

Die Bauplanung von Kombikraftwerken im europäischen Umfeld

Dipl.-Ing. Dr. techn. Timur Uzunoglu
convex ZT GmbH, Graz, Österreich

KURZFASSUNG: Die Bauplanung von Kombikraftwerken stellt in mehrerer Hinsicht eine besondere Herausforderung dar: die hohen Anforderungen an die Bauwerke und die daraus resultierenden aufwändigen rechnerischen Nachweise, die kurzen Bauzeiten, die große Anzahl der Systemlieferanten aus verschiedenen Ländern und die jeweils unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten, insbesondere in Erdbebengebieten, erfordern eine hohe Flexibilität und ein solides Verständnis der Fachgebiete. Das Ineinandergreifen von Anlagenbau und Bauplanung erfordert eine systematische Vorgehensweise bei der Koordination der Schnittstellen und der Termine. Im vorliegenden Beitrag werden wesentliche Aspekte der Bauplanung von verschiedenen Kombikraftwerken im europäischen Raum beschrieben, an denen der Autor beteiligt war bzw. noch ist.

1 EINLEITUNG

Kombikraftwerke stellen eine neue, umweltfreundliche Technologie zur Stromerzeugung dar. Bei einem Kombikraftwerk ist der Gasturbine ein Abhitzeessel nachgeschaltet, in dem die Wärme der heißen Gasturbinenabgase zur Dampferzeugung genutzt wird. Der erzeugte Dampf wird anschließend mittels einer nachgeschalteten Dampfturbine verstromt. Deshalb werden diese Kraftwerke, in denen ein Gas- und ein Dampfturbinenprozess miteinander kombiniert sind, Kombikraftwerke genannt (GuD[®]-Kraftwerke; englisch „combined cycle“). Die Dampfturbine kann zusätzlich je nach Auslegung mit Entnahme und Anzapfung von Prozessdampf für industrielle Zwecke oder für Fernwärme betrieben werden (Kraft-Wärme-Kopplung; englisch „co-generation“). Ein Vorteil der Kombikraftwerke liegt im hohen Brennstoffausnutzungsgrad zufolge dieser Kraft-Wärme-Kopplung. Kombikraftwerke erreichen Wirkungsgrade von bis zu 60 % und lassen sich zudem auch rasch und kostengünstig bauen. Die Investitionskosten für moderne Kombikraftwerke sind deutlich geringer als bei Kernkraftwerken, dies macht sie für die Elektrizitätswirtschaft in einem liberalisierten Elektrizitätsmarkt attraktiv. Die Größenordnung von Kombikraftwerken bewegt sich zwischen 100 MW bis zu 1600 MW.

Die Bauplanung bzw. Bauausführung von Kombikraftwerken stellt in mehrerer Hinsicht eine besondere Herausforderung dar: die kurzen Bauzeiten, die große Anzahl der Systemlieferanten aus verschiedenen Ländern und die jeweils unterschiedlichen lokalen Gegebenheiten erfordern eine hohe Flexibilität und ein solides Verständnis der Fachgebiete.

Im vorliegenden Artikel werden wesentliche Aspekte der Bauplanung von vier verschiedenen Kombikraftwerken in Budapest/Ungarn (390 MW), Ankara/Türkei (770 MW), Londonderry/Großbritannien (400 MW) und Thessaloniki/Griechenland (400 MW) beschrieben, an denen der Autor beteiligt war bzw. noch ist.

2 AUFGABE UND UMFELD

Kombikraftwerke werden in der Regel durch als Generalunternehmer fungierende Anlagenbauunternehmen errichtet. Der Bau und die Bauplanung sind somit Tätigkeiten, die nicht zu den Kernkompetenzen solcher Firmen gehören und dementsprechend an Subunternehmer vergeben werden. Der Anteil der Baukosten an den Gesamtkosten ist relativ gering (8-10 %), aber der Bau spielt eine wesentliche Rolle hinsichtlich der Einhaltung der Gesamtterminzeit. Die kurzen Errichtungszeiten von zwei Jahren setzen die Bauplanung unter hohen Druck. Die Angaben für die Bauplanung werden meistens am spätesten festgelegt, die Baupläne allerdings am ehesten verlangt. Ein hoher Grad von Vorkenntnis und auch Improvisation des Bauplaners ist erforderlich, um diesem Umstand gerecht werden zu können.

