente beim Aus- und Einfahren nicht untereinander klemmten. Sollte das Ausfahren des Turms problemlos möglich sein, so können beim Einfahren Widerstände auftreten, die den Turm einstürzen lassen.

Die Entstehungsgeschichte des Helixturms können in einem Ausstellungsumfeld präsentierte Faksimiles aufschlussreicher Zeichnungen und aussagekräftiger Dokumente des Archivs des Deutschen Museums beschreiben. Mit Aufbau im Nachlass vorhandener Kisten mit diversen Bauteilen könnte sich dem Besucher der Eindruck einer Werkstattatmosphäre bieten.

¹⁵⁵ Akzeptiert werden können lang gelagertes Vollholz wie Fichte, Kiefer und Ulme oder Holzwerkstoffe mit der Kennzeichnung FO (formaldehydfrei), FF (formaldehydfrei wie gewachsenes Holz) und V100 (phenolformaldehydgebunden), wenn sie mit Melaminharzlaminaten, Acryl- oder Zweikomponentenlacken beschichtet sind.

¹⁵⁶ Polycarbonat- oder Acrylglas sind nicht kratzfest und ziehen Staub an.

¹⁵⁷ an Stoßkanten mit neutral vernetzendem Silikon oder elastischen Gummidichtungen, die Dichtung der Tür ist mit Filz o. ä. zu versehen.

¹⁵⁸ z. B. Kieselgel oder Molekularsiebe.

¹⁵⁹ PADFIELD 1982.

¹⁶⁰ PIETSCH 1994, HILBERT 2002.

¹⁶¹ Leuchtstofflampen, Kaltlicht-Reflektorlampen oder Strahler mit eingebautem Wärmeschutzfilter geben bei hoher Lichtausbeute wenig Wärme ab. Am besten eignen sich LEDs.



6 Weiterentwicklung des Helixturms durch Konrad Zuse

KONRAD ZUSE hatte das den Helixturm betreffende Patent „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“ (s. Kap. 2, Funktionsbeschreibung) am 13. Juni 1991 angemeldet. Das im Atelier in Hünfeld gebaute, erste Funktionsmodell der Erfindung ist um 1993 vorerst fertiggestellt worden. Bis zu seinem Tod hatte ZUSE Verbesserungen daran vorgenommen und ließ noch 1995 neue Turmelemente anfertigen, die aber nicht mehr in das Modell eingesetzt worden waren. Im Juni 1991, parallel zur Erfindungsanmeldung für den Helixturm, und im April 1994 werden Patente angemeldet, deren Ansprüche neben der Turmkonstruktion jeweils in Bezug auf eine Windkraftanlage mit auswechselbaren Rotorblättern formuliert sind. Dabei handelt es sich um die Patentanmeldungen „Windkraftanlage“, angemeldet am 13. Juni 1991, und „Windkraftanlage mit einem Mast, der nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe aus- und einfahrbar ist“, angemeldet am 16. April 1994. Mit einer auf April 1992 datierten Zeichnung im Archiv des Deutschen Museums ist die spätestens im selben Jahr erfolgte Konzeption eines neuen Turmmodells, HT2, belegt. Der HT2 ist in einer im Dezember 1996 offengelegten Patentschrift beschrieben.

Anhand der drei vom Deutschen Patent- und Markenamt veröffentlichten Patentschriften werden im Folgenden die zwei den Helixturm um die Anwendung auf Windkraftanlagen erweiternden Patente und die Mechanismen des HT2 erläutert. Das Ineinandergreifen übereinanderliegender Turmelemente wird beschrieben, aber nicht diskutiert. Das Problem der Gründung wird in den Patentschriften nicht behandelt.

6.1 Patente, um Anwendung auf Windkraftanlagen erweitert

Patent DE 41 19 428 C1

Bezeichnung: Windkraftanlage

Anmeldetag: 13. Juni 1991

Die Erfindung beschreibt eine Windkraftanlage, die „... eine gegenüber der bekannten Ausführungsform mit festem, turmartigen Bauwerk verhältnismäßig leichte Maschine darstellt, die an sehr unterschiedliche Windgeschwindigkeiten anpaßbar ist und stets mit hohem Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung arbeitet.“¹⁶²

Der Erfindung liegen zwei Patentschriften (DE 2812465 und DE 830180) zugrunde, die Windkraftanlagen behandeln. Bei einer der Erfindungen haben die Rotoren einen vorgegebenen Rotorkreisdurchmesser, weshalb die Anlage fest ausgelegt ist. Die Anpassung an die Windrichtung erfolgt durch Drehen des Mastkopfes, die Anpassung an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten durch variable Höhe des Rotors am Mast. In der anderen Patentschrift ist ebenfalls ein Mast beschrieben, an dessen Mastkopf im Rotorkreisdurchmesser festgelegte Rotoren befestigt sind. Die Anpassung an veränderliche Windgeschwindigkeiten erfolgt durch Höhenverstellung einer am Turm verschiebbaren Hülse, an der die Rotoren

¹⁶² Schutzrechtsdokument des DPA, DE 4119428 C1, S. 1.

drehbar gelagert sind. Der Wirkungsgrad der Windkraftnutzung beider Anlagen sei verbesserungsbedürftig. Genauer werden die genannten Erfindungen in Kap. 7 erläutert. Neben diesen Patentschriften sind dem Erfinder bekannt die zur Zeit der Patentanmeldung und heute gängigen Windkraftanlagen mit einem in der Höhe nicht veränderlichen Mast und Rotoren mit einem festgelegten Rotorkreisdurchmesser. Weil derartige Turmbauwerke starke Windkräfte aufnehmen müssen, sind schwere, stabile Türme erforderlich. Denn die Windkräfte greifen vor allem am Mastkopf und über die Hebelarmlänge des Mastes an der Mastbasis an. Weil bei hohen Windgeschwindigkeiten zur Reduzierung der Windkraft an den Rotorblättern Anstellwinkel nötig sind, die die Strömung abreißen lassen, sei auch hier der Wirkungsgrad der Windkraftausnutzung verbesserungsbedürftig. Eine Möglichkeit der besseren Energienutzung soll die hier beschriebene Erfindung bieten (Abb. 48).

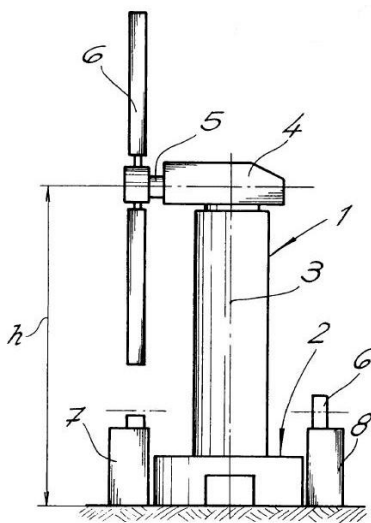


Abb. 48: Windkraftanlage, nach DE 4119428 C1

Erfindungsgemäß verfügt ein abhängig von der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe aus- und einfahrbarer Mast (1) über einen Mastkopf (4), der über eine vertikale Achse drehbar gelagert ist nach Maßgabe der Windrichtung. Im Mastkopf befindet sich eine Propellerwelle (5), an die zwei in Bezug auf den Propellerkreisdurchmesser unterschiedliche Rotoren (6) angeschlossen werden. Kürzere Rotoren nutzen als Schnellläufer hohe, längere Rotoren niedrigere Windgeschwindigkeiten. Hinsichtlich des Wirkungsgrades wird empfohlen, mehrere Rotoren zu betreiben. Über die Rotorwelle sei ein Generator mittel- oder unmittelbar anzutreiben. Die Rotoren abzulegen ist möglich in Rotor-Aufnahmevorrichtungen (7, 8), die um die Mastbasis (2) verteilt sind. Das Auswechseln der Rotoren soll automatisch erfolgen. Es wird auf Hilfsmittel moderner Handlings- und Steuerungstechnik verwiesen. Der Mast

ist aus einzelnen Mastelementen zusammengesetzt, die in mindestens einem Magazin untergebracht sind und dort heraus transportiert den ausgefahrenen Mast bilden in eine von der Windgeschwindigkeit abhängige Höhe. Es wird die Möglichkeit erwähnt, die Turmelemente in Magazinen in einer Mastgrube der Mastbasis unterzubringen. Es muss laut Patentschrift der Mast einer Windkraftanlage, die bei gutem Wirkungsgrad an unterschiedliche Windgeschwindigkeiten anzupassen sein soll „... zu einer Maschine werden ...“¹⁶³

Patent DE 44 13 278 A1

Bezeichnung: Windkraftanlage mit einem Mast, der nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit auf unterschiedliche Masthöhe ein- und ausfahrbar ist.

Anmeldetag: 16. April 1994

Die Erfindung (Abb. 49 - 51) orientiert sich an der oben erläuterten Patentschrift DE 4119428. Ergänzend werden hier ein Ablegeaggregat und die Möglichkeit einer Drehung der Rotorblätter um ihre Rotorblattlängsachse genannt. Die Längsachse verläuft mehr oder we-

¹⁶³ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 4119428 C1, S. 2.

niger senkrecht zur Rotorwelle. Das Drehen der Rotorblätter ist dem Ablegen auf dem Aggregat und dem Einrichten eines in Bezug auf die Windrichtung aerodynamischen Anstellwinkels dienlich. Die Mechanismen der Rotorblattbewegung sind genauer beschrieben als in der Patentveröffentlichung „Windkraftanlage“ vom Juni 1991.

Erfindungsgemäß steht auf einer Mastbasis ein in der Höhe variabler Mast (1), der einen drehbaren Mastkopf (3) trägt (Abb. 49). Das Ein- und Ausfahren soll nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit, das Drehen des Mastkopfes entsprechend der Windrichtung erfolgen. Beide Beweglichkeiten sind durch computerunterstützte Technik zu steuern. Dem Mastkopf ist ein Rotor (5) aufgesetzt, der eine Rotornabe (6) trägt. Daran angeschlossen werden die Rotorblätter (7). In Arbeitsstellung weisen die Rotorblätter radial von der Rotornabe nach außen. Sie können um ihre Längsachse geschwenkt werden. Lange Rotorblätter nutzen niedrige, kurze Rotorblätter höhere Windgeschwindigkeiten. Ein Schwenkantrieb an der Rotornabe kann die Rotorblätter einem Ablegeaggregat (9) übergeben, in dem die Rotorblätter parallel zueinander abgelegt werden. Die Rotoraufnahmeeinrichtung (8) übernimmt das kompakte Ablegeaggregat und bewahrt es auf in horizontaler Lage. Grundsätzlich bezeichnet das Ablegeaggregat einen Rotor, dessen Rotorblätter wie beschrieben abgeschwenkt sind.

Abb. 50 zeigt das Schwenkgetriebe für die Rotorblätter zur Übergabe an das Ablegeaggregat. Zwei Rotorblätter (7a und 7b) befinden sich in Arbeitsstellung, die beiden anderen Rotorblätter (7c und 7d) sind in der Position gezeichnet, die sie im Ablegeaggregat einnehmen. Jedem Rotorblatt sind Schneckenradsegmente (12) zugeordnet, die in zugeordnete Schnecken (13) eingreifen. Sie werden über ein Getriebe (14) bewegt. Eine andere Möglichkeit zum Schwenken der Rotorblätter ist die hier nicht abgebildete Verwendung des Malteserkreuzes. Die wie beschrieben schwenkbaren Rotorblätter um die eigene Achse zu drehen ist in Abb. 51 dargestellt. Dafür sind Kegelräder (20) vorgesehen. Es werden die Kegelräder (20) eines jeden Rotorblatts (7) über ein gemeinsames Kegelrad (21) angetrieben.

In der Patentschrift wird darauf hingewiesen, dass der Erfindung weitere Gestaltungs- und Ausbildungsmöglichkeiten gegeben sind. Es ist wie im oben beschriebenen Patent empfohlen, mehrere

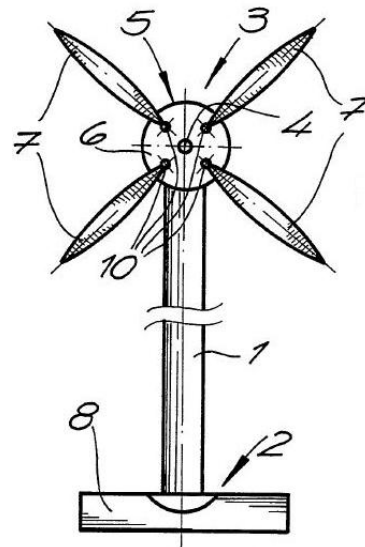


Abb. 49: Windkraftanlage, nach DE 4413278 A1

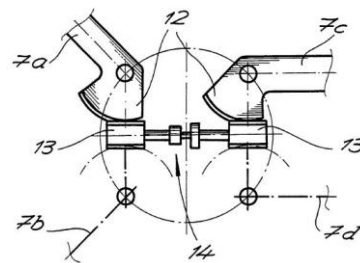


Abb. 50: Schwenkgetriebe, nach DE 4413278 A1

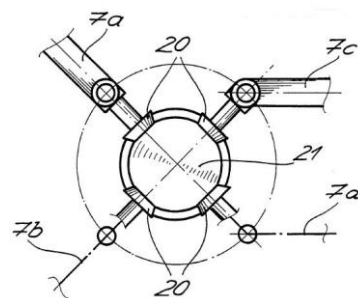


Abb. 51: Schwenkgetriebe, nach DE 4413278 A1

Rotorblätter in Arbeitsstellung zu halten. Prinzip der Erfindung sei, die Windkraftanlage möglichst raumsparend zu gestalten. Für die beschriebenen Anlagen solle „... auf bekannte getriebetechnische, antriebstechnische und steuerungstechnische Maßnahmen zurückgegriffen werden.“¹⁶⁴ Gleiches gelte für einzusetzende Stelltriebe.

6.2 Das verbesserte, nicht ausgeführte Funktionsmodell HT2

Zum zweiten, funktionell verbesserten Modell des Helixturms im Maßstab 1 : 10 sind im Deutschen Museum vorhanden: vier Turmelemente, zahlreiche Zeichnungen und die durch ANDREJEWSKI verfasste Patentanmeldung vom März 1996, zudem zwei Aufsätze von KONRAD ZUSE: „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“¹⁶⁵ und „Höher hinauf. Zukünftige Tendenzen bei Windkraftanlagen“¹⁶⁶. In dem Aufsatz „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“ vom Oktober 1993 erwähnt KONRAD ZUSE das erste Funktionsmodell im Maßstab 1 : 30, heute Bestandteil der Sammlung des Deutschen Museums, an dem das Arbeitsprinzip erprobt werden konnte. „Aufgrund der damit gemachten Erfahrungen kann eine praktisch einsetzbare Konstruktion entworfen werden ...“ KONRAD ZUSE beschreibt in diesem Aufsatz einen realen Turm und dessen Vorteile: Die Röhre des ausgefahrenen Turms bilden zwölf Säulen aus übereinanderliegenden Turmelementen. „Es sind $12 \times 32 = 384$ Bauelemente vorgesehen“ Mit „Bauelementen“ bezeichnet KONRAD ZUSE hier die Turmelemente. „Im Prinzip sollte die Dimensionierung und der Betrieb so erfolgen, daß zwischen den übereinanderliegenden Bauelementen keine Zugkräfte auftreten.“ Sicherheitshalber werden sie gegeneinander verriegelt, wie auch die nebeneinanderliegenden Bauelemente „... so daß das ganze Bauwerk [...] auf Biegung, Schub und Rotation beansprucht werden kann.“¹⁶⁷ Mit einer Umdrehung um die vertikale Achse des Versuchsturms (Maßstab 1 : 1) sollte die Steigung der Höhendifferenz zweier Bauelemente entsprechen, also 2,4 m. Ein im Nachlass im Deutschen Museum vorhandenes Turmelement des im Maßstab 1 : 10 konstruierten HT2 ist 240 mm lang. Das Hochfahren des realen Turms sollte durch einen Motor in wenigen Minuten erfolgen, das Einfahren geschieht durch das Eigengewicht des Turms. Zwei automatisierte, voneinander unabhängige Bremssysteme sind vorgesehen. Dadurch „... daß die Teile ‚Fundament, Schraubtrieb, Oberplatte und Antrieb‘ einmal, die Magazine zwölfmal und die Bauelemente 400 (384)-mal gefertigt werden müssen ...“¹⁶⁸ ist Massenfertigung möglich. Nach Bauteilfertigung in Fabrikhallen kann die Montage des Turms am Aufstellungsort in kurzer Zeit mit wenigen Arbeitskräften erfolgen. „Reparaturarbeiten, Reinigung, Enteisung, Neuanstrich und dergleichen können ebenfalls in Bodennähe erfolgen. [...] Daraus ergibt sich eine verhältnismäßig leichte Bauweise, insbesondere auch für das Fundament. Die bei Türmen zu berücksichtigenden Seitenkräfte gehen auf einen Bruchteil des Normalen herunter.“¹⁶⁹ Denn der Turm kann bei naturgegebener Gefahr jederzeit eingefahren werden. Für die Realisierung eines solchen Turms sei ein Zwischenmodell im Maßstab 1 : 10 zu bauen. „Es genügt, die wichtigsten Teile, wie die Bauelemente, Magazine und Schraubtrieb konstruktiv durchzubilden und zu erproben. [...] Die wichtigsten Konstruktionsskizzen liegen bereits vor.“¹⁷⁰ Es wird in diesem Aufsatz also dem konstruktiv verbesserten HT2 eine Zwischenstellung gege-

¹⁶⁴ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 44 13 278 A1, S. 2.

¹⁶⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1, Aufsatz vom 25.10.1993.

¹⁶⁶ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/7, Aufsatz vom September 1994.

¹⁶⁷ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1, Aufsatz vom 25.10.1993; S. 1.

¹⁶⁸ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1, Aufsatz vom 25.10.1993; S. 3.