Der Auftraggeber für die Bauplanung ist von Fall zu Fall unterschiedlich: wenn die Bauvergabe als „design & built“ erfolgt, ist die Baufirma Auftraggeber des Bauplaners. In manchen Fällen erfolgt die Beauftragung der Bauplanung direkt durch Generalunternehmer. In so einem Fall ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Generalunternehmer und Bauplaner erforderlich, um die Baupläne termingerecht zu liefern: da die detaillierte Baulinienplanung naturgemäß bei der Baufirma liegt, muss der Vorlauf der Bauplanung gewährleisten, dass der Baufortschritt auf der Baustelle nicht behindert wird.

Die Bauplanung von Kombikraftwerken umfasst ein breites Spektrum: Konstruktionen aus Stahlbeton für das Schaltwartengebäude, Konstruktionen aus Stahl für die Maschinenhallen, dynamisch beanspruchte Gas- und Dampfturbinenfundamente aus Stahlbeton und auch die gesamte Polierplanung mit dem für internationale Bauvorhaben typischen erforderlichen hohen Detaillierungsgrad. Ein hoher Aufwand an Dokumentation (durchgehend in englischer Sprache) ergibt sich aus dem Umstand, dass die gesamte Bauplanung in der Regel eine Prüfinstanz des Eigentümers

(Owner's Engineer) sowie die Prüfinstanzen der lokalen Behörden durchläuft.



Abbildung 1: KW Csepel II in Budapest, Ansicht und Längsschnitt der Maschinenhalle

3 DIE SCHNITTSTELLE ZWISCHEN ANLAGEN- UND BAUPLANUNG

Eine funktionierende Schnittstelle zwischen Anlagen- und Bauplanung ist Voraussetzung für eine termingerechte und richtige Bauplanung. Alle in diesem Beitrag dargestellten Projekte wurden innerhalb von zwei Jahren errichtet (Zeitraum zwischen Vergabe und Inbetriebnahme), dementsprechend handelt es sich um so genannte „fast-track“-Projekte. Die Bauplanung wird kontinuierlich mit den relevanten Informationen von der mechanischen und elektrischen Anlagenplanung beliefert. Viele Lieferanten aus unterschiedlichen Ländern müssen koordiniert werden, um diese Angaben in der richtigen Form und rechtzeitig zu erhalten. Die Bauplanung muss dem Baufortschritt vorauslaufen, wird aber von den oftmals nur begrenzt vorhandenen Informationen beherrscht. Dieser Umstand enthält Elemente des „simultaneous engineering“ – eine entsprechende Methodik ist notwendig, um diesen erfolgreich zu bewältigen. Zu diesem Zweck wurde eine standardisierte Freigabe-Prozedur entwickelt, welche die einzelnen Schritte der Bauplanung definiert (Abbildung 2).

Nach Angabe der Basis-Information vom Anlagenbauer bzw. Systemlieferanten (als „E1-Information“ bezeichnet), wird die Bauplanung entwickelt, die entsprechenden Schalpläne bzw. Stahlbauführungszeichnungen erstellt und zur Freigabe an den Anlagenbauer gesandt (als „C1-Information“ bezeichnet). Nach deren Freigabe (als „E2-Information“ bezeichnet) und der Eintragung der Kommentare und Änderungen, werden die Zeichnungen und Berechnungen sowohl dem Anlagenbauer als auch dem Prüfsingenieur des Eigentümers gesandt (als „C2-Information“ bezeichnet). Nach dessen Freigabe und dem Einarbeiten der eventuellen Kommentare und Korrekturen, werden die Zeichnungen für den Bau freigegeben (und als solche mit dem Vermerk „Released for Construction“ versehen). Alle Abweichungen von den Zeichnungen während des Baues werden auf den Zeichnungen eingetragen und nach Bauende auf den so genannten „as-built“-Zeichnungen nachgeführt. Detail-Zeichnungen wie Bewehrungszeichnungen und Stahlbau-

werkstattzeichnungen werden in der Regel außerhalb dieser Vorgehensweise gelassen, weil diese in der ausschließlichen Verantwortung des Bauplaners sind.