¹⁶⁹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1, Aufsatz vom 25.10.1993; S. 3.

¹⁷⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1, Aufsatz vom 25.10.1993; S. 4.

ben. Nach Erfahrungen mit dem ersten Funktionsmodell ist dessen Fehlerhaftigkeit durch neue Mechanismen des HT2 korrigiert, v. a. durch die neue Form der Turmelemente und deren Zuführmechanismus zur zentralen Einheit (s. unten). Der HT2 hatte als ein 1 : 10 - Modell den Bau eines Musterturms im Maßstab 1 : 1 ermöglichen sollen „... dessen Höhe bei 80 bis 120 m liegen soll.“¹⁷¹ In seinem Aufsatz „Höher hinauf. Zukünftige Tendenzen bei Windkraftanlagen“ vom September 1994 beschreibt ZUSE wiederholt die Vorteile des Helixturms als ein Steigturm, für dessen Realisierung ein „Versuchsgerät“ im Maßstab 1 : 10 zu bauen sei. Dies „... wäre mit verhältnismäßig geringem Aufwand möglich. [...] Seine Aufstellung könnte dabei am besten im Rahmen einer Versuchsanstalt an neutraler Stelle erfolgen, und die verschiedenen Hersteller und Institute könnten ihn benutzen.“¹⁷² Die beschriebenen Ausführungen KONRAD ZUSES sind in dem von GERD FÜLLER verfassten Artikel „Weg frei für höhenverstellbare WKA“ in der Zeitschrift WindEnergieAktuell, Ausgabe 12/1995 zusammengefasst.

HORST ZUSE hatte 2006 einen Karton mit 1995 nach KONRAD ZUSES Zeichnungen gefertigten Bauteilen von ARTHUR MERZ erhalten. Dieser Karton beinhaltet neben Fragmenten einer Kette, die 600 mm lang werden sollen,¹⁷³ einen Flansch, einen Stelling mit sechs Schrauben und diverse Bleche (s. Anhang).

Beschreibung des HT2

Die Beschreibung des HT2 orientiert sich an der Offenlegungsschrift DE 19609749 A1, angemeldet am 13. März 1996. Darin wird auf das Schutzrechtsdokument DE 4119466 verwiesen, in dem das erste Modell des Helixturms beschrieben ist. Die neue Erfindungsanmeldung für den HT2 wird begründet mit höherer Funktionssicherheit und Vereinfachung des Aus- und Einfahrens. Die einzelnen Turmelemente des HT2 seien untereinander funktionssicher zu verriegeln. Dem Turmbauwerk wird „... eine beachtliche Stabilität ...“¹⁷⁴ zugeschrieben. Durch den flächendeckenden Verband der Turmelemente im bekannten Bauwerk Helixturm war „... die Gefahr des Verklemmens einzelner Turmelemente beim Aus- und Einfahren ...“ nicht auszuschließen, das Turmbauwerk musste „... daher im Hinblick auf seine Funktionssicherheit noch verbessert werden.“¹⁷⁵

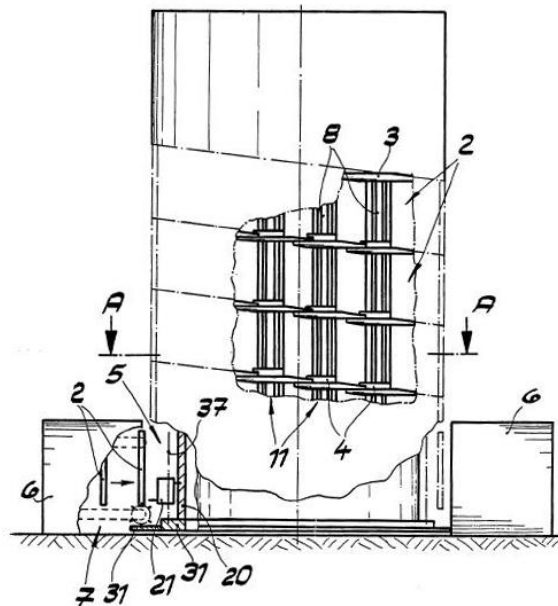


Abb. 52: HT2, nach DE 19609749 A1

¹⁷¹ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/7, Aufsatz vom September 1994, S. 4.

¹⁷² DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/7, Aufsatz vom September 1994, S. 4.

¹⁷³ DMA, NL 220 / vorl. Bezeichnung Mappe HT o. Nr.

¹⁷⁴ ANDREJEWSKI, HONKE & PARTNER: Patentanmeldung „Aus -und einfahbares Turmbauwerk“, 11.03.1996, S. 2

¹⁷⁵ ANDREJEWSKI, HONKE & PARTNER: Patentanmeldung „Aus -und einfahbares Turmbauwerk“, 11.03.1996, S. 2.



Abb. 53: HT2, Turmelement, Foto: Achim Bunz

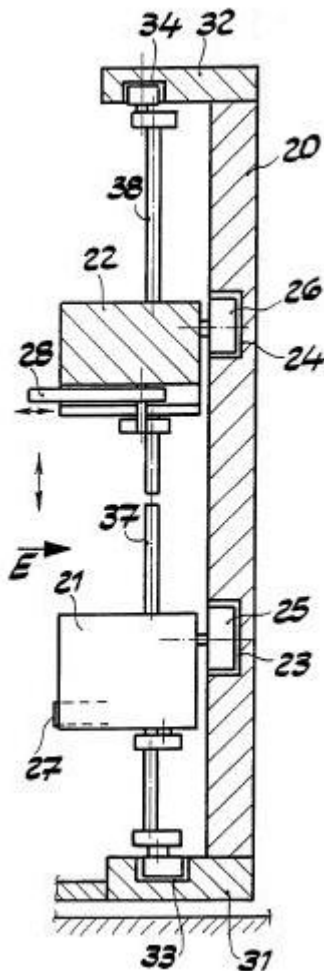


Abb. 54: HT2, Rotorzylinder mit Steuerflächen für die Steuerstege, nach DE 19609749

Wie beim ersten Modell können in Magazinen gelagerte Turmelemente zu einem schraubenwendelförmigen Turmbauwerk ausgefahren werden. In der Positionierung der Turmelemente zueinander ist im Querschnitt der ausgefahrene Turm ein Zwölfeck, ein Dodekagon.

Die Turmelemente (2) sind in Form von Längsprofilen (8) mit senkrecht angeordneten Querarmen als Abstützbauteile ausgeführt und werden als senkrechte Säulen ohne Versatz übereinandergesetzt. Die Längsprofile sind vorzugsweise aus Stahlblech herzustellen und haben einen hutförmigen Querschnitt. Innerhalb einer Windung des Turmbauwerks sind die Turmelemente über ihre Querarme miteinander verbunden. Die Querarme am unteren und oberen Ende eines Längsprofils sind als T-Träger ausgebildet. Sie sind nach innen hin abgewinkelt, wodurch eine mehr oder weniger runde Form des Turmbauwerks erzielt wird.

Die senkrechten Freispalte können beliebig schmal sein, abhängig von der Länge der Querarme, jedoch immer so breit, dass die Turmelemente außer über die Querarme nicht in Kontakt sind. Dadurch wird ein Verklemmen vermieden. Die Querarme benachbarter Turmelemente sind in der Höhe versetzt so angeordnet, dass der Querarm eines Elements den Querarm eines benachbarten Elements übergreift und dort in axialer Richtung verriegelt wird. Der zwei Querarme übergreifende Klemmarm als Verriegelung erhöht die Zugfestigkeit und damit die Stabilität des gesamten Turmelementeverbands. Die Verriegelungselemente bestehen aus einem schwenkbaren Verriegelungshaken an einem Querarm und einer Verriegelungsnase am Abstützbauteil eines benachbarten Turmelements. Die Verriegelungselemente sind durch Steuernuten zu betätigen, die in einem das Turmbauwerk umgebenden Rahmen angeordnet sind. Die Verriegelungshaken sind mit Steuerbolzen versehen, die mit den Steuernuten in Funktionswechselwirkung stehen. Das Aus- und Einfahren der Turmelemente ist ihrer Form als Längsprofile mit senkrecht angeordneten Querarmen wegen „... auf sehr einfache und überraschend funktionssichere Weise möglich.“¹⁷⁶ Weil sich neben den durch die Turmelemente gebildeten axialen Säulen (11) säulenartige Freispalte befinden, „... bietet das Turmbauwerk einen verhältnismäßig geringen Windwiderstand.“¹⁷⁷ Aus diesem Umstand wird eine Anwendung der Erfindung für Windkraftanlagen empfohlen.

¹⁷⁶

ANDREJEWSKI, HONKE & PARTNER: Patentanmeldung „Aus- und einfahbares Turmbauwerk“, 11.03.1996, S. 5.

¹⁷⁷

ANDREJEWSKI, HONKE & PARTNER: Patentanmeldung „Aus- und einfahbares Turmbauwerk“, 11.03.1996, S. 6.

Die Hubvorrichtung (Abb. 54) dient dem Anheben bzw. Ausfahren und dem Absenken bzw. Einfahren des Turmbauwerks. Sie besteht aus einer koaxial zum Turmbauwerk angeordneten Rotorwelle (20) mit Steuerflächen (23, 24) für die Statorträger (21, 22). Sie greifen über Rollen oder Zapfen (25, 26) in die Steuerflächen ein. Die Rotorsteuerelemente sind als Nuten ausgeführt, die über den Umfang der Rotorwelle laufen. Jeder Säule des Turmbauwerks sind zwei übereinander angeordnete Statorträger zugeordnet. Der untere Statorträger (21) übernimmt Aufnahme bzw. Abgabe eines Turmelements. Der obere Statorträger (22) ist der Übergabe bzw. Übernahme eines Turmelements und dessen axialem Transport dienlich. Dass die Statorträger nacheinander mit dem Turmelement in Eingriff sind wird durch die Steuerflächen (23, 24) der Rotorwelle (20) initiiert. Nach der Drehung der Rotorwelle um 180° wird der jeweilige Eingriff gelöst. Jeder Statorträger verfügt über einen in vertikaler Richtung verschiebbaren Hubarm (27, 28), der in die Manipulierausnehmungen eines Turmelements eingreift. Die Bewegung der Hubarme steuern senkrecht stehende Schwenksteuerhebel (37, 38). An den Stirnseiten der Rotorwelle sind eine untere und eine obere Rotorsteuerplatte (31, 32) mit jeweils einer Steuerfläche (33, 34) vorgesehen, die sich mit der Rotorwelle drehen. Die Schwenksteuerhebel sind über Rollen in den Steuerflächen gelagert. Die Schwenksteuerhebel greifen in Aussparungen der Hubarme ein und verantworten dadurch deren Vor- und Zurückbewegung.

Jeder Säule ist ein Magazin (Abb. 55, 56) für die Turmelemente (2) zugeordnet. Sie sind durch Förderketten (39, 40, 41) dem Turmbauwerk zuzuführen oder zu entnehmen. Zwei Förderketten sind unter dem Turmelement angeordnet und nehmen sein Gewicht auf. Eine weitere Förderkette (41) ist unterhalb des Abstützbauteils bzw. Querarms eines Turmelements angeordnet. Die Glieder der Förderketten weisen Zapfen auf, die in Aussparungen der Turmelemente eingreifen. Angetrieben werden die Ketten durch Rotation der Rotorwelle. Ein jedem Turmelementemagazin zugeordnetes Antriebsrad (42) steht in Funktionswechselwirkung mit der unteren Steuerplatte (31) der Rotorwelle. Das Antriebsrad weist über

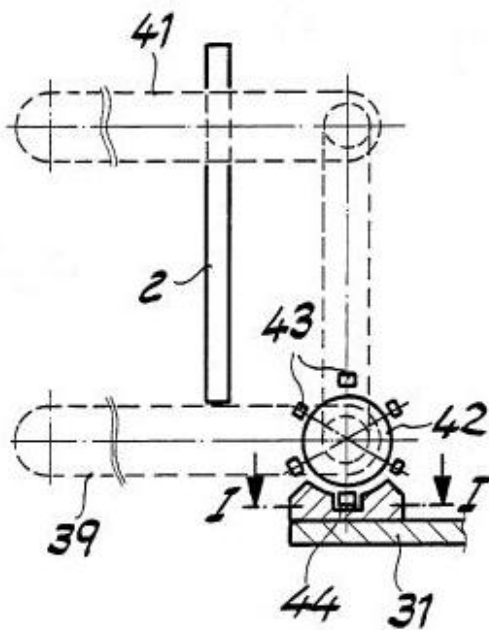


Abb. 55: HT2, Magazin geschnitten, Zuführungselemente, nach DE 19609749 A1

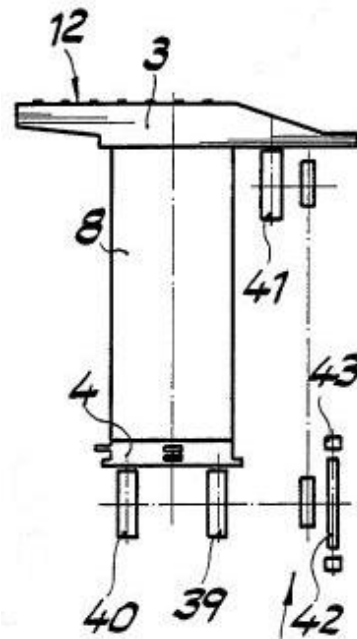


Abb. 56: HT2, Turmelement im Magazin, Zuführungselemente, nach DE 19609749 A1

seinen Umfang verteilt mehrere Eingriffselemente (43) in Form von Rollen oder Zapfen auf. Ihnen sind Rotoreingriffs- bzw. Kurvenführungsnuten (44) in der unteren Rotorsteuerplatte (31) zugeordnet. Durch Rotation der unteren Rotorsteuerplatte wird das Antriebsrad schrittweise bewegt und die Turmelemente vor- oder zurückbewegt. Bei jeder Umdrehung der Rotorwelle um 360° wird dem Magazin ein Turmelement entnommen und dem Turmbauwerk zugeführt, in entgegengesetzter Drehrichtung übernehmen die Magazine die Turmelemente. Die Anzahl der Eingriffselemente (43) auf dem Antriebsrad entspricht der Anzahl an Förderungsschritten, die für eine Zu- oder Rückführung eines Turmelements in oder aus einem Magazin erforderlich sind, wenn sich die Rotorwelle einmal umdreht.

Unterschiede zum ersten, 1991 patentierten Modell

Die Turmelemente des ersten Modells sind 134 mm lang, die des HT2 240 mm. Sie sind im ersten Modell als gebogene Bleche mit aufgenieteten Führungsstegen, im zweiten Modell mit wesentlich weniger Manipulieraussparungen als Längsprofil mit oberem und unterem Querarm ausgebildet. Beim ersten Funktionsmodell ist das Ineinandergreifen von „Nut“ und „Feder“ übereinanderliegender Turmelemente kritisch, die Turmelemente des HT2 greifen sicherer mit Zapfen in Löcher eines darüberliegenden Turmelements. Der Turmquerschnitt ist im ersten Modell ein Oktogon, wesentliche Bauteile wie Magazine, Steuerstege oder Schwenksteuerhebel sind achtmal vorhanden oder als ein Vielfaches von acht. Der Querschnitt des Turms HT2 ist ein Dodekagon, es sind die wesentlichen Bauteile zwölfmal oder als ein Vielfaches von zwölf vorhanden. Im ersten Turmmodell finden in jedem der acht Magazine 16 Turmelemente Platz, insgesamt 128. Für den HT2 waren in zwölf Magazinen 384 Turmelemente vorgesehen, ein Magazin sollte also 31 Turmelemente aufnehmen können.

Die Auf- und Abbewegung des Turms steuern bei beiden Modellen Rotorscheiben mit Steuerflächen, in die Steuerstege und Schwenksteuerhebel mit ihren Kugellagern oder Rollen eingreifen. In der Patentschrift des HT2 werden die im ersten Modell als Steuerstege bezeichneten Bauteile mit „Statorträger“ benannt. Im ersten Modell befinden sich die Steuerflächen für die Schwenksteuerhebel auf einer unteren Rotorplatte und die zwei Steuerflächen für die Steuerstege am Umfang jeweils eines Rotorzylinders. Der HT2 verfügt über nur einen Rotorzylinder mit zwei Steuernuten, in die Rollen oder Kugellager der Statorträger eingreifen. Am Rotorzylinder befestigt sind oben und unten jeweils eine Steuerplatte mit jeweils einer Steuerfläche für die Schwenksteuerhebel. Sie sind nicht wie im ersten Modell nebeneinander, sondern übereinander angeordnet.

Die Bewegung der Turmelemente in den Magazinen erfolgt im HT2 nicht über Zahnstege wie im ersten Modell, sondern über Förderketten. Eine obere und zwei untere Förderketten eines Magazins greifen mit Zapfen an den Gliedern in Aussparungen der Turmelemente ein, die dadurch auf den Ketten gelagert und transportiert werden (Gliederkette. s. Anhang 1).

6.3 Lastabtragung, Tragfähigkeit und Standsicherheit (Hinweise)

Wichtige Begriffe für die Beurteilung der Stabilität eines Turms sind Torsion, Biege-, Scher- und Zugfestigkeit. Auf Zug wird ein Material beansprucht, wenn Kräfte an sich gegenüberliegenden Enden eines Werkstücks angreifen und entlang einer Achse senkrecht zur

Querschnittsebene in entgegengesetzten Richtungen ziehen (Abb. 57). Wirken diese Kräfte in ent-

gegengesetzter Richtung, wird das Material einem Druck ausgesetzt. (Abb. 58). Wenn eine Zug- und eine Druckkraft an zwei sich nicht gegenüberliegenden Punkten senkrecht zur Längsachse eines Werkstücks angreifen, wird ein Material auf Biegung beansprucht, wobei das Material im konvex verformten Bereich gestreckt und im konkav verformten Bereich gestaucht wird. (Abb. 59) Greifen wie in Abb. 60 senkrecht zur Längsachse des Werkstücks zwei sich versetzt gegenüberliegende, in entgegengesetzten Richtungen wirkende Kräfte an, ist das Material einer Scherkraft ausgesetzt. Im Falle der Torsion wird das Werkstück verdreht (Abb. 61). Es greifen Kräfte an der Veranschaulichung dienenden Enden mindestens eines Hebelarms senkrecht zur Längsachse des Werkstücks an. Dabei entsteht ein Torsionsmoment. Der Helixturm ist kein starrer Turm. Untereinander verbundene Bleche bilden den Turm in Form einer Röhre, wobei jede Fügestelle gleichzeitig eine Schwachstelle ist. Es stellt sich die Frage, wie sich ein solcher Turm statisch und dynamisch verhält.