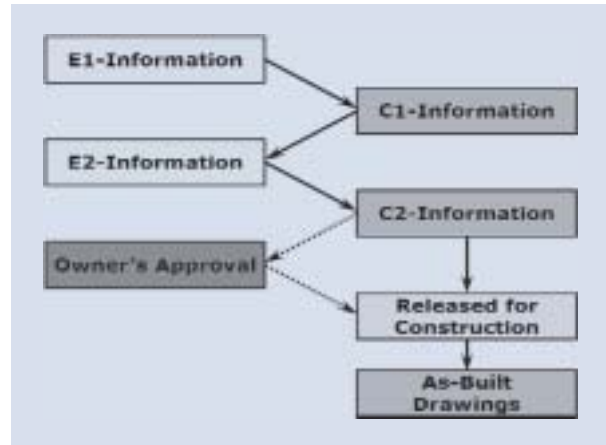


Abbildung 2: Standardisiertes Freigabeverfahren

Um diese Vorgehensweise zu verfolgen, wird eine Planliste („Master Drawing List“) erstellt. Diese Liste gibt eine Vorausschau aller erwarteten Dokumente der Bauplanung und die Termine der einzelnen Schritte des Freigabeverfahrens in Abhängigkeit vom Bauterminplan. Diese Liste ist ein lebendiges Dokument, das wöchentlich revidiert wird und somit den aktuellen Status der Bauplanung wiedergibt. Der Planungsstatus und die aktuelle Revisionsindex von jedem Dokument der Bauplanung werden in dieser Liste angeführt.

4 TERMINLICHE RANDBEDINGUNGEN

Für den Anlagenbauer stellt der Bau (nur) eine weitere Funktionalität dar, eine Betrachtungsweise, die der Bauplaner nicht gewohnt ist. Aus diesem Grund werden Standardisierungen vorgenommen, die sowohl Informationsgehalte (Anforderungen, Lastangaben) als auch Vorgangsweisen (Bauweisen, Konstruktionsdetails) betreffen. Um die sehr engen terminlichen Vorgaben zu halten und trotzdem die Fehleranzahl gering zu halten, ist eine intensive und kontinuierliche Koordination und Überprüfung der Bauplanung erforderlich. Es müssen alle Erfordernisse der Systemlieferanten sowie der Kraftwerksbetreiber gemäß ihrer Spezifikationen erfüllt werden. So müssen auch statische und dynamische Berechnungen hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks überprüft werden. Alle Bau-dokumente müssen von einer zentralen, koordinierenden Stelle aus mit den Lieferanten, den Systemingenieuren und dem Kunden abgestimmt werden (Abbildung 3). So wurden z.B. beim KW Ankara innerhalb von nur acht Monaten 978 Bauplanungsdokumente erstellt, überprüft und freigegeben. Durch ein effektives Bauplanungsmanagement und

eine Abstimmung der Bauplanung mit den Erfordernissen der Anlagenbauer konnte eine durchschnittliche Revisionsanzahl von nur 2,7 Revisionen pro Bauzeichnung erzielt werden, eine geringe Anzahl für ein Projekt dieser Geschwindigkeit.

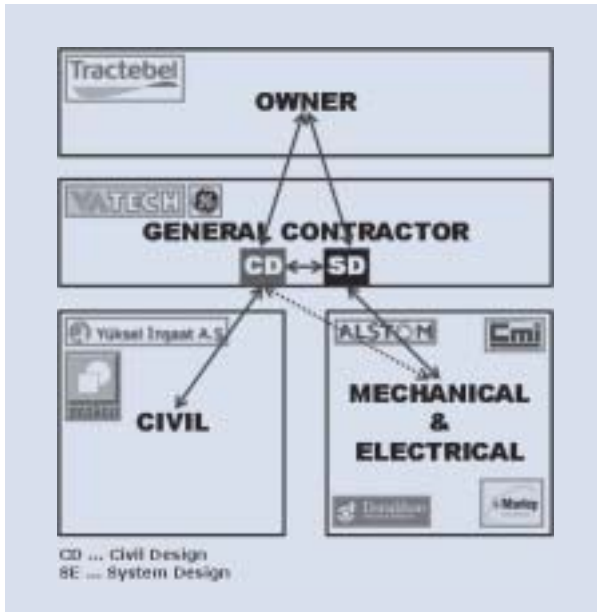


Abbildung 3: Schnittstellen zwischen Bau- und Systemplanung bzw. zwischen den Beteiligten am Beispiel KW Ankara

5 DIE BAUAUSFÜHRUNG

Die Bauausführung ist geprägt von der großen Anzahl der Beteiligten: die vielfältigen und hochwertigen Bauaufgaben erfordern den Einsatz von vielen Subunternehmern. Die Baustellenteams des Eigentümers, des Generalunternehmers und der Baufirma stehen sich oftmals bei verschiedenartigsten Fragestellungen gegenüber.