In der Patentschrift DE 4119466 A1, „Aus- und einfahrbares Turmbauwerk“, wird gewährleistet, dass der Helixturm „... *allen Anforderungen hinsichtlich statischer und dynamischer Stabilität genügt...*“¹⁷⁸ Seitlich am Turmbauwerk angreifende Druck- und Zugkräfte könnten aufgefangen werden, weil „... *die einzelnen Windungen der Schraubenwendelfläche zusätzlich durch lösbare Sperrverbindungen mit der jeweils darüber bzw. darunter liegenden Windung zugfest verbindbar sind.*“¹⁷⁹ Zudem vermeiden diese Sperrverbindungen laut Patentschrift das Lösen der Formschlussverbindungen ineinandergreifender Turmelemente übereinanderliegender Windungen. Dem HT2 sichert KONRAD ZUSE in einem Aufsatz von 1993 zu „... *daß das ganze Bauwerk auch auf Biegung, Schub und Rotation beansprucht werden kann.*“¹⁸⁰ In der Patentschrift des HT2, DE 19609749 A1, wird das Vorhandensein der axialen Freispalte zwischen jeweils zwei Turmelementen einer Windung begründet mit dem geringeren Windwiderstand, den das Turmbauwerk biete, das damit „... *auch bei extremen Windbeanspruchungen allen Stabilitätsanforderungen ...*“¹⁸¹ genüge und „... *sich daher insbesondere als Unterbau für Windkraftanlagen.*“¹⁸² eigne. Die Kraft, mit der Wind an einem Bauwerk angreift, ist proportional zur Fläche. Weniger Fläche beinhaltet weniger Angriffsfläche, weshalb die Turmelemente des HT2 vermutlich nur die für die notwendige Stabilität erforderliche Größe bzw. Breite haben.



Abb. 57: Beanspruchung auf Zug



Abb. 58: Beanspruchung auf Druck



Abb. 59: Beanspruchung auf Biegung

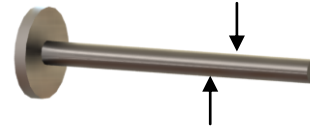


Abb. 60: Scherkraft



Abb. 61: Torsion

¹⁷⁸ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 4119466 A1, S. 1.
¹⁷⁹ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 4119466 A1, S. 3.
¹⁸⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/4/1.
¹⁸¹ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 19609749 A1, S. 3.
¹⁸² Schutzrechtsdokument des DPA, DE 19609749 A1, S. 3.

JOSEPH JORDAN hat als Doktorand am Lehrstuhl für Statik der TU München anhand von ihm zugesandten Gesamt- und Detailaufnahmen die Turmkonstruktion von KONRAD ZUSE zu bewerten versucht. Er hatte nur eine kurzfristige Beurteilung der Statik des Turms formulieren können, weil aus zeitlichen Gründen keine intensive Zusammenarbeit möglich war. Im folgenden Abschnitt wird die schriftliche Stellungnahme erläutert.

Jede Fügestelle innerhalb eines Turms ist gleichzeitig eine Schwachstelle. Folglich weise der Helixturm eine wesentlich geringere Tragfähigkeit auf als ein monolithischer Turm. Soll ein Bauwerk sowohl zerlegbar als auch tragfähig sein, muss ein Kompromiss akzeptiert werden. Für eine Zerlegbarkeit sind formschlüssige Riegelverbindungen erforderlich, wie sie ZUSE in seiner Patentschrift bedacht, aber in das erste Modell nicht eingebracht hat. Allerdings sind für diese Verbindungen Aussparungen im Material erforderlich. Für eine hohe Tragfähigkeit wären Bauteile an den Fügstellen ohne Schwächung zu verbinden. Optimal sei eine monolithische Verbindung, die allerdings nicht zu zerlegen ist. Im Stahlbau hat sich als optimale Verbindung die Schweißtechnik durchgesetzt, wie es auch in den Patenten von DR. VOGEL zu höhenverstellbaren Mastkonstruktionen erwähnt ist (s. Kap. 7). Durch Schweißen können einzelne Bauteile in Bezug auf Tragfähigkeit hinsichtlich der aufzunehmenden Kräfte nahezu verlustfrei verbunden werden. Die Niet- oder Schraubenverbindungen sind nur noch in historischen Konstruktionen zu finden, beispielhaft wird der Eiffelturm genannt. Die Festigkeit durch Verkleben einzelner Bauteile ist im Vergleich mit lösbaren Verbindungen wie Schrauben oder Nieten nicht erreichbar. Bei diesen Verbindungen wird der Kraftfluss umgelenkt und dadurch die Tragfähigkeit verringert. Baukräne sind konstruiert als ein akzeptabler Kompromiss zwischen Tragfähigkeit und Zerlegbarkeit. Deren Fachwerkkonstruktion als miteinander verschweißte Stäbe ist in Bezug auf Tragfähigkeit sehr günstig. Die Zerlegbarkeit und die Zahl der Fügstellen sind auf das notwendige Maß reduziert. Zudem werden die Bauteile an Fügstellen lokal über lösbare Schraubverbindungen verstärkt.

HERRMANN FLESSNER hat als Bauingenieur und ehemaliger Professor der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften an der Universität Hamburg die Systeme von ROLAND VOGEL (s. Kap. 7.1) und KONRAD ZUSE verglichen. Von Bedeutung ist, dass ZUSE ohne seitliche Abspannungen hatte auskommen wollen. Die Erfindungen sowohl ZUSES als auch VOGELS können unter Bedingung der erforderlichen Seitenstabilität hohe Kopflasten tragen. Aber ZUSES Konstruktion weise keine Seitensteifigkeit in dem für Turmbauwerke erforderlichen Maße auf. Dies begründet FLESSNER mit dem einer Mechanik innewohnenden Spielraum, wenn Elemente reibungsfrei aneinander vorbeigleiten oder ineinandergreifen sollen. Diese Problematik war Gegenstand zahlreicher Diskussionen zwischen KONRAD ZUSE und HERRMANN FLESSNER.¹⁸³ ZUSE sei damals klar gewesen, dass für ein Modell im Maßstab 1 : 1 nachgebessert werden müsse, wofür ein 1 : 10-Modell in Planung war.

ERICH HAU, 1987 bis 1990 Vorstandsmitglied ISET¹⁸⁴, wurde von GERD FÜLLER als „Windenergie-Papst“ beschrieben.¹⁸⁵ ERICH HAU war nach ihm übersandten Bildern des Helixturms *„...erstaunt, wie ein ‚Genie‘ [...] in anderen Bereichen doch so danebenstehen kann. So fantasienvoll und interessant sich die Idee auch ansieht, für Windkraftanlagen ist sie völlig daneben. Ein derartiger Turm würde mehr kosten als [...] gleich mehrere Windkraftanlagen zusammen.“*¹⁸⁶ Ein massives Bauwerk wie der Helixturm hätte aerodynamische Nachteile für

¹⁸³ HERRMANN FLESSNER am 16.109 (Email).

¹⁸⁴ Institut für solare Energieversorgungstechnik in Kassel.

¹⁸⁵ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/2, Notiz von Gerd Füller am 14.8.1995.

¹⁸⁶ ERICH HAU am 9.12.08 (Email).

den Rotor. Denn aus dem Windstau vor dem Turm und vom Rotor hinter dem Turm resultierten Leistungsnachteile. Weiter äußerte sich ERICH HAU allgemein zu Kosten, Montageproblemen und Schwingungsverhalten von Türmen und zur Förderpolitik der Windenergie. Türme werden aktuell aus Stahl gebaut. Beton setzt sich zunehmend durch, weil die Preise für Stahl steigen und sich mit dem Material Beton höhere Türme realisieren lassen. Üblich ist bislang die Stahlrohrbauweise. Für Standardwindkraftanlagen mit einem Rotordurchmesser von ca. 80 m und 2 MW Nennleistung werden im Binnenland etwa 100 m hohe Türme eingesetzt. Ein solcher Stahlbetonturm hat ein Gewicht von ca. 250 t. Die Kosten summieren sich für einen Turm auf ca. 20% der Gesamtkosten einer Windkraftanlage. Jede Verteuerung der Turmbauweise, zum Beispiel mit hin und wieder vorgeschlagenen teleskopartigen Konstruktionen, würde die Kosten einer Windkraftanlage so sehr in die Höhe treiben, dass die Wirtschaftlichkeit einer WKA dadurch in Frage gestellt wäre. Die spezifischen Herstellungskosten sind mit ca. zwei Euro/Kilogramm Stahl sehr niedrig. Die niedrigen spezifischen Kosten bei Türmen sind nur möglich, wenn die Türme so einfach wie möglich gebaut werden, weil sonst ein spezifischer Preis von zwei Euro/Kilogramm nicht zu halten wäre. Die Montage von Windkraftanlagen auch auf einer Höhe von 100 m mit Turmkopfgewichten von weit über 100 t ist heute einfacher als zu Beginn der Anfangsphase der Windenergienutzung. An gut zugänglichen Aufstellungsorten stehen Hebekräne zur Verfügung, eine Windkraftanlage kann an einem Tag montiert werden. Auch unter dem Aspekt der Montage ließe sich ein Turm nicht vereinfachen. Die Turmkonstruktion würde verkompliziert und damit verteuert. Die Bauweise eines Turms, speziell die Steifigkeit hat großen Einfluss auf das Schwingungsverhalten einer Windkraftanlage. Vom Rotor gehen Anregungen aus, die die erste Biege-Eigenfrequenz in Schwingung versetzen. Es müsse also die erste Biegeeigenfrequenz einer Turmkonstruktion präzise eingehalten werden. Eine Höhenverstellung hält ERICH HAU für überflüssig, mit der Begründung *„Je höher der Turm ist, um so besser.“*¹⁸⁷ Inzwischen ist die Herstellung von Windkraftanlagen ein etablierter Industriezweig. Staatliche Förderung gibt es nach Aussage ERICH HAUS nur noch für theoretische Grundlagenarbeiten. Eine direkte Produktförderung *„... die ohnehin vom BMFT auch in der Anfangsphase nur sehr ungern gewährt wurde ...“*¹⁸⁸ ist heute nicht mehr möglich. Höhenverstellbare Türme würden heute in der breiten Windenergienutzung keinen Erfolg haben. Interessant werden diese Ideen für kleinere WKA, die unter schwierigen Bedingungen aufgestellt werden müssen, beispielsweise in der Dritten Welt. Dort steht die Durchführbarkeit im Vordergrund und nicht die Wirtschaftlichkeit. ERICH HAU kann sich vorstellen *„... dass in Zukunft solche Konzepte [...] durchaus eine Chance haben.“*¹⁸⁹

Der Helixturm ist ausgelegt auf hohe Kopflasten. Je größer das Gewicht, desto stabiler der Turmelementeverband. Die Turmelemente bilden den ausgefahrenen Turm in Form einer achteckigen Röhre. Sie sind im ersten Modell übereinander formschlüssig miteinander verbunden über drei am oberen Rand eines Turmelements befindliche Abschnitte, die wie Federn in eine Nut in eine Aussparung am unteren Rand des darüberliegenden Turmelements eingreifen. Ein im Modell nicht vorhandener, aber in der Patentschrift beschriebener Riegelmechanismus unterstützt die vertikale Verbindung der Turmelemente untereinander (s. Kap. 2). Im zweiten, nicht mehr gebauten Modell sind die Turmelemente in der Röhre über Zapfen verbunden mit den vier benachbarten Turmelementen, in deren Aussparungen die Zapfen eingreifen. Diese Verbindung unterstützen kleine Verriegelungselemente. Ob der

¹⁸⁷ ERICH HAU am 28.12.08 (Email).

¹⁸⁸ ERICH HAU am 28.11.08 (Email).

¹⁸⁹ ERICH HAU am 28.11.08 (Email).

Kraftfluss aufzunehmenden Kräften standhält, kann in dieser Arbeit nicht geklärt werden. Zum dynamischen Verhalten des Helixturms hatte sich KONRAD ZUSE nicht geäußert. Es ist darauf hinzuweisen, dass der Helixturm im Deutschen Museum ein erstes Modell ist, an dem die grundsätzliche Idee eines höhenverstellbaren Turmbauwerks nachvollziehbar wird, das aber nicht dem Anspruch auf Vollkommenheit genügen kann. Schwierig ist das automatische Ineinandergreifen der Turmelemente, besonders beim Einfahren. KONRAD ZUSE hatte vermutlich eine allen Ansprüchen genügende Lösung für möglich gehalten. Es sind über die Informationen zum zweiten Turmmodell erste konstruktive Verbesserungen vorhanden, bis zuletzt war KONRAD ZUSE bemüht um Fördergelder für ein 1 : 10 - Modell, und 1994 schrieb der Erfinder in einem Brief: *„Zur Zeit arbeite ich wieder an einem neuen Projekt und befinde mich etwa dort, wo ich mich mit meinem Gerät Z1 etwa 1938 befand.“*¹⁹⁰ Mit dem ersten Turmmodell sah sich der Erfinder also erst am Anfang eines Entwicklungsprozesses.

¹⁹⁰ DMA, NL 220 / vorl. Nr. 220/1/4, ZUSE in Brief vom 14.06.1994 an ALFRED DREGGER.

7 Weitere höhenverstellbare Konstruktionen

Das Problem der Höhenverstellung ist keine singuläre Erfindung KONRAD ZUSES. Der Helixturm als stufenlos höhenverstellbares Turmbauwerk unterscheidet sich von anderen in der Höhe variablen Konstruktionen durch Elemente, die in kreisförmiger Anordnung einen ausgefahrenen Turm in Form einer Röhre bilden. Es werden in diesem Kapitel die zur Zeit der Arbeit durch das Deutsche Patent- und Markenamt (DPA) veröffentlichten Erfindungsschriften bzw. Schutzrechtsdokumente, die höhenvariable Bauten zum Inhalt haben, in zeitlicher Reihenfolge der Erfindungsanmeldung erläutert. Dies erfolgt, um die Einzigartigkeit des Helixturms bzw. dessen im Vergleich zu bestehenden Erfindungen technische Neuerungen darzulegen. Vor der Beschreibung der beim DPA angemeldeten Erfindungen wird die Entstehung einer Patentanmeldung erläutert.

Von der Erfindung zum Patent

Der Anmeldung einer Erfindung zum Patent geht ein „Antrag auf Erteilung eines Patents“ voraus, den der Erfinder beim Deutschen Patent- und Markenamt (DPA) bzw. der im jeweiligen Land zuständigen Behörde stellt. Mit Eingang der Anmeldung wird der „Anmeldetag“ festgelegt, der auf jeder künftigen Schutzrechtsveröffentlichung vermerkt ist. Das erste Jahr, in dem die Anmeldung im Amt hinterlegt und noch kein Prüfungsvorgang beantragt ist, wird als Prioritätsjahr bezeichnet. Innerhalb dieser Zeit kann die Anmeldung ergänzt bzw. umgeschrieben werden. Eine Zusatzanmeldung, die eine bestehende Erfindung erweitert, kann innerhalb von achtzehn Monaten eingereicht werden. Frühestens mit der Anmeldung, in jedem Fall aber innerhalb der folgenden sieben Jahre, muss durch den Erfinder eine Prüfung beantragt werden. Sachverständige untersuchen in einer von 34 Abteilungen des DPA die schriftliche Erfindungsbeschreibung. Das Ergebnis erreicht den Erfinder als erster Prüfungsbescheid. Bei positiver Bewertung wird das Patent erteilt, wobei die technischen Neuerungen und nicht die Art der Anwendung ausschlaggebend sind. Für die Patentschrift legen Prüfer und Erfinder den Text zusammen fest, der Erfinder hat das letzte Wort.

Ein Patent läuft nach zwanzig Jahren aus. Während dieser Zeit, frühestens drei Monate nach Anmeldung, können Einsprüche durch jedermann erhoben werden. Bei Einspruch gegen eine bereits geprüfte Veröffentlichung erfolgt erneut eine Prüfung. Die anschließend veröffentlichte Schrift ist durch eine Ziffer am Ende des Codes gekennzeichnet (s. u.). Nach der Patentanmeldung hat das Amt seine Aufgabe erfüllt. Im Falle von Schutzrechtsverletzungen hat sich der Erfinder an das Zivilgericht zu wenden.

Codierung einer Patentschrift

Bezogen auf in dieser Arbeit erläuterte Schutzrechtsdokumente wird darauf hingewiesen, dass im Deutschen Patentgesetz 1981 und zuletzt 2004 Änderungen vorgenommen worden sind. Die hier beschriebene Codierung bezieht sich auf die Zeit vor der letzten Änderung.

Eine Patentschrift gliedert sich in Titelblatt, Patentbeschreibung, Patentansprüche und Patentzeichnungen. Zu den Angaben auf dem Titelblatt gehören der Name des Erfinders und des Anmelders, der Anmeldetag, der Titel und die Veröffentlichungsnummer. Letztere setzt sich zusammen aus Ländercode, Dokumentennummer und Schriftartencode (s. Abb. 62).