Um einen möglichst reibungslosen und sicheren Bauablauf zu gewährleisten, werden so genannte „Method Statement of Construction“ erarbeitet, bei denen für unterschiedliche Bauarbeiten die Verantwortlichen, die Vorgangsweisen und die erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen am Bau festgehalten werden.

Insbesondere das Betonieren der Gasturbinen- und Dampfturbinenfundamente erfordert eine sehr gute Arbeitsvorbereitung. Um mögliche Schwachstellen bei Arbeitsfugen zu vermeiden, muss z.B. das Blockfundament der Gasturbine in einem gegossen werden, das entspricht einer Betonmenge von 1100 m³. Deshalb wird eine Risikoanalyse durchgeführt und das Vorhalten eines Ersatzes für alle verwendeten Geräte sowie einer Stand-by-Betonlieferanlage vorgeschrieben. Eine mit den lokal vorhandenen Zementen und Zuschlägen erarbeitete Betonrezeptur soll sicherstellen, dass der in der dynamischen Berechnung angenommene Beton E-Modulus mit einer Genauigkeit von +/- 10 % erreicht wird.

Um die sehr geringen Einbautoleranzen der Einbauteile (+/- 5 mm) einzuhalten und ein rasches Ansteigen der Hydratationstemperatur und daraus resultierende Rissbildung zu vermeiden, wird mit mehreren Betonpumpen in wagrechten Lagen von 45-50 cm und mit einer Betoniergeschwindigkeit von 16-32 cm/h betoniert (Abbildung 4). Kontinuierliche Messungen der Betontemperatur im Fundamentblock zur Bestimmung der Temperaturdifferenz zwischen Kern und Rand helfen bei der Bestimmung der entsprechenden Nachbehandlungsmaßnahmen.



Abbildung 4: Drei Betonpumpen betонieren das Gasturbinenfundament (KW Ankara)

6 WESENTLICHE BAUWERKE

6.1 Maschinenhalle

In der Maschinenhalle befinden sich die Gas- und Dampfturbinen sowie die Generatoren. Der Bereich der Dampfturbine ist in der Regel unterkellert, um ausreichend Platz für den unter der Dampfturbine gelegenen Kondensator zu schaffen. Die Halle ist mit schweren Hallenkränen (90 t bzw. 75 t) ausgerüstet, um die Wartungsarbeiten bei den Gas- und Dampfturbinen durchführen zu können (Abbildung 5). Die Maschinenhalle wird üblicherweise als Stahlkonstruktion ausgeführt, die Fundierung und der Keller in Stahlbeton. Unter dem Dampfturbinenfundament kann eine massive Bodenplatte mit einer Dicke bis zu 3 m erforderlich sein, die durch eine Fuge von den restlichen Hallenfundamenten getrennt ist, um eine Übertragung von Schwingungen zu vermeiden. Auf diese Trennfuge kann verzichtet werden, wenn durch die Verwendung von Federelementen die dynamischen Lasten von den Turbinen isoliert werden. Im Inneren der Halle befinden sich Schwerlastbühnen um die Gas- und Dampfturbinen auf verschiedenen Ebenen. Viele verschiedene, vertikale und horizontale Lasten von Hoch- und Niederdruckdampfverrohrung, Kabeltassen und Luftfilter für die Gasturbine erschweren die statische Berechnung des Gesamtsystems.