Abb. 62: Beispiel für die Codierung einer Patentschrift

<p>19 BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND</p>  <p>DEUTSCHES PATENTAMT</p>	<p>12 Patentschrift 10 DE 41 19 466 C 2</p> <p>21 Aktenzeichen: P 41 19 466.7-25 22 Anmeldetag: 13. 6. 91 43 Offenlegungstag: 6. 2. 92 45 Veröffentlichungstag der Patenterteilung: 27. 5. 92</p>	<p>51 Int. Cl.⁵: E 04 H 12/18</p> <p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">DE 41 19 466 C 2</p>
<p>Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden</p>		
<p>30 Innere Priorität: 32 33 31 02.08.90 DE 40 24 574.8</p> <p>73 Patentinhaber: Zuse, Konrad, Prof. Dr.-Ing. e.h. Dr.mult.rer.nat. h.c. Dr.techn. h.c., 6418 Hünfeld, DE</p> <p>74 Vertreter: Andrejewski, W., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Honke, M., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Masch, K., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat.; Albrecht, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anwälte, 4300 Essen</p>	<p>72 Erfinder: gleich Patentinhaber</p> <p>56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften: CH 4 31 917 US 34 51 182</p>	

- DE*: Deutschland
- 4*: Kennziffer, definiert den technischen Bereich
- 11*: Jahreszahl (1991)
- 9466*: laufende Nummer
- C2*: Offenlegungsschrift nach erfolgter Prüfung

Eine Patentanmeldung wird regulär, auch ohne Prüfung, 18 Monate nach Anmeldung als Offenlegungsschrift veröffentlicht (A1). Wird nach einer Prüfung der Anmeldung die Patentschrift veröffentlicht, so trägt der Code die Kennzeichnung C2. Wird danach Einspruch erhoben und die Erfindung nach einer erneuten Prüfung durch das Amt bestätigt, lautet die Endziffer C3. Die Ziffer im Schriftartencode gibt also an, die wievielte Veröffentlichung zu einer Patentschrift vorliegt. C1 kennzeichnet eine Patentschrift, die durch frühzeitigen Abschluss eines Prüfverfahrens noch vor der ersten Offenlegungsschrift, also innerhalb von 18 Monaten nach der Anmeldung erfolgte. Der Buchstabe B kennzeichnet Auslegeschriften, der Buchstabe T Übersetzungen.

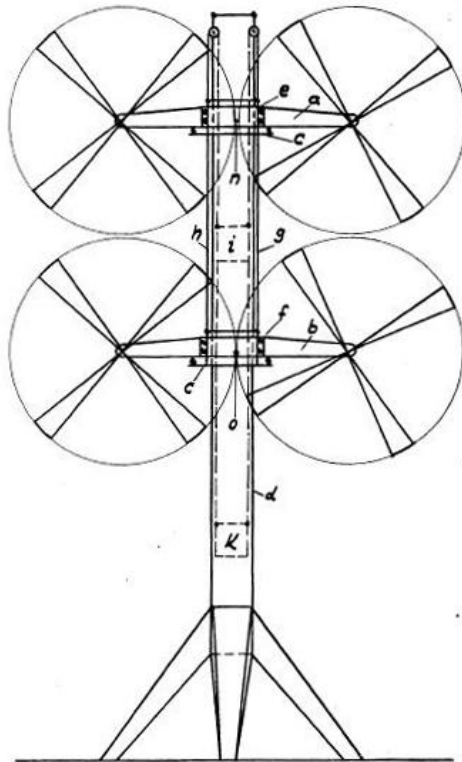
Für die internationale Zusammenarbeit der Patentämter befindet sich auf dem Titelblatt einer Veröffentlichung des DPA zudem die Internationale Patentklassifikation (IPC), im Beispiel in obiger Abbildung *E 04 H 12 / 18*.

7.1 Schutzrechtsdokumente des Deutschen Patentamts (Auswahl)

Patentschrift Nr. 830 180

Anmeldetag: 15. Juni 1950
Als Erfinder benannt: SCHIEDT, ERWIN
Bezeichnung: Windkraftwerk

Die Türme von Windkraftanlagen müssen hohen statischen und dynamischen Kräften standhalten, weshalb entsprechend aufwendige Turmbauten erforderlich sind. Dem Erfinder sind Mechanismen bekannt, einen Mast bei Sturm zu kippen, um Schäden zu vermeiden. Allerdings seien derartige Konstruktionen nur für kleine Windräder geeignet. Bekannt sind auch teleskopartig verschiebbare Maste, die zum Zeitpunkt der Erfindung aber noch keine praktische Bedeutung für Windkraftanlagen erlangt hatten. Aufgabe dieser Erfindung soll sein, ein Windkraftwerk mit leichter Turmkonstruktion zu schaffen (Abb. 63).



Der Turm (d) kann als Rohrmast oder Fachwerkkonstruktion ausgeführt sein. Die Windräder sind an drehbaren Kragarmen (a, b) am Turm angebracht und lassen sich so der Windrichtung anpassen. Die Kragarme sind befestigt an verschiebbaren Hülsen (e, f) am Turm. Diese Hülsen sind mit Drahtseilen (g, h) und Gegengewichten (i, k) verbunden, so dass die Kragarme und damit das Windrad in der Höhe variabel sind. Zur Führung der Hülsen befinden sich außen am Turm Führungsschienen, von unten nach oben senkrecht verlaufend. An den Lagerstellen sind Heizvorrichtungen vorgesehen, um ein sicheres Auf- und Abfahren im Winter zu gewährleisten. Ein Generator (n, o) nimmt die Energie zweier Windräder auf und sitzt dafür der Mitte eines Kragarms an der dem Wind abgewandten Seite auf.

Abb. 63: Windkraftwerk, nach Patentschrift Nr. 830180

Patentschrift Nr. 201 811 (Österreich)

Anmeldetag: 25. Mai 1956
 Als Erfinder benannt: ATAG TRUST Reg. in Vaduz
 Bezeichnung: Fahrbare Hub- und Aufstellvorrichtung für aus einzelnen Teilen zusammensetzbare Maste

Diese Erfindung beschreibt eine Hub- bzw. Aufstellvorrichtung für aus gleichartigen Rohren zusammengesetzte Maste (Abb. 64). Sie soll dem Bauwesen, der Funk-, Fernseh- und Förder-technik sowie dem Verkehrswesen dienlich sein, wenn mehr als 60 m hohe Maste erforderlich sind. Die Vorrichtung ist durch eine Person auf- und zusammenzubauen, zu drehen und zu schwenken. Die gesamte Baueinheit kann auf einem Fahrzeug, das eventuell selbst als Magazin für die Mastelemente dient, befestigt sein.

Eine seitlich durch ausgefahrene Arme (11) gestützte Montagevorrichtung trägt einen Rahmen mit Hubtisch (25) und darüber einen Führungsrahmen (50). Eine Hubgabel trägt den Hubtisch und ist seitlich über jeweilige Führungsrollen an vertikalen Schienen nach oben und unten beweglich gelagert. An einer der unteren Längsschienen ist ein Zug- bzw. Drahtseil befestigt, das über eine auf dem Hubzylinder des hydraulischen Hebers befindliche Rolle geführt und an der Hubgabel befestigt ist. Das Zugseil befördert den Hubtisch nach oben bzw. unten. Der Führungsrahmen in rundem, dreieckigem oder rechteckigem Querschnitt kann angehoben werden. In der gehobenen Stellung wird er gestützt mittels Nasen (52), die in Gabeln (30) des Fahrgestells eingreifen. Im Führungsrahmen werden Mastabschnitte (51) ineinander gesteckt. Auf der Innenseite des Führungsrahmens befinden sich neben einer Tür die Rollen (58) zum Führen der einzelnen Maststücke. Des Weiteren sind am Führungsrahmen auszuschenkende Abstützarme (10) vorhanden, die in Rasten der Maststücke eingreifen und sie dadurch in einer angehobenen Lage halten.

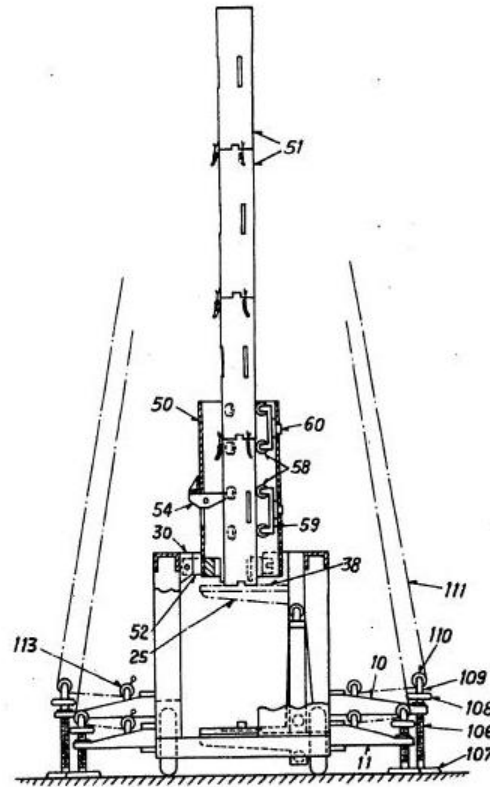


Abb. 64: Hubvorrichtung für aus einzelnen Teilen zusammengesetzte Maste, nach Patentschrift Nr. 201811

Die einzelnen Maststücke (51) in Form von Rohren verfügen jeweils über Zentrierglieder für nachfolgende Maststücke. Der Verbindung der einzelnen Mastabschnitte dienen Kniehebelverschlüsse und Steckverschlüsse, die sich durch im Führungsrahmen vorgesehene Steuerelemente beim Durchschieben der Maststücke schließen. Gegen Verdrehen werden die Abschnitte gesichert durch in Nuten eingreifende Nasen. Bis auf das unterste und oberste Maststück sind alle Teile gleich ausgebildet, also austauschbar.

Für die Errichtung des Mastes wird der Führungsrahmen (50) durch den Hubtisch (25) angehoben und mittels Bolzen (60) in den Gabeln (30) von drei Säulen befestigt. Dann wird das oberste Maststück des zu bildenden Mastes auf die Platte der Hubgabel (38) geschoben, auf

dem Hubtisch zentriert und mittels der Nase, die in den Ausschnitt eines folgenden Maststücks eingreift, positioniert. Durch Heben des Hubtisches wird das Maststück durch den Rahmen geschoben, wobei dessen Abstützhebel (54) in Schlitze in der Mitte des Maststücks eingreifen, das nach einer geringen Absenkung auf den Hebeln hängen bleibt. Dann wird der Hubtisch wieder herunter gefahren und ein zweites Maststück aufgesetzt. Beim Heben des zweiten Maststücks schiebt sich dessen Innen- bzw. Zentrierring in das obere Maststück und die Nase greift in die Nut. Gleichzeitig hängen sich die Bügel der Kniehebelverschlüsse in die Haken ein. So sind die Maststücke fest miteinander verbunden. Am obersten Maststück sind Seilösen angebracht. Die hindurchlaufenden Seile (111) sind verbunden über Rollen mit Aufwickeltrommeln (113) seitlich der Montagevorrichtung. Diese Seile ziehen den obersten Mastabschnitt vor jedem neu einzusetzenden Maststück nach oben. Der ausgefahrene Mast wird einer Pfanne aufgesetzt.

Auslegeschrift 1 225 839 (Bundesrepublik Deutschland)

Anmeldetag: 10. März 1960

Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF

Bezeichnung: Ausfahrbarer Mast und Vorrichtung zu seiner Herstellung

Dieser Erfindung folgend entsteht ein in die Höhe wachsender Tragmast durch aus Trommelspeichern ausfahrende, gewölbte Stahlbänder, die sich an den Längsseiten reibungsschlüssig verbinden zu einem den Mast bildenden Hohlprofil (Abb. 65).

Dem gehen ähnliche Erfindungen voraus. Beispielsweise werden einen Mast formende Stahlbänder beim Ausfahren des Mastes lose aneinandergelegt und mittels Blechscheiben oder Drahtumwicklungen gesichert. Oder die Bänder sind längsseitig mit Ansätzen und Kliniken bzw. Verzahnungen versehen, die ineinandergreifend dem ausgefahrenen Verband Halt geben sollen. Diese Konstruktionen verfügten über keinerlei Steifigkeit. Die vorliegende Patentschrift verspricht, bestehende Erfindungen um Eigenschaften der Festigkeit und Tragfähigkeit zu erweitern.

In drei sternförmig um die Mastbildungsstelle (10) angeordneten Speichern (1, 2) lagern aufgewickelte, vorzugsweise aus Federstahl gefertigte Bänder (4). In jedem Speicher steuert eine Innenbackenbremse (15) durch deren mittels Motor kraft bewegte Welle (16) die Ab- und Aufwicklung der Bänder und damit das Ein- und Ausfahren des Mastes.

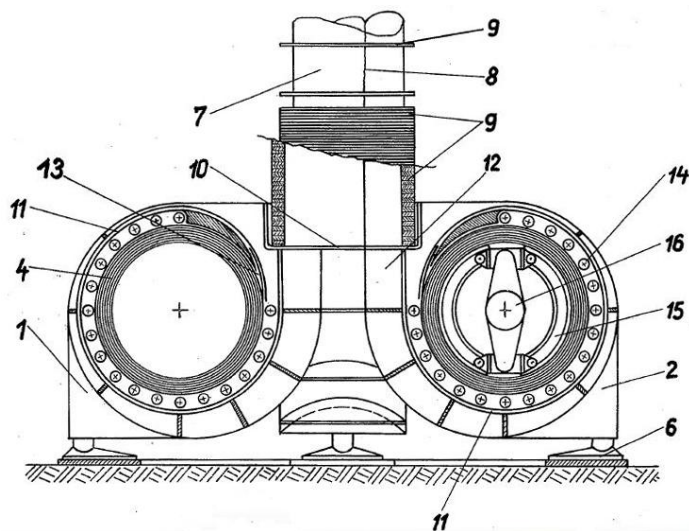


Abb. 65: Ausfahrbarer Mast, nach Auslegeschrift 1225839

Bei synchronem Drehen der Wellen, in der die Bänder zum Austritt aus den Speichertrommeln bewegender Richtung, werden die Bänder durch Formgebungsdüsen (11) im Querschnitt konkav gekrümmt. An der Mastbildungsstelle (10) bewegen sich die dann gewölbten Bänder durch ein sogenanntes Austrittsmundstück (12), das die drei Bänder derart vereinigt, dass sie mit der konkaven Seite nach innen reibungsschlüssig an ihren Längsseiten (8) verbunden werden zu einem im Querschnitt kreisähnlichen Hohlprofil. Die reibungsschlüssige Verbindung verhindert ein gegenseitiges Verschieben der Bänder in axialer Richtung. Oberhalb der Mastbildungsstelle sind Scheiben (9) gelagert. Beim Ausfahren des Mastes werden durch einen nicht genauer beschriebenen Mechanismus die Scheiben entsprechend der Hubgeschwindigkeit des ausfahrenden Mastes nacheinander freigegeben und in regelmäßigem Abstand mitgenommen. Sie sichern den Erhalt des Verspannungszustands der Stahlbänder und garantieren so die Steifigkeit des Tragmastes. Die konkav gekrümmten Bänder federn in Bereichen zwischen den Scheiben nach innen zurück, wodurch an den Längskanten ein hoher Anpressdruck entsteht, der dem Tragmast Schubfestigkeit gewährt. Die Traglast bestimmt als horizontale Druckkraft den Reibungschluss der Bänder, der als das Hohlprofil stabilisierende Kraft mit höherer Traglast zunimmt. Dem Mastprofil werden ähnlich gute, durch den Querschnitt bestimmte Eigenschaften zugesprochen wie den nicht ausfahrbaren, aus einzelnen im Querschnitt kreisrunden Rohren zusammengesetzten Tragmasten.

Den in der Patentschrift genannten Verwendungen als Feuerleiter, als Fernseh-, Funk- oder Beobachtungsmast oder zur Aufnahme von Arbeitsbühnen in großen Höhen wird die Möglichkeit der Programmsteuerung gegeben.

Patentschrift 1 205 256 (Bundesrepublik Deutschland)

Anmeldetag: 14. August 1961
 Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF
 Bezeichnung: Ausfahrbarer Mast aus aufwickelbaren Bändern

Diese Patentschrift beschreibt einen der oben beschriebenen Erfindung ähnelnden Mechanismus eines aus- und einfahrbaren Tragmastes mit aus Speichertrommeln herausgeführten und zu einem Hohlprofil vereinigten Stahlbändern (Abb. 66, 67).

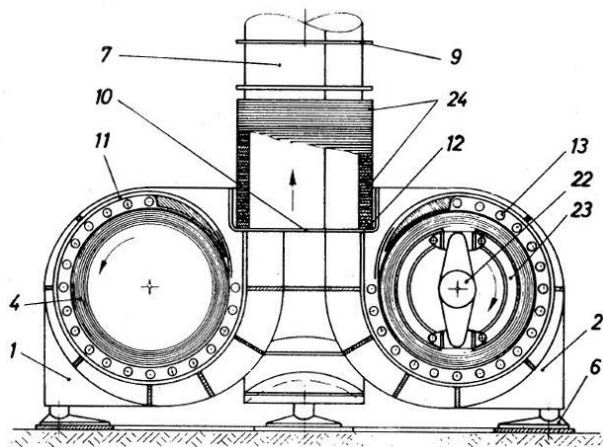


Abb. 66: aus auswickelbaren Bändern ausfahrbarer Mast, nach Patentschrift 1205256

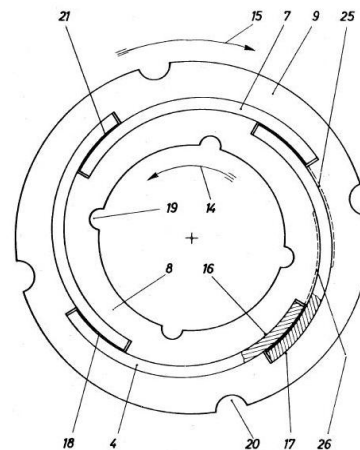


Abb. 67: Mast mit Spannelementen im Querschnitt, nach Patentschrift 1205256

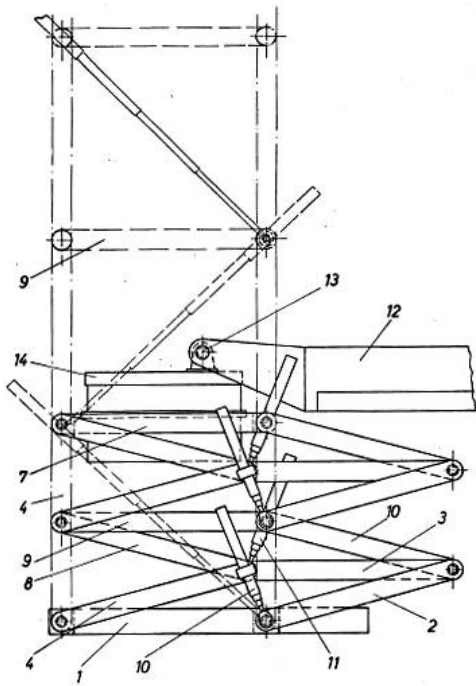
In mehreren sternförmig um die Mastbildungsstelle (10) angeordneten Speichertrommeln (1, 2) lagern im Querschnitt plastisch vorgekrümmte Stahlbänder (4). Beim Austritt aus der Speichertrommel nehmen sie beim Durchgang durch Formgebungsdüsen (11) die Kreisbogenform an und werden am ringförmigen Austrittsmundstück (12) in eine sich gegenseitig überlappende Lage gebracht. An der Mastbildungsstelle werden die Bänder durch Spannelemente (9) zu einem geschlossenen, kreisähnlichen Hohlprofil (7) zusammengefügt, das den Mast bildet. Die Spannelemente werden dem ausfahrenden Mast in gewünschtem Abstand mittels nicht genauer beschriebenen Auslösemechanismus aufgesetzt und bedingen die reibungsschlüssige Verbindung der Bänder untereinander. Die Spannelemente bestehen aus zusammenwirkenden inneren und äußeren, in entgegengesetzten Umfangsrichtungen drehbaren Spannringen (9). (Abb. 67, ohne Exzenteringe) Sie verfügen über der Anzahl der Mastbänder (4) entsprechende Exzenterflächen (17). Eine Drehspannvorrichtung greift an der Mastbildungsstelle in Aussparungen (20) der Spannringe (9) ein und unterwirft die Ringe einem Drehmoment, so dass die einzelnen Mastbänder an den Überlappungsstellen (21) mit hohem Druck gegeneinander gepresst werden. Durch Drehen der Exzenteringe werden die Mastbänder gleichzeitig an allen Überlappungsstellen durch Drehen der Spannringe reibungsschlüssig verbunden. Die Reibung zwischen den sich überlappenden Bändern verhindert ein Verschieben der Bänder gegeneinander in Achsrichtung des Mastes und nimmt die in Achsrichtung wirkenden Schubkräfte auf. Wird ein Teil der Spannringe breiter ausgebildet, so unterstützt dies die Versteifung des Mastes. Liegen innerer und äußerer Spannring auf einer Ebene, dann wirkt die Verspannung starr. Eine elastische Verspannung wird bei in der Höhe versetzten Spannringen erzeugt. Hat der Turm eine gewünschte Höhe erreicht, wird er gesichert gegen Einschieben durch das Austrittsmundstück der Formgebungsdüse oder durch besondere hydraulische Klemmvorrichtungen. Das Einfahren des Mastes erfolgt in umgekehrter Richtung. Die zum Aufwickeln der Bänder in den Speichertrommeln notwendige elastische Rückbiegung erfolgt in den Formgebungsdüsen zwischen Speicher und Mastbildungsstelle.

Wie der oben beschriebenen Erfindung werden auch dieser Konstruktion hohe Tragfähigkeit und ein schnelles Ausfahren mit großer Ausfahrlänge zugesichert und Verwendungen als Feuerleiter, Fernseh-, Funk- oder Beobachtungsmast vorgeschlagen. Auch hier wird die Möglichkeit der Programmsteuerung gegeben.

Patentschrift DE 21 31 806 A1

Anmeldetag: 26. Juni 1971
Als Erfinder benannt: MÖLLER, WINFRIED
Bezeichnung: Höhenverstellbare Plattform

Inhalt der Erfindung ist eine als Träger einer Radarantenne dienende Plattform, die in der Höhe verstellbar und auf einem Fahrgestell montierbar ist. (Abb. 68) Die stufenlos auf 12 bis 15 Meter Höhe auszufahrende Konstruktion sei in Leichtmetallbauweise herzustellen und kann ein Gewicht von 1,5 t aufnehmen. Die Einzelteile der Trägerkonstruktion seien nur auf Druck und Zug zu beanspruchen. Die Bauteile der Turmabschnitte gleichen einander, weshalb die Erfindung einer Massenfertigung zugänglich ist.



Jeder Turmabschnitt besteht aus zwei zueinander parallelen Parallelogramm-Konstruktionen, deren vier stabförmige Elemente (1 - 4, 7 - 10) über Gelenke miteinander verbunden sind. Zwei der Elemente (1 und 3, 7 und 9) sind immer horizontal ausgerichtet und gehören bis auf das unterste und oberste waagerechte Element der Konstruktion jeweils zwei Turmabschnitten an. Die Abschnitte sind durch an den stabförmigen Elementen befestigte Teleskopzylinder (11) miteinander verbunden. Auf der Plattform (14) wird über eine Achse (13) vertikal drehbar gelagert die Radarantenne (12) befestigt, die über eine weitere Achse im Azimut rotieren kann.

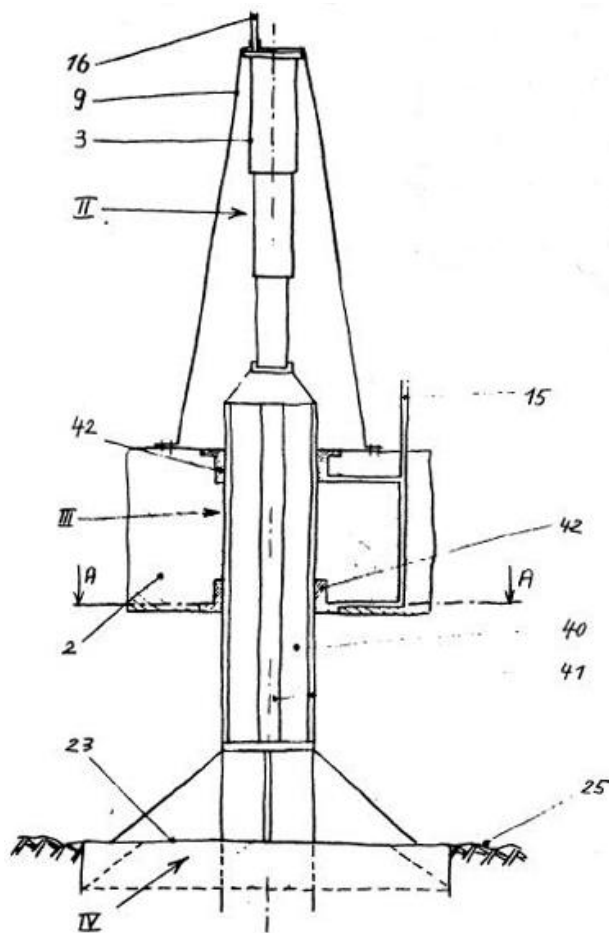
Abb. 68: Höhenverstellbare Plattform, nach Offenlegungsschrift 2131806

Patentschrift DT 26 27 587 A1

Anmeldetag: 19. Juni 1976
 Als Erfinder benannt: RUDOLF VOGEL
 Bezeichnung: Abstützung von Behältern

Diese Erfindung setzt sich mit der Idee auseinander, Behälter für Flüssigkeiten wie Rohöl auf dem Meeresboden zu gründen (Abb. 69).

Der Behälter ist mit einer Platte als Fundament (IV) verbunden durch mindestens eine Stütze. Sie dient dem Eindringen in den Seeboden (25) und mittels Schneidblättern am unteren Ende der Aufnahme von Seitenkräften. Die Stütze setzt sich zusammen aus zwei Tragkörpern (II, III), dem Verbundrohr und dem Teleskopstempel, die nacheinander wirken. Das nachgeschaltete Verbundrohr (III) umfasst den vorgeschalteten Teleskopstempel (II), der aus mehreren Zylindern besteht, als Rohr. Der Teleskopstempel ist als Hydraulik-Teleskopzylinder in der Länge variabel und führt die Gründung durch. Er ist wiedergewinnbar. Das Verbundrohr übernimmt nach der Gründung die Last des Teleskoprohres und trägt damit den Flüssigkeitsbehälter.



Alle Stützen des Teleskopstempels werden hydraulisch ausgefahren. Beim Aufsetzen des Behälters auf dem Meeresboden wird er abgedrückt durch die Teleskopstempel, gleichzeitig richtet sich die Fundamentplatte horizontal aus. Bei Flutung des Behälters wird die Stütze auf höchste Betriebslast gebracht. In das Verbundrohr wird anschließend ein aushärtendes Mittel wie Mörtel eingebracht. Nach dem Abbinden wird der Druck im Teleskopstempel gesenkt und dadurch die Last auf das Verbundrohr übertragen. Das Einschieben des Stempels in Zwischenphasen des Gründungsvorgangs erfolgt durch allmähliches Entspannen des hydraulischen Drucks und der einschubenden Wirkung des Behälters.

Abb. 69: Abstützung von Behältern mittels höhenvariabler Konstruktion, nach DT 2627587

Offenlegungsschrift DE 27 20 905 A1

Anmeldetag: 10. Mai 1977

Als Erfinder benannt: RUDOLF VOGEL

Bezeichnung: Einrichtungen und Verfahren für Konstruktionen und Bauwerke im Meer, insbesondere für auf dem Meeresboden absetzbare Hubinseln

Diese Erfindung soll eine kostengünstige Errichtung tragfähiger Bauwerke im Meer unter Berücksichtigung der Gründung von Hubinseln in großen Wassertiefen ermöglichen (Abb. 70).

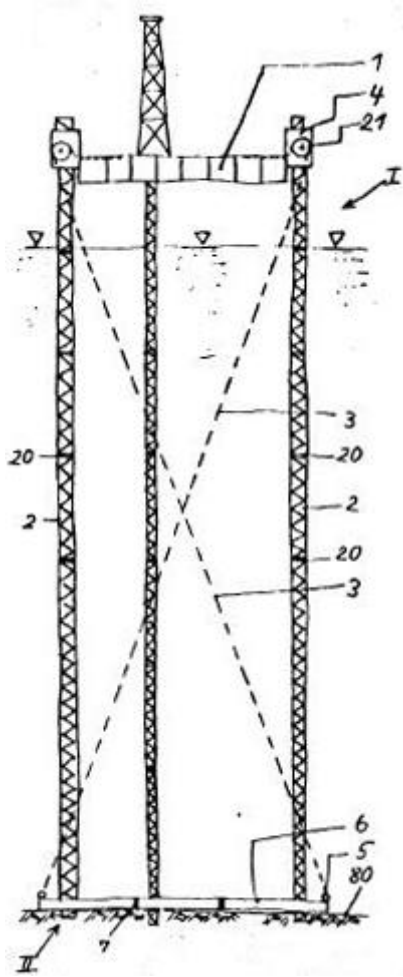


Abb. 70: Verfahren für Konstruktionen im Meer, nach DE 2720905

Die im eingefahrenen Zustand schwimmende Hubinsel setzt sich zusammen aus einem Basisrahmen (6), der das Deck (1) ringförmig umschließt, und den Stützelementen (2), die in Magazinen gelagert werden. Beim Ausfahren der Stützen nach unten wird über Seile (3) der Basisrahmen in Position zum Deck gehalten und am Meeresboden abgesetzt. Der Basisrahmen umschließt dann kreisförmig die unteren Enden der Stützelemente. Sie werden im Querschnitt lamelliert zu einem Fachwerk-Tragwerk über Seile vom Deck nach unten ausgefahren und nehmen dabei den Basisrahmen mit. Letzter kann aus einzelnen Gelenken zusammengesetzt sein, was ein kettenartiges Anpassen an den Meeresboden ermöglicht und eine Vorbereitung des Bodens unnötig macht. Die Seile laufen in einem Speicherohr um eine Umlenkrinne, an die sie mit einem Druckstück gepresst werden. Die Abschnitte der Stützen bestehen aus einem Längsbelastungen und Biegemomente übertragenden Rohr und sind verbunden durch Kettensegmente, Flachkeile, Spannringe oder hochfeste Schrauben. Alle Fachwerkstäbe schließen an gemeinsamen Stützenknoten an.

Der Patentschrift zur Beurteilung hinzuzuziehende Druckschriften sind DE 2645364 (Verbindungsvorrichtungen für Konstruktionsteile wie z. B. Betonpfähle); DE 2549746 (Meeresplattform); DE 2548862 (Rohrkupplung); DE 25 19 769 (Verbindungsstück für die Knotenbildung von Fachwerkstrukturen aus Großrohren für insbesondere Bohrinnseln); FR 2225582 (Ensemble de plate-forme pour le forage de puits de pétrole en mer et l'extration du pétrole)¹⁹¹; US 3931716 (Pile splice for concrete and steel piles of various configuration)¹⁹² und US 3385069 (Mobile marine platform apparatus)¹⁹³. Deren Auflistung erklärt den Verzicht auf Beschreibung der Stützenkopplung zur Fachwerkstruktur in der behandelten Patentschrift.

¹⁹¹ Maritime Plattformen für Bohrungen an Erdölquellen und Ölförderung.
¹⁹² Verbindungen für Beton- oder Stahlrohre.
¹⁹³ Mobiles maritimes Plattformensystem.

Offenlegungsschrift DE 27 42 246 A1

Anmeldetag: 20. September 1977
Als Erfinder benannt: RUDOLF VOGEL
Bezeichnung: Träger für eine Nutzlast, z. B. für eine Arbeitsplattform im Meer, und Verfahren zu seiner Herstellung

Diese Erfindung behandelt das Ausfahren einer Tragkonstruktion, die sowohl aus einem einzelnen Rohr als auch aus einem Rohrverband in Form einer Fachwerkkonstruktion bestehen kann und Nutzlasten im Meer zu tragen vermag.

Dem Erfinder sind Träger dieser Art bekannt. Ihre Beanspruchung durch strömende Medien wie Wind oder Wasser ist größer als ihre Beanspruchung durch die anwendungsbedingte Nutzlast. Deshalb muss bei höheren Tragvorrichtungen der Durchmesser im Vergleich zur Wanddicke sehr groß sein, was wiederum Verstärkungen erforderlich macht. Der Erfinder versucht diesen Nachteil zu umgehen, indem die Träger mit lamelliertem Querschnitt aus aufgewickelten Blechen gebildet werden, was statisch günstiger sei. Denn linear angreifende Kräfte aus strömenden Medien breiten „... *sich nicht nur auf konzentrisch begrenzten Ringen, sondern spiralförmig in die Tiefe und damit in den gesamten Querschnitt des einteiligen Blechs aus.*“¹⁹⁴

Die Tragkonstruktion kann aus einem einzigen Rohr als Träger oder mehreren Rohren in Form einer Fachwerkkonstruktion bestehen. Wesentlich ist, dass die Rohre im Querschnitt lamelliert sind. Diese Lamellierung entsteht durch spiralisches Aufwickeln eines Bleches um die Achse des Trägers. Mehrere Windungen liegen dann federnd aufeinander. Der Kern des Verbands bildet eine wiedergewinnbare Kernstange. Zwischen den Windungen ist ein zusätzliches Schubmittel eingebracht, wie z. B. Zementleim. An den Stößen sind die Lamellen mit gegeneinander versetzten Schlitzern versehen, die bei der Bildung des Querschnitts für jede neu aufgebrachte Lamelle mittels dem Erfinder bekannter Schlitzschweißung verbunden werden, oder anstelle dessen mittels Hartlötung; es können Lötfolien oder Lötpaste eingebracht werden bei Bildung des Querschnitts und die Träger erwärmt werden.

Das Aufwickeln der Bleche erfolgt in einer aus Rollen, Walzen und Ketten bestehenden Anlage. Über die Länge eines Blechs bzw. einer äußeren Lamelle sind Punktelektroden verteilt. In der Anlage zur Bildung des Trägers wird das Blech durch einen Spalt den Rollen und Walzen zugeführt. Die Walzen wickeln das Blech um die Achse des entstehenden Trägers. Die Rollen pressen die Lamelle an den entstehenden Träger. Durch die Elektroden werden die Lamellen aneinander geschweißt. Die Verformung der Bleche zu Lamellen kann in erwärmten Rohrhülsen erfolgen. Die Träger sind letztlich mit quer eingeschobenen, biegesteifen Tragbolzen versehen. Sie durchlaufen jeweils eine Hälfte des lamellierten Querschnitts eines Trägers und werden von außen in eine Bohrung eingeschoben. An Knotenpunkten und Stößen werden die Träger mit Verstärkungshülsen versehen.

¹⁹⁴

Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2742246 A1, S. 8.