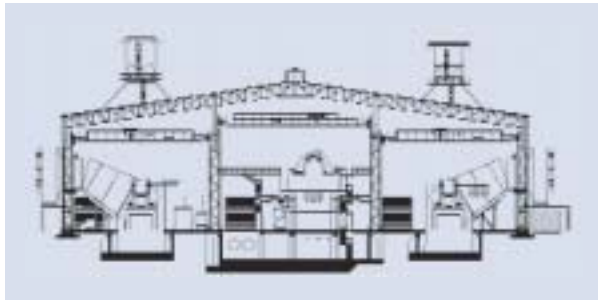


Abbildung 5: KW Ankara, Querschnitt Maschinenhalle

6.2 Turbinenfundamente

Die anspruchsvollsten Teile der Bauplanung betreffen die Gas- und Dampfturbinenfundamente. Die Turbinenfundamente sind in der Regel aus Stahlbeton, Blockfundamente für die Gasturbinen und Tischfundamente für die Dampfturbinen. Sie dienen dazu, einerseits die schweren Lasten der Turbinen zu unterstützen und andererseits die dynamischen Lasten aufzunehmen und zu isolieren. Aufgrund der massiven Bauweise liegen die Nachweise der Gebrauchstauglichkeit oftmals mehr im Vordergrund als die Standsicherheitsnachweise. Das dynamische Verhalten der Fundamente im Betriebsfall wird anhand der rechnerischen Schwingungsamplituden bzw. Schwinggeschwindigkeiten an den Lagerstellen der rotierenden Massen beurteilt. Es gilt, sowohl die Regelwerke wie DIN 4024 [6], VDI 2056 [7] sowie ISO 10816 [8] als auch die Forderungen der Turbinenhersteller zu erfüllen. Um einen frühzeitigen Verschleiß der Turbinenwelle zu verhindern, werden zusätzlich die absoluten und relativen statischen Verformungen an den Lagerstellen untersucht, und die Erfüllung der so genannten „Misalignment Tolerance Matrix“ nachgewiesen.

Die Lagerung der Turbinenfundamente wird auf die Baugrundverhältnisse und auf die lokal vorhandene Seismizität abgestimmt. Bei gutem Baugrund und tief liegendem Grundwasserspiegel können die Fundamente direkt auf den Baugrund gesetzt werden. Bei schlechtem Baugrund und zu erwartenden Differenzsetzungen werden die Fundamente auf Federelemente gesetzt, die eine nachträgliche Nivellierung erlauben. Bei hohen Erdbebenlasten müssen zusätzlich viskose Dämpfer angeordnet werden, um die horizontalen Verformungen im Erdbebenfall zu reduzieren.

6.2.1 Blockfundamente

Die Abmessungen der Blockfundamente für Gasturbine und Generator ergeben sich einerseits aus dem Platzbedarf der Maschinen und andererseits aus den zulässigen Schwinggeschwindigkeiten an den Lagerstellen. Bei einer Höhe des Blockfundamentes von 2,9 m (Abbildung 6) kann bei gegebenen Unwuchtkräften in der Größenordnung von 65 kN und bei einer Betriebsfrequenz von 50 Hz (3000 min^{-1}) die vom Turbinenlieferanten geforderte Schwinggeschwindigkeit von 1,52 mm/s (entspricht einer Schwingamplitude von $6,8 \mu\text{m}$) eingehalten werden.

Die statische und dynamische Berechnung erfolgt in der Regel nach der DIN 4024, Teil 1. Zur Ermittlung der Eigen-



Abbildung 6: Die Gasturbine auf dem Blockfundament (KW Coolkeeragh)

frequenzen wird das Fundament mit einem Finite-Elemente-Modell abgebildet (Abbildung 7). Bei der Modellierung mit Schalenelementen muss darauf geachtet werden, dass die Dicke der Elemente gegenüber den Abmessungen klein ist, da ansonsten die Schalentheorie nicht zutrifft und die Eigenfrequenzen unterschätzt werden. Der dynamische E-Modul des Betons wird üblicherweise um 10 % höher als der statische E-Modul, die Dämpfung mit 2 % angenommen. Die Beurteilung des Eigenschwingverhaltens erfolgt ebenfalls nach DIN 4024, Teil 1: prinzipiell muss sichergestellt sein, dass keine der fundamentalen Eigenfrequenzen im $\pm 10 \%$ -Bereich der Erregerfrequenz (Umdrehungen der Turbine pro Zeiteinheit) liegt.