Offenlegungsschrift DE 28 12 465 A1

Anmeldetag: 22. März 1978
 Als Erfinder benannt: HERTER, ERICH
 Bezeichnung: Windturbine

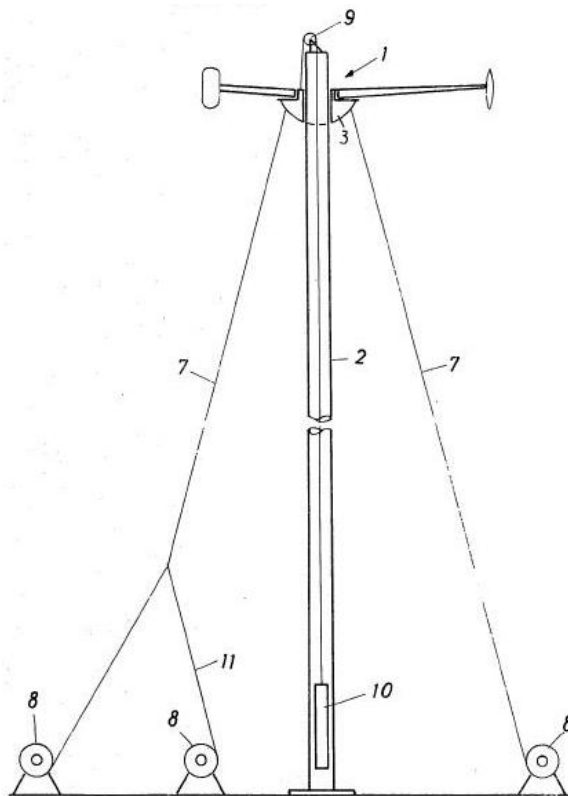


Abb. 71: Windturbine, nach DE 2812465

Die Erfindung (Abb. 71) beschreibt eine Windkraftanlage, deren Rotorblätter und Rotorkopf in Bodennähe angebracht und abhängig von der Windgeschwindigkeit in einer bestimmten Höhe am Mast befestigt werden können. Die Aufgabe ist derart gelöst, dass einem starren Mast (2) der höhenverstellbare Halter (3) der Windturbine aufsitzt. Er ist über Verspannungsstränge (7) mit dem Boden verbunden. Der Höhenverstellung über die Verspannungsstränge dient ein Gegengewicht (10). Die Nummern 8 und 9 in der Abbildung bezeichnen bodennahe Spannvorrichtungen bzw. eine Tragstangenlenkung. Die Höhenverstellung kann automatisch nach Maßgabe der Windgeschwindigkeit, z. B. durch Windmesser in verschiedenen Höhen durchgeführt werden. Die beschriebene Erfindung hat Ähnlichkeiten zur 1950 offengelegten Patentschrift Nr. 830 180, siehe oben.

Offenlegungsschrift DE 29 15 242 A1

Anmeldetag: 14. April 1979
 Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF
 Bezeichnung: Verfahren zum Teleskopieren

Mit dieser Erfindung ineinandergeschobener Rohre, die sich als Teleskopmast ein- und ausfahren lassen, sollten neue Anwendungsgebiete für bis dahin hydraulisch arbeitende Vielfachteleskope erschlossen werden können (Abb. 72, 73).

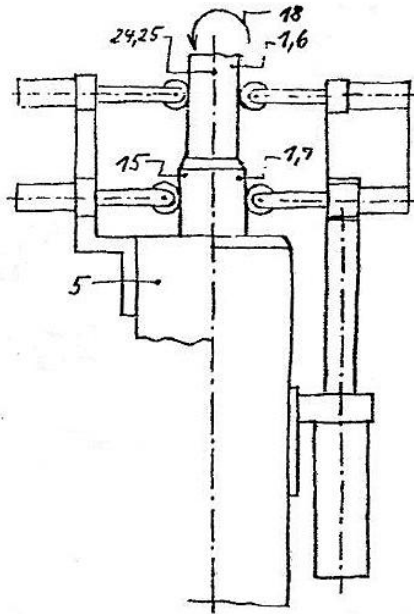


Abb. 72: Verfahren zum Teleskopieren, nach DE 2915242

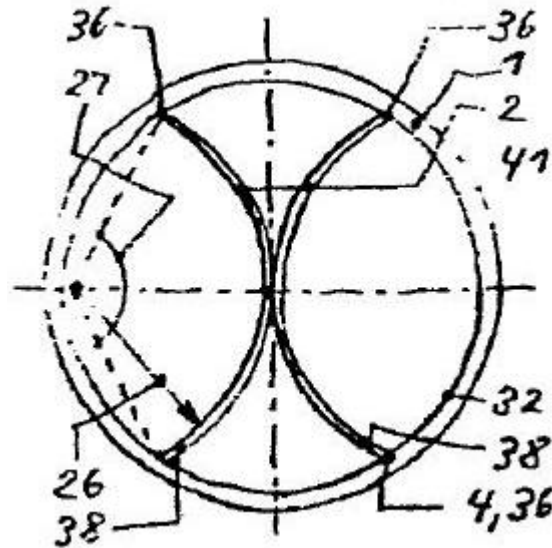


Abb. 73: Querschnitt eines Mastes, nach DE 2915242

In Speichertrommeln lagern Bänder (2), die beim Austritt aus den Trommeln in Düsen gewölbt werden und dem jeweils inneren, ruhenden Rohr der ineinandergeschobenen Rohre (1, 6) zugeführt werden. Mindestens zwei Bänder liegen sich dann in einem Rohr konkav gekrümmt gegenüber. (Abb. 73) Die Längsränder der Bänder liegen der jeweiligen gesamten Innenlängskontur eines Rohrs an. So wird ein Rohr nach dem anderen beim Ausfahren des Teleskopmastes durch Auslaufen der Bänder aus ihren Trommeln nach oben bewegt. Die Rohre können im Querschnitt kreisförmig oder mehreckig sein. Das Stützen einzelner Rohre kann mittels seitlich geführten Rollen erfolgen (Abb. 72).

Es ähnelt das beschriebene Teleskopierverfahren den Hydraulikteleskopen. Vorteil der Erfindung ist der Verzicht auf Abdichtung der Rohre für hydraulische Druckmittel, die zudem die Rohre einem hydrostatischen Innendruck aussetzen. Die beschriebene Teleskopiervorrichtung sei gegenüber den hydraulischen Systemen wesentlich kostengünstiger.

Patentschrift DE 29 30 161 A1

Anmeldetag: 25. Juli 1979

Als Erfinder benannt: NOLY, JEAN, LA CLAYETTE (Frankreich)

Bezeichnung: Kran mit ausfahrbarem Mast

In der Patentschrift wird ein Schnellmontagekran mit teleskopartig ausfahrbarem Mast und zusammenklappbarem Ausleger beschrieben, und ein Verfahren zum Montieren des Krans.

Dem Erfinder sind vergleichbare Patentschriften und Arbeitsweisen bekannt. In einem der gängigen Verfahren, Schnellmontagekrane aufzubauen, werden zunächst Mast und Ausleger aufgerichtet, wobei der Ausleger senkrecht nach unten hängt. Dann wird der Ausleger mittels Zugseil in eine horizontale Arbeitsposition gehoben und dabei teleskopartig ausgefahren. Nach dem zweiten bekannten Verfahren, beschrieben im französischen Patent Nr. 2 148 386, werden Mast und der über ein Seil in die Horizontale bewegter Ausleger gemeinsam

aufgerichtet. Der teleskopierbare Mast ermöglicht das höhenvariable Arbeiten des Auslegers. In dem französischen Patent Nr. 2 028 666 ist eine Zusatzeinrichtung beschrieben, die durch Überlagerung innerer und äußerer Maststrukturen das Mastwerk höher aufzurichten erlaubt. Beide Erfindungen haben den Nachteil des zeitaufwendigen Aufrichtens und sind für Kräne mit hoher Tragkraft ungeeignet. Zudem ist der Grundflächenbedarf sehr hoch. Die wie folgt erläuterte Erfindung vermeidet diese Nachteile konstruktiv unter besonderer Verwendung eines Halteseils und eines Ausgleichs- bzw. Kompensationsseils (Abb. 74, 75).

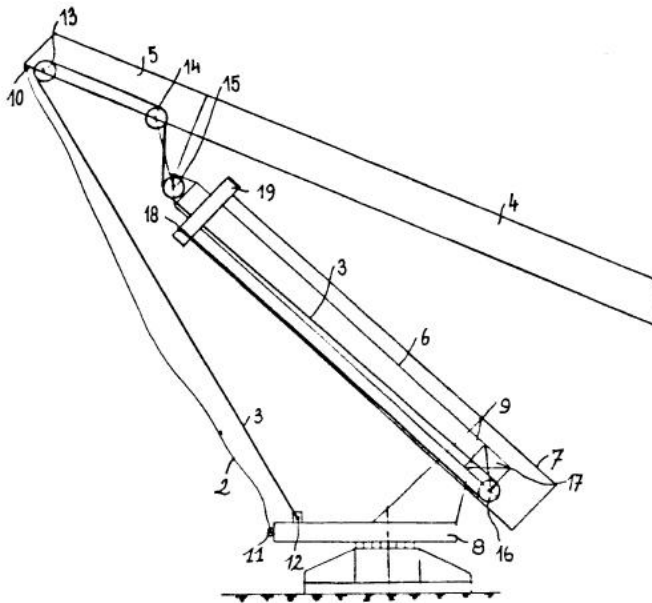


Abb. 74: Kran mit ausfahrbarem Mast, nach DE 2930161

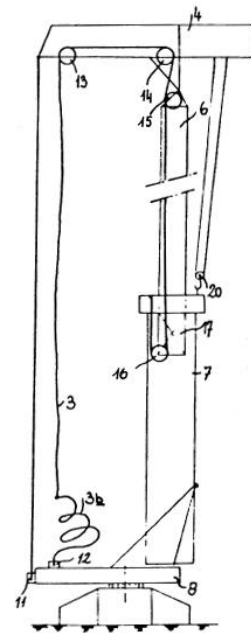


Abb. 75: Kran mit ausfahrbarem Mast, nach DE 2930161

Auf einer drehbar gelagerten Plattform befindet sich ein Tragwerk, dem das Mastwerk aufsitzt. Das Mastwerk setzt sich zusammen aus einem inneren (6) und einem äußeren Mastteil (7). Über in der Patentschrift nicht erläuterte, weil allgemein bekannte, Vorrichtungen zum Teleskopieren ist das innere Mastteil im äußeren gleitend gelagert. Dem oberen Teil des inneren Mastteils sind Ausleger (4) und Gegenausleger (5) angesetzt. Eine Plattform (8) dient dem Arretieren des in eine vertikale Lage gebrachten Mastes. Aufgerichtet wird der Kran mit dem Mast durch Drehen um eine Schwenkachse (9). Das Seil (2) ist befestigt am hinteren Ende des Gegenauslegers und seitlich der die Krankonstruktion tragenden Plattform. Das Ausgleichsseil (3) läuft von der Plattform ausgehend über Seilrollen (13) zum Gegenausleger und von dort weiter zum Gelenkbereich des Auslegers auf dem inneren Mastteil (6). Das Ausgleichsseil läuft parallel zum inneren Mastteil am selben hinab zu dessen unterem Ende, wird mittels Seilrolle (16) umgelenkt und steigt wieder parallel nach oben zu einem Verankerungspunkt (18) an einem Seilrollenträger (19). Er sitzt dem oberen Bereich des äußeren Mastteils auf und ist um das innere Mastteil gleitend gelagert. Die am unteren Ende des inneren Mastteils liegende, das Ausgleichsseil umlenkende Seilrolle wird getragen von einer Mastausfahrvorrichtung (17), die demontierbar befestigt ist am unteren Fuß des inneren Mastteils.

Liegt der Kran, so sind Ausgleichs- und hinteres Seil (2, 3) entspannt. Wird der Mast aufgerichtet, so entfernen sich Seilrolle und Befestigung des Halteseils am Gegenausleger (5) von den Verankerungen an der Plattform (8) und vergrößern damit die Länge des Ausgleichs-

seils und des hinteren Abschnitts des Halteseils. Weil die Längen der beiden Seile unverändert bleiben, spannt sich der hintere Abschnitt des Ausgleichsseils und hebt den Ausleger (4) bis zur horizontalen Lage an. Er steht dann senkrecht auf den Mastteilen (Abb. 75).

Die Ausfahrhöhe des Krans wird bestimmt durch die Länge des Halteseils. Die Längen von Halte- und Ausgleichsseil sind derart bemessen, dass eines der Seile ständig gespannt ist und den Ausleger während der Phasen des Teleskopierens in horizontaler Lage hält. Das Ausgleichsseil ist außerdem durch Ansetzen weiteren Seilmaterials in der Länge variabel. Jedes der Seile kann im Verlauf der Montagevorgänge entspannt und von der den Kran tragenden Plattform ausgeklinkt werden, wobei gleichzeitig das andere, gespannte Seil den Ausleger in seiner horizontalen Stellung hält. Das ausgeklinkte Seil kann eingesetzt werden, um den Mast mit weiteren Elementen nach oben zu verlängern.

Offenlegungsschrift DE 30 20 027 A1

Anmeldetag: 24. Mai 1980
Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF
Bezeichnung: Vorrichtungen zum Teleskopieren und zu Anwendungen bei Hubwerken

Grundsätzlich ähnelt diese Erfindung der oben beschriebenen Anmeldung DE 2915242 A1. Es handelt sich um eine Vorrichtung für axial ineinander gleitende Rohre, die biegesteife Stützen bilden für mobile oder stationäre Hubwerke. Dem Erfinder bekannte hydraulische Systeme lassen kein Ausfahren in große Höhen zu und halten nur geringen Biegebeanspruchungen stand. Diese Nachteile seien mit der wie folgt beschriebenen Erfindung umgangen.

In Rohre greifen mehrere dünne, elastische Bänder derart ein, dass sie mit ihren Längsrändern der jeweiligen gesamten Innenlängskontur eines Rohres anliegen. Die Bänder verschieben die Rohre axial, verantworten also die Teleskopierbewegung. Die Bänder sind in Speichertrommeln gelagert und werden vorgekrümmt bei Austritt aus den Trommeln durch Druckrollen vor Eintritt in das jeweils innere Rohr. Im Unterschied zu DE 2915242 (s. oben) werden die in einem Rohr liegenden, verschieden geformten Bänder mittels Stützstreifen und Spannbügeln an den Innenrand eines Rohrs gedrückt.

Offenlegungsschrift, DE 33 22 100 A1

Anmeldetag: 20. Juni 1983
Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF
Bezeichnung: Biegesteife Teleskopstützen

Diese Erfindung beschreibt das Teleskopieren von axial ineinander gleitenden Rohren zur Bildung von Teleskopstützen. Die Erfindung bezieht die Offenlegungsschrift DE 30 200 27 A1 (s. oben) ein. Dem Patentanmelder sind hydraulische Mehrfachteleskope bekannt, die aber in der Teleskopierlänge begrenzt seien und keine höheren Lasten tragen könnten, d.h. in der Übertragung von Biegemomenten eingeschränkt sind (Abb. 76, 77).

In einer Teleskopstütze werden zum Aus- und Einfahren der in der Teleskopstütze liegenden Rohre mehrere dünne, quergewölbte Bänder (5) geführt, die im Zusammenwirken mit den Rohren (1) das Tragsystem bilden. Die Reibung der Rohre beim Teleskopieren gegeneinander

der wird verhindert durch in Vorrichtungen zusammengefasste Rollen (4) oder Wälzkörper konzentrisch zur Achse der Rohre. Das Führen und Stützen der Rohre erfolgt durch in weiteren Vorrichtungen zusammengefasste Rollen in Ebenen senkrecht zur Achse der Teleskopstütze. Die Vorrichtungen zur Mitnahme sind alle Rohre umfassend auf dem Basisrohr (7) oder jeweils zwischen den Rohren befestigt oder an den oberen Enden der Rohre ausgebildet. Durch Mitnahme des innersten Rohrs wird teleskopiert.

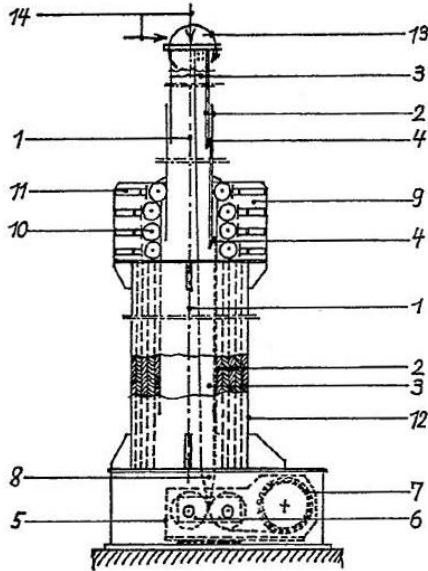


Abb. 76: Biegesteife Teleskopstütze, nach DE 3322100

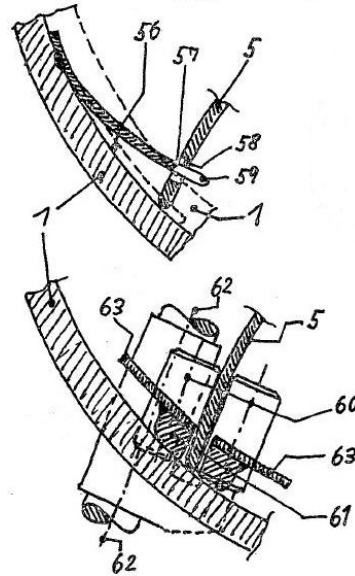


Abb. 77: Detail des Teleskopquerschnitts, nach DE 3322100

Die Vorrichtung umfasst mit einer Hülse (14) Rollen (4), die von den Rohren (1) beim Teleskopieren belastet werden, und Baugruppen zum Steuern und Stützen der Rollen. Dazu gehören auf Rollenträgern (11) in Ebenen gelagerte und zusammen zwischen Rollenschilden geführte Rollen. Sie werden über Steuerrollen und Druckfedern (9, 10) an die sich beim Ausfahren ändernde Außenkontur (3) der Teleskopstütze unabhängig voneinander gedrückt. Die Rollen stützen sich in ihrer jeweiligen Ebene über die Rollenträger und Stufen der Spiralscheibe (13) an der Hülse (14) und damit am Basisrohr ab. Jeweils senkrecht zur Achse des Teleskopmastes in mehreren Ebenen übereinander gelagerte Spiralscheiben (13) tragen ineinandergreifend ein Ritzel, ein Zahnrad und ein Zahnsegment. Sie bringen beim Ausfahren des Teleskopmastes die Rollen in eine neue Stützposition, indem sie die Bewegung der Spiralscheibe auf die Zahnstange eines senkrecht zum Teleskoprohr liegenden Außenrohrs übertragen. Die Querabmessungen der Rohre legen das Übersetzungsverhältnis des Ritzels und des Zahnrads fest. Die Steuervorrichtung überträgt ihren Hub in einen synchronen Drehtakt der Spiralscheibe.

Für das Ausfahren des Teleskopmastes befinden sich im Basisrohr (7) die eingefahrenen Rohre (1). An den Rohren sind parallel zur Achse plastisch vorgekrümmte dünne Federstahlbänder (56) vorstehend einseitig oder beidseitig befestigt. Die dünnen Federstahlbänder werden beim eingefahrenen, nächstinneren Rohr elastisch an die Wand dieses Rohrs gedrückt. Für eine formschlüssige Lagerung des Bandes im Rohr und für eine sichere Fahrfolge der Rohre können das Band mit Schlitz (58) und die Federstahlbänder mit Zähnen (59) versehen sein. Das Band erfährt durch zwei unmittelbar unter den Rohren angeordnete Rollenpaare (60) eine elastische Überkrümmung. Dadurch legt sich das Band beim Ausfahren der Teleskopstütze gegen die Federstahlbänder. Beim Einfahren hingegen wird das Band

von den Federstahlbändern gelöst. Das die Überkrümmung erzeugende Rollenpaar wird durch in die Rohre hineinragende Leitzungen (61) und eine quer zur Achse gelagerte Führungsschiene (62) von den teleskopierenden Rohren direkt gesteuert. Schlitz und Zähne an Federstahlband und am das Rohr durchziehenden Band sind vorzugsweise in die den unteren Ebenen der Rohre zugeordneten Abschnitten angeordnet. Das Band wird beidseitig gestützt und geführt durch in die Rohre hineinragende Stützleisten (63), die an den Leitzungen (61) befestigt sind.

Mit dieser Erfindung, deren Rohre nicht auf kreisförmige Querschnitte beschränkt sind, sollen den Teleskopsystemen neue Anwendungsbereiche erschlossen werden.

Offenlegungsschrift DE 38 04 193 A1

Anmeldetag: 11. Februar 1988
Als Erfinder benannt: VOGEL, RUDOLF
Bezeichnung: Verfahren, Vorrichtungen und Einrichtungen für teleskopierbare Maste von mobilen und stationären Hubwerken

Bei dem Erfinder bekannten Teleskopmasten sind die Hubhöhen durch die vor allem bei hydraulisch arbeitenden Systemen geringe Anzahl dickwandiger Rohre ebenso begrenzt wie die Hubgeschwindigkeit. Zudem wird die Biegesteifigkeit derartiger Maste als unzureichend eingestuft. Der Erfinder nennt eingangs aus Metallbändern schraubenförmig gewickelte Tragwerke, deren Einsatzgebiete bei Stütz- und Hebevorrichtungen für geringe Lasten liegen und den Anforderungen an Maste in keiner Weise genügen könnten (Abb. 78, 79).

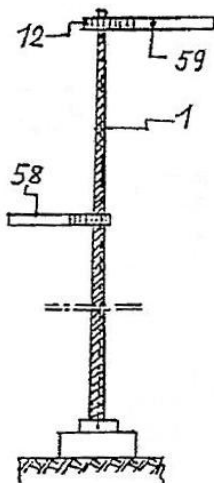


Abb. 78: Teleskopierbarer Mast, nach DE 3804194

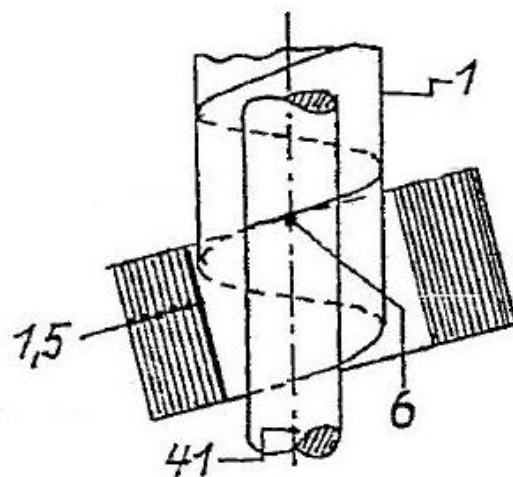


Abb. 79: Detail des teleskopierbaren Mastes, nach DE 3804194

Erfindungsgemäß besteht das Hubwerk aus einem Mast (I), einer Basis (II) mit dem Speicher (III), einem am Mast geführten, schwenkbaren Fahrkorb (VII) mit teleskopierbarer Hilfsbühne (58) und einer am oberen Ende befindlichen Bühne (12) mit teleskopierbarem Ausleger (59). Im Speicher ist das Band spiralförmig aufgewickelt, das beim Ausfahren aus dem Speicher die Abschnitte des Teleskopmastes nach oben schiebt. Die Erfindung ähnelt der oben beschriebenen Patentanmeldung DE 3322100 A1, weshalb an dieser Stelle auf genauere Erläuterungen verzichtet wird.

Offenlegungsschrift, DE 39 18 833 A1

Anmeldetag: 9. Juni 1989
 Als Erfinder benannt: BINGE, DEREK SIDNEY; ROBINSON, ANTHONY DENNIS (USA)
 Bezeichnung: Mastausfahr- und Drehvorrichtung

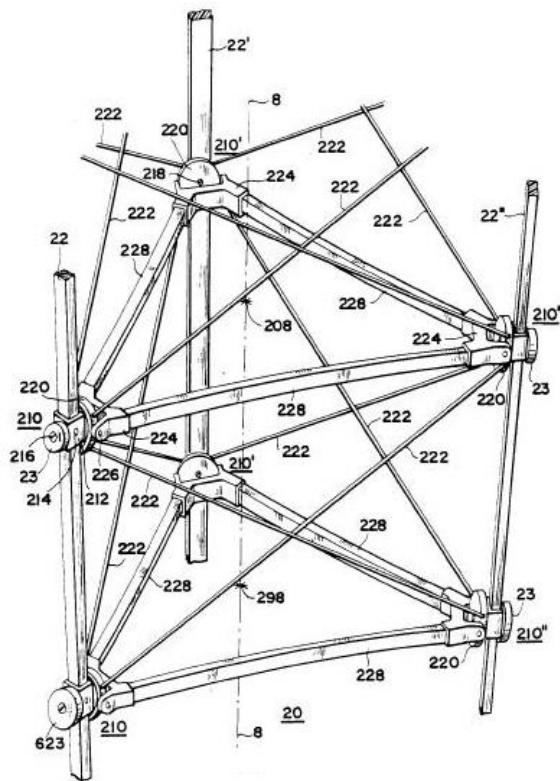
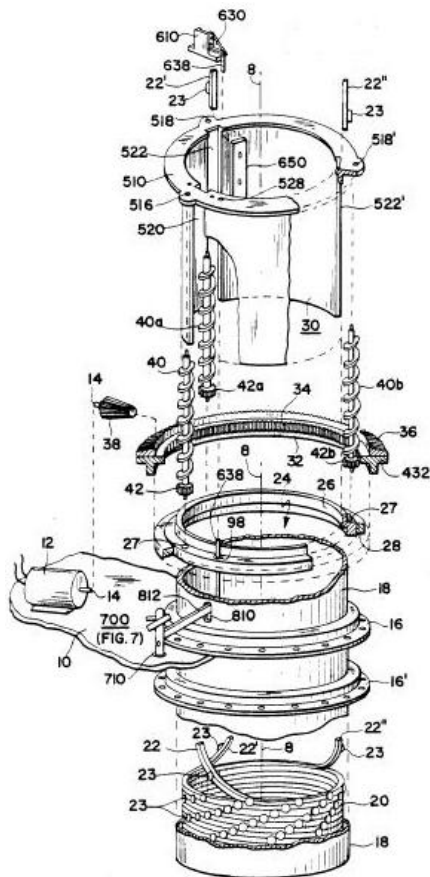


Abb. 80: Mastausfahr- und Drehvorrichtung, nach DE 3918833

Abb. 81: Aufbau des ausgefahrenen Mastes, nach DE 3918833

Die Erfindung beschreibt einen aus- und einfahrbaren, drehbar gelagerten Mast. (Abb. 80, 81) In einem Behälter (18) mit kreisförmiger Austrittsöffnung lagert der aufgewickelte Mast (20), der sich zusammensetzt aus drei flexiblen Holmen (22), an denen in regelmäßigen Abständen Vorsprünge bzw. Knotenpunkte (23) angebracht sind. Drei axial ausgerichtete Schraubenspindeln (40) sind am Umfang des Behälters befestigt und steuern durch ein Planetenrad synchronisiert das Aus- und Einfahren der Holme, indem sie in deren Vorsprünge eingreifen. Die im Querschnitt quadratischen Holme seien aus imprägnierten Glasfasern gefertigt und bilden ausgefahren mit an den Knotenpunkten befestigten Druckstangen (228) und Zugeinrichtungen (222) den Turm bzw. Mast, der im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck bildet (Abb. 81). Grundsätzlich handelt es sich bei dieser Erfindung um eine Fachwerk-konstruktion.

7.2 Vergleich des Helixturms mit beschriebenen Konstruktionen

In den Patentschriften, deren Inhalte oben erläutert sind, werden die Begriffe „Mast“, „Teleskop“ und „Holm“ zur Beschreibung von Tragwerkkonstruktionen eingesetzt. Den Begriff „Turm“ in Form von „Turmbauwerk“ verwendet nur ZUSE in seinen Erfindungsanmeldungen, die den Helixturm einschließen. Ein Turmbauwerk umfasst gemäß Patentschrift DE 4119466 A1 „... langgestreckte Bauwerke verschiedenster Abmessungen, welche vertikal vom Erdboden aufragen, also beispielsweise auch Maste.“¹⁹⁵ In der Architekturliteratur werden „Turm“ und „Mast“ nicht voneinander unterschieden, Begriffe wie „Teleskop“ und „Holm“ bleiben unberücksichtigt. Der Definition im Lexikon folgend dient ein Mast als Stahl-, Stahlbeton- oder Holzkonstruktion dem Tragen einer Freileitung oder ist im Schiffbau anzusiedeln.¹⁹⁶ Darin bezeichnet ein Mast ein „aufrecht aus dem Schiffsdeck ragendes Stahl- oder Leichtmetallrohr oder Rundholz ...“¹⁹⁷ Ein Turm ist dem Lexikon zufolge ein „hohes Bauwerk, dessen Grundfläche im Verhältnis zur Höhe gering ist und in dem es im Unterschied zum Hochhaus i. d. R. keine Wohn- und Gewerberäume gibt.“¹⁹⁸ Grundsätzlich ist die Höhe eines Turms ein Vielfaches der Grundrisseitenlänge.¹⁹⁹ Im Lexikon werden als Teleskop ein Fernrohr und der Holm als ein Balken definiert. Die in den Patentschriften verwendeten, definitionsgemäß abweichenden Begriffe werden eingesetzt, um die Funktion der Erfindungen zu veranschaulichen. So kann ein „Teleskopmast“ aus ineinandergeschobenen Rohren ausgefahren werden wie die Optik eines Teleskops der Entfernung eines betrachteten Gegenstands anzupassen ist, und ein Mast weist eine im Vergleich zum Grundriss wesentlich größere Höhe auf als ein Turm.

Es sind die in Kap. 7.1 beschriebenen, höhenverstellbaren Konstruktionen meist aus Rohren aufgebaut, die in Form ineinandergesteckter oder auszufahrender Abschnitte Aufbauten bilden, deren Durchmesser im Vergleich zur Höhe sehr gering ist. Oder es sind Rohre derart verbunden, dass sie Fachwerkkonstruktionen bilden. Der Helixturm unterscheidet sich nicht nur durch die Bildung einer kontinuierlich aus- oder einfahrenden Röhre aus speziell gestalteten Elementen, sondern auch durch seine Komplexität.

HERMANN FLESSNER hatte darauf hingewiesen, dass ZUSES Helixturm Gemeinsamkeiten aufweist mit den Erfindungen von ROLAND VOGEL. VOGEL vermerkt in den beschriebenen Erfindungsanmeldungen DE 1225839 und DE 1205256, dass teleskopierbare, d. h. auszufahrende Maste wie hydraulische Vielfachteleskope begrenzte Hubhöhen und ein hohes Eigengewicht hätten, zudem eine geringe Biegesteifigkeit aufwiesen. Er hat dies mit seinen Erfindungen zu umgehen versucht. RUDOLF VOGEL entwickelte Konstruktionen kontinuierlich auszufahrender Rohre, deren im Querschnitt kreisähnliches Hohlprofil durch mindestens drei gekrümmte Stahlbänder gebildet wird. Das Einfahren der Maste sollte durch die Gewichtskraft unterstützt erfolgen und es wird seinen Erfindungen die Möglichkeit der Programmsteuerung gegeben, wie es auch in ZUSES Patentanmeldungen formuliert ist. Beim Vergleich beider Erfindungen, deren es ZUSES Helixturm und VOGELS höhenverstellbare Konstruktionen in Form von in der Vertikalen verspannten Stahlblechen sind, können Gemeinsamkeiten festgestellt werden: Der Helixturm bewegt kontinuierlich Bleche als Turmelemente nach oben, die schraubenwendelförmig den Turm in Form einer Röhre bilden. In den Erfindungen von RO-

¹⁹⁵ Schutzrechtsdokument des DPA, DE 4119466 A1, S. 2.

¹⁹⁶ Brockhaus 2006.

¹⁹⁷ Brockhaus 2006.

¹⁹⁸ Brockhaus 2006.

¹⁹⁹ HEINLE 1988.

LAND VOGEL werden in Trommelspeichern aufgewickelte Stahlbänder kontinuierlich ausgefahren und in Formgebungsdüsen gewölbt, so dass sie sich gegenseitig überlappend das Hohlprofil einer Röhre bilden. Die Höhe des ausgefahrenen Systems wird beim Helixturm bestimmt durch die Anzahl der Turmelemente, die ein Magazin aufnehmen kann, und bei ROLAND VOGEL durch die Größe der Trommelspeicher, in denen die aufgewickelten Stahlbänder lagern. Den Durchmesser der ausgefahrenen Röhre des Helixturms bestimmt die Anzahl der Magazine, den Durchmesser der Erfindungen VOGELS die Anzahl der Trommelspeicher oder deren Größe, um breitere Stahlbänder aufzunehmen. Die Durchmesser der ausgefahrenen Aufbauten sind bei beiden Verfahren konstant. Verschieden sind die Systeme in der Arbeitsweise bzw. in der Mechanik. Werden beim Helixturm in Magazinen gelagerte, speziell geformte Turmelemente derart aufeinandergeschoben und verriegelt, dass sie einen elementaren Verband bilden, so werden in wesentlich vereinfachter Form bei VOGELS Erfindungen in Speichern aufgewickelte Stahlbänder beim Austritt vorgeformt und bilden sich gegenseitig überlappend eine Röhre, deren Stabilität nicht durch Ineinandergreifen einzelner Elemente, sondern durch reibungsschlüssige Überlagerung erfolgt. Das Ausfahren aus Speichertrommeln ist nicht zu vergleichen mit in Magazinen aufbewahrte und mechanisch durch aufeinander abgestimmte Steuerflächen bewegte Elemente, deren Form einheitlich ist. Die Stahlbänder in VOGELS Erfindungen laufen parallel nach oben. Die Röhre des Helixturms entsteht durch schraubenwendelförmig neben- bzw. übereinandergesetzte Elemente, die eine Leichtbau²⁰⁰-Konstruktion bilden. VOGELS Erfindung ist einfacher, kostengünstiger herzustellen und vielleicht auch stabiler, weil jede Verbindung zwischen den Turmelementen des Helixturms gleichzeitig eine Schwachstelle ist. Aber KONRAD ZUSE hat elementiert.²⁰¹ Seine Erfindung ist charakterisiert durch eine höhere Komplexität und ist nicht wie VOGELS Erfindungen beschränkt auf bestimmte Anwendungen. (Vgl. Kap. 8, Ausblick, automatisierte Hochbaustellen)

²⁰⁰

Verringerung des Gewichts durch Materialwahl oder Materialersparnis, was formale Veränderungen beinhaltet.

²⁰¹

Elementierung: im Vorfeld erfolgende Bauteilfertigung, Einsatz von Fertigteilssystemen.

8 Ausblick

Der Helixturm im Kontext automatisierter Hochbaustellen

THOMAS BOCK, Professor am Lehrstuhl für Baurealisierung und Bauinformatik an der TU München, beschäftigt sich seit 25 Jahren mit Robotik und ist vom Funktionsprinzip des Helixturms überzeugt. Er hat in Japan an der Entwicklung automatisierter Baustellen mitgearbeitet. In seiner Doktorarbeit schlug er „... *erstmalig ein integriertes roboterisiertes Bauproduktions- und robotergerechtes Bauproduktssystem vor.*“²⁰² In Ländern mit hohen Grundstückspreisen und Lohnkosten, Rohstoffknappheit und räumlicher Enge in Städten wie Singapur und in Japan werden seit den 1990er Jahren automatisiert Häuser gebaut. Es gibt verschiedene Systeme, die alle auf einer Stahlskelettbau-, Betonfertigteile- oder Misch-Bauweise basieren. Ein Arbeitsgeschoss baut zuerst das Erdgeschoss und wird hydraulisch nach oben geschoben, so dass darunter weitere Stockwerke entstehen. Roboter arbeiten während des Wachsens des Gebäudes am Innenausbau und setzen im Minutentakt durch LKWs angelieferte Fertigteile ein. Die Arbeitsabläufe sind computergesteuert. Fast alle eingesetzten Elemente sind vorgefertigt. Eines der Systeme, das AMURAD-System²⁰³, arbeitet ebenerdig, d. h. es wird ein Hausbau mit dem Dach begonnen, das sich nach Fertigstellung hydraulisch nach oben schiebt, und darunter entstehen zuerst das obere und zuletzt das Erdgeschoss. Das geschossweise Heben eines bis zu 15 Etagen zählenden Gebäudes, die Montage von Tragwerkteilen wie Balken und Platten im unteren Geschoss und der Materialtransport werden durch drei Systeme gesteuert. So kann an einem halben Tag ein zweigeschössiges Wohnhaus ohne Kran mit wenigen Arbeitskräften errichtet werden. Die automatisierten Baustellen erübrigen weiträumige Absperrungen, wie sie in Europa üblich sind, und sie sind wesentlich weniger „schmutzig“. Der Rückbau eines Gebäudes erfolgt ähnlich, lautlos und schmutzlos. Es wurden 2008 in Tokio mit einer Senkgeschwindigkeit von 1 mm / s, Etage um Etage, drei Hochhäuser mit jeweils 20, 17 und zehn Stockwerken von der Öffentlichkeit fast unbemerkt zurückgebaut (Abb. 82). Ein Vorteil der automatisierten Rückbaustellen ist der Recyclinganteil verwendeter Baustoffe, er liegt bei 93 %.²⁰⁴

Wie bei japanischen Hochbaustellen hydraulische Pressen aus Fertigteilen zusammengesetzte Etagen nach oben schieben, bewegen sich im Helixturm die Turmelemente mechanisch nach oben. Diese Turmelemente könnten nach einer Weiterentwicklung als Fertigteile in Form von Stützkonstruktionen verkleidet und ausgefahren werden zu einem Gebäude, dessen Grundelemente innen tapeziert und außen wärmedämmend wären und im Falle neuer Bauvorschriften eingefahren und neu verkleidet werden könnten, also auch wiedergewinnbar sind. Professor BOCK verglich die Funktionstechnik des Helixturms mit dem AMURAD-System, das ein Haus von unten nach oben baut. Der Helixturm zeichne sich seiner Elementierung wegen durch hohe Flexibilität aus, die Elemente lassen sich speziellen Anforderungen und Anwendungen anpassen. Eine Elementarisierung sei zwar im Vorfeld kostspielig, spare vor Ort aber Geld, weil nicht alle Teile einzeln angefahren und einzeln eingepasst werden müssten, zudem in Serie gefertigt werden könnten. Die Modularisierung kann mit „Lego“ verglichen werden. Höhe und Durchmesser des entstehenden Bauwerks wären flexibel.

²⁰² BOCK 2009, S. 3.

²⁰³ AutoMatic Up-Rising construction by ADvanced technique.

²⁰⁴ BOCK 2009.



Abb. 82: Japan, automatisierter Rückbau (im linken Bild eines von drei Hochhäusern, das noch vollständig steht, daneben ein im Rückbau befindliches; Drittes rechts in der Abb. nahezu gänzlich zurückgebaut)

Die Mechanik des Helixturms schiebt ihre Elemente auf andere Weise nach oben als japanische, für automatisierte Hochbaustellen eingesetzte Systeme. ZUSE hatte als studierter Bauingenieur eine Leichtbau-Konstruktion entwickelt und die nach oben zu schiebenden Bauteile besonders gestaltet. Der Helixturm beinhaltet einen automatischen, systematisch durchdachten Ablauf, bei dem die speziell geformten Elemente ineinandergreifen. KONRAD ZUSE war damit seiner Zeit weit voraus. Die statischen Erfahrungen wird er während seiner Beschäftigung bei den Henschel-Flugzeugwerken gesammelt haben. Für die Weiterentwicklung der genialen Erfindung des Helixturms wäre ein Unternehmen nötig gewesen, das KONRAD ZUSE unterstützte. Aber der Geist in Deutschland ist weniger von Neugier als von kurzfristigem Denken geprägt. Langfristige Strategien zu entwickeln fällt schwer in einer Gesellschaft, die Bauvorschriften erlässt mit dem Zweck, die Durchsetzung neuer Verfahren zu verhindern.²⁰⁵

²⁰⁵

THOMAS BOCK im März 2009.

Schlusswort

In dieser Arbeit ist das erste Funktionsmodell des Helixturms von KONRAD ZUSE ausführlich beschrieben und konnte wieder in Funktion gesetzt werden. Durch Befragung von Zeitzeugen und durch Sichtung der Unterlagen des Archivs im Deutschen Museum wurden Informationen gesammelt, die Umstände der Entwicklung der technischen Innovation beschreiben, die Schwierigkeiten deren Weiterentwicklung aufzeigen und möglicherweise eine Wiederaufnahme des Projekts unterstützen können, dessen Vollendung durch den Tod KONRAD ZUSES vielleicht nicht abgebrochen, sondern mit uns heute zugänglichen Informationen unterbrochen ist. Denn das erste Funktionsmodell war verbessert worden durch Entwicklung einer neuen Konstruktion, dem HT2, der im Maßstab 1 : 10 gebaut der Vorläufer eines Versuchsturms im Maßstab 1 : 1 hätte sein sollen. Die technische Innovation des Helixturms als höhenvariables Turmbauwerk ist dessen Elementierung bzw. Modularisierung.

Wesentliche Fragen bleiben unbeantwortet: Was ist der Helixturm? Wo und wie ist er einzuordnen? Wie kam KONRAD ZUSE auf die Idee, eine Mechanik zu entwickeln, die einzelne Elemente zu einem kontinuierlich wachsenden Bauwerk verbindet? Warum und wofür hatte er den Mechanismus konstruiert? Was wollte er damit zeigen? War die Konstruktion von Beginn an auf den Anwendungsbereich von Windkraftanlagen festgelegt? Hatte KONRAD ZUSE als Bauingenieur die in Japan entwickelten, automatisierten Baustellen gekannt? Warum hatte er das Problem der Höhenverstellung mechanisch zu lösen versucht? Hatte er mit speziell geformten Bauteilen und allgegenwärtiger Schwerkraft unter Zuhilfenahme einer Kurbel ein System entwickeln wollen, das universell einsetzbar alle bisherigen mechanischen Konstruktionen übertrifft?

Diese Fragen zu beantworten war innerhalb der Arbeit nicht möglich. Denn der Helixturm kann mit dem während dieser Arbeit erlangten Wissen des Autors nicht in einen entsprechenden Kontext gesetzt werden. Dafür ist ein genaueres Verständnis der Person KONRAD ZUSE erforderlich, was dessen philosophische Ansätze zur Kybernetik einschließt. Innerhalb der noch ausstehenden Aufarbeitung des schriftlichen Nachlasses von KONRAD ZUSE im Archiv des Deutschen Museums in München lassen sich vielleicht Inhalte erschließen, die den Helixturm, zusammen mit der Montagestraße als Sich-selbst-reproduzierendes-System, in ein Konzept einzuordnen erlauben, mit dem KONRAD ZUSE seiner Zeit weit voraus gewesen ist.



*Alles Vollendete wird angestaunt,
alles Werdende unterschätzt.*

FRIEDRICH NIETZSCHE



Literaturverzeichnis

- ALEX, JÜRGEN: *Wege und Irrwege des Konrad Zuse*, in: Spektrum der Wissenschaft 1/1997
- BOCK, THOMAS: *Das Dach wird zuerst gebaut – und das Erdgeschoss zuerst rückgebaut*, in: Bauingenieur, März 2009
- BRANNER, WALTER; GÖTZ, KORNELIUS; MÖSER, KURT; ZWECKBRONNER, GERHARD: *Industrielles Kulturgut im Museum, Fragen zur Restaurierung*, Mannheim 1989
- BRÜGGERHOFF, STEFAN: *Korrosionsschutz für umweltgeschädigte Industriedenkmäler aus Eisen und Stahl*, (Modellvorhaben), zusammenfassender Endbericht zum Vorhaben DBU-Az: 06834, Bochum 2002
- CERUZZI, PAUL E.: *Die frühen Arbeiten von Konrad Zuse im Kontext der Erfindung des digitalen Computers. 1935 – 1950*, in: *Deutsches Museum. Wissenschaftliches Jahrbuch 1992/93*, München 1993
- FÜßL, WILHELM: *Nachlass von Konrad Zuse*, in: Archiv-Info, Deutsches Museum, 1/2006
- HAU, ERICH: *Windkraftanlagen. Grundlagen, Technik, Einsatz, Wirtschaftlichkeit*, Berlin 2008
- DORSCH, HADWIG: *Der 1. Computer*, Museum für Verkehr und Technik Berlin 1989
- DORSCH, HADWIG: *Die Rekonstruktion der Z1 im Deutschen Technikmuseum Berlin*, in: ROJAS, RAÚL (Hrsg.): *Die Rechenmaschinen von Konrad Zuse*, Berlin 1998
- EHRIG, HARTMUT; PFENDER, MICHAEL: *Kategorien und Automaten*, Berlin 1972
- HEINLE, ERWIN; LEONHARDT, FRITZ: *Türme*, Stuttgart 1988
- HEINRICH, PETER: *Metallrestaurierung. Beiträge zur Analyse, Konzeption und Technologie*, München 1994
- HILBERT, GÜNTER S.: *Sammlungsgut in Sicherheit*, Berlin 2002
- KOESLING, VOLKER: *Vom Feuerstein zum Bakelit*, Schriftenreihe zur Restaurierung und Grabungstechnik, Bd. 5/6, Stuttgart 1999
- MONS, WILHELM; ZUSE, HORST; VOLLMAR ROLAND: *Konrad Zuse*, Berlin 2005
- MÜLLER-FROMME, RENATE: *Anforderungen an Vitrinen im Museums- und Ausstellungsbereich*, in: *Der Ausstellungsraum im Ausstellungsraum. Moderne Vitrinenteknik für Museen*, Köln 1994
- PADFIELD, TIM; ERHARDT, DAVID; HOPWOOD, WALTER: *TROUBLE IN STORE*, in: *SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE SERVICE OF CONSERVATION*, 1982
- PETZOLD, HARTMUT: *Konrad Zuse*, in: HOFFMANN; LAITKO; MÜLLER-WILLE: *Lexikon der bedeutenden Naturwissenschaftler*, Bd. 3, Berlin 2004
- PIETSCH, ANNIK: *Schadstoffe in Vitrinen*, in: *Der Ausstellungsraum im Ausstellungsraum. Moderne Vitrinenteknik für Museen*, Köln 1994
- SCHIEWECK, ALEXANDRA; SALTHAMMER, TUNGA: *Schadstoffe in Museen, Bibliotheken und Archiven*, Braunschweig 2006
- SCHÖNING, UWE: *Theoretische Informatik*, Heidelberg, Berlin 2001
- SCHWARZ, KARL (Hrsg. i. A.): *100 Jahre Technische Universität Berlin, 1879 – 1979, Katalog zur Ausstellung*, Berlin 1979
- STOLOW, NATHAN: *Conservation and Exhibition*, London 1988
- THOMSON, GARY: *The Museum Environment*, London 1981
- WISSNET, ALEXANDER: *Roboter in Japan*, München 2007
- ZUSE, KONRAD: *Rechnender Raum*, Bielefeld 1969

- ZUSE, KONRAD: *Der Computer – Mein Lebenswerk*, Berlin, Heidelberg 1984
- Brockhaus-Enzyklopädie, Leipzig, Mannheim 2006

Patentschriften

- Schutzrechtsdokument des DPA Nr. 830180, ausgegeben 31.1.1952
- Schutzrechtsdokument des DPA Nr. 201811, ausgegeben am 26.1.1959
- Schutzrechtsdokument des DPA, ausgelegt am 29.9.1966
- Schutzrechtsdokument des DPA, Nr. 1205256, ausgelegt am 18.11.1965
- Schutzrechtsdokument des DPA, DT 2627587 A1, offengelegt am 29.12.1977
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2720905 A1, offengelegt am 23.11.1978
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2742246, offengelegt am 29.03.1979
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2812465, offengelegt am 27.09.1979
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2915242, offengelegt am 16.10.1980
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 2930161, offengelegt am 07.02.1980
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 3020027, offengelegt am 03.12.1981
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 3322100, offengelegt am 20.12.1984
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 3804194, offengelegt am 24.08.1989
- Schutzrechtsdokument des DPA, DE 3918833, offengelegt am 21.12.1989

Internet

<http://www.tu-ilmeneau.de/unirz/fileadmin/template/paton/lehre/lb2-2a.pdf> (16.01.09)

www.depatistnet.de (22.02.09)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Foto Deutsches Museum, BN_60761	3
Abb. 2: aus DE 4119466 C2.....	4
Abb. 3: Foto Achim Bunz	4
Abb. 4: Foto Deutsches Museum, BN_60764.....	5
Abb. 5: Foto Achim Bunz	6
Abb. 6: Foto Achim Bunz	7
Abb. 7: Foto Achim Bunz	7
Abb. 8: Foto Achim Bunz	8
Abb. 9: Foto Achim Bunz	9
Abb. 10: Foto Achim Bunz	9
Abb. 11: Foto Achim Bunz	11
Abb. 12: Foto Achim Bunz	11
Abb. 13: Foto Achim Bunz	12
Abb. 14: Foto Achim Bunz	13
Abb. 15: CAD-Zeichnung (SolidWorks)	14
Abb. 16: CAD-Zeichnung (SolidWorks)	14
Abb. 17: abfotografiert mit freundlicher Genehmigung Arthur Merz.....	17
Abb. 18: abfotografiert mit freundlicher Genehmigung Arthur Merz.....	20
Abb. 19: DMA, CD_L_6328_3a.....	21
Abb. 20: DMA, CD_L_6330_15.....	21
Abb. 21: abfotografiert mit freundlicher Genehmigung Arthur Merz.....	22
Abb. 22: DMA, Mappe 02	35
Abb. 23: Foto Deutsches Museum, BN_60228.....	44
Abb. 24: Foto Deutsches Museum, BN_60764.....	44
Abb. 25: fotografiert durch den Autor	45
Abb. 26: fotografiert durch den Autor.....	46
Abb. 27: CAD-Zeichnung (SolidWorks)	47
Abb. 28: DMA, CD_57896.....	48
Abb. 29: Foto Achim Bunz	49
Abb. 30: Foto Achim Bunz	49
Abb. 31: Foto Achim Bunz	49
Abb. 32: Foto Achim Bunz	50
Abb. 33: Foto Achim Bunz	50
Abb. 34: Foto Achim Bunz	50



Abb. 35: fotografiert durch den Autor	51
Abb. 36: Foto Achim Bunz.....	51
Abb. 37: DMA, CD_L_6334_18	52
Abb. 38: fotografiert durch den Autor	54
Abb. 39: fotografiert durch den Autor	54
Abb. 40: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 41: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 42: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 43: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 44: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 45: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 46: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 47: fotografiert durch den Autor	56
Abb. 48: aus DE 4119428 C1	62
Abb. 49: aus DE 4413278 A1	63
Abb. 50: aus DE 4413278 A1	63
Abb. 51: aus DE 4413278 A1	63
Abb. 52: aus DE 19609749 A1.....	65
Abb. 53: Foto Achim Bunz.....	66
Abb. 54: aus DE 19609749.....	66
Abb. 55: aus DE 19609749 A1	67
Abb. 56: aus DE 19609749 A1	67
Abb. 57: CAD-Zeichnung (SolidWorks).....	69
Abb. 58: CAD-Zeichnung (SolidWorks).....	69
Abb. 59: CAD-Zeichnung (SolidWorks).....	69
Abb. 60: CAD-Zeichnung (SolidWorks).....	69
Abb. 61: CAD-Zeichnung (SolidWorks).....	69
Abb. 62: aus DE 4119428 C2	74
Abb. 63: aus Patentschrift Nr. 830180.....	75
Abb. 64: aus Patentschrift Nr. 201811	76
Abb. 65: aus Auslegeschrift 1225839.....	77
Abb. 66: aus Patentschrift 1205256.....	78
Abb. 67: aus Patentschrift 1205256.....	78
Abb. 68: aus Offenlegungsschrift 2131806	80
Abb. 69: aus DT 2627587.....	81
Abb. 70: aus DE 2720905.....	82

Abb. 71: aus DE 2812465	84
Abb. 72: aus DE 2915242	85
Abb. 73: aus DE 2915242	85
Abb. 74: aus DE 2930161	86
Abb. 75: aus DE 2930161	86
Abb. 76: aus DE 3322100	88
Abb. 77: aus DE 3322100	88
Abb. 78: aus DE 3804194	89
Abb. 79: aus DE 3804194	89
Abb. 80: aus DE 3918833	90
Abb. 81: aus DE 3918833	90
Abb. 82: aus Bock 2008.....	94



Anhang

Anhang 1 (50 Seiten)

- Stückliste (Excel)
- Bauteil-Übersicht (CAD-Dateien)
- Auflistung der im Archiv des Deutschen Museums gesichteten Textdokumente (Excel)
- Auflistung der im Archiv des Deutschen Museums gesichteten Zeichnungen (Excel)
- Auflistung der Turmelemente: im Modell vor der Restaurierung, im Nachlass gefunden, in das Modell eingesetzt während der Restaurierung
- Für die Restaurierung verwendete Materialien
- HT2, Bauteile, Foto und Besitz: Horst Zuse

Anhang 2 (28 Seiten)

- Fotografien, Achim Bunz

Anhang 3 (9 Seiten)

- CAD-Zeichnungen, erstellt mit SolidWorks, Format A2 und A3

Anhang 4

- Film-DVD (Vorabversion), DVD mit SolidWorks-Dateien