Die Schwinggeschwindigkeiten werden ebenfalls an diesem Modell mit einer „erzwungenen Schwingungsberechnung“ oder „harmonischen Analyse“ berechnet. Dabei ist darauf zu achten, dass, falls Eigenfrequenzen im Bereich von $\pm 5 \%$ der Erregerfrequenz liegen, die Erregerfrequenz bei konstanter Kraftamplitude (gleicher Unwuchtkraft) auf diese zu verschieben ist.

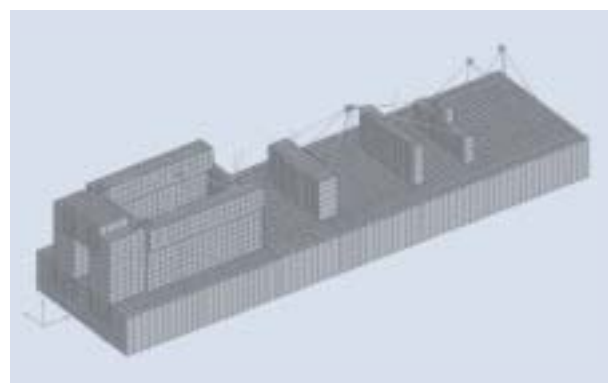


Abbildung 7: FEM-Modell des Gasturbinenfundamentes KW Ankara (FE-Programm STARDYNE)

6.2.2 Tischfundamente

Das Erfordernis für Tischfundamente ergibt sich bei Dampfturbinen aus der vertikalen Anordnung des Kondensators unter der Dampfturbine (Abbildung 8). Auch spielt die Anschlussart des Kondensators an die Dampfturbine eine entscheidende Rolle bei der Auslegung des Fundamentes: ein starrer Anschluss verursacht große Verformungen im Lastfall Vakuumzug, sodass flexible Anschlüsse mit Kompensatoren in der Regel bevorzugt werden. In diesem Fall wird der Kondensator auf Federelemente gestellt, um eben diese Bewegung zu erlauben. Die obere Platte kann durch Federelemente dynamisch vom restlichen Fundament getrennt oder biegesteif mit den Stützen verbunden werden.



Abbildung 8: KW Thessaloniki, Dampfturbine und Generator (oben), Kondensator (Mitte unten)

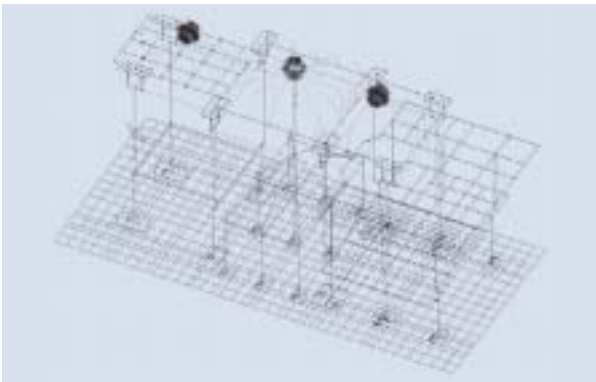


Abbildung 9: FEM-Modell des Dampfturbinentisches KW Thessaloniki (FE-Programm GT STRUDL)

Die statische und dynamische Berechnung sollte insbesondere in Erdbebengebieten unbedingt am Gesamtsystem obere Platte, Stützen und Bodenplatte erfolgen, um eine korrekte Prognose der Verformungen im Erdbebenfall zu erhalten. Sowohl die Turbine und Generator als auch der Kondensator müssen mit ihren Massen in der Berechnung berücksichtigt werden (Abbildung 9).

Aufgrund der Höhe der großen Maschinenmassen kann eine vereinfachte Erdbebenberechnung zu unwirtschaftlichen Ergebnissen führen. In diesem Fall führt die Zeitverlaufsmethode zu realistischeren Ergebnissen.

Die Höhe und Stärke der oberen Platte (zwischen 2-2,5 m) stellt auch die Bauausführung vor erhebliche Schwierigkeiten. Aufgrund der großen Öffnung in der Platte unter der Dampfturbine ergeben sich stark bewehrte Balken mit einer großen Anzahl von Einbauteilen, auf die bei den Bewehrungszeichnungen besonders zu achten ist (Abbildung 10).



Abbildung 10: Dampfturbinentisch im Bauzustand (KW Coolkeeragh)

6.3 Besondere Anforderungen an die Bauplanung in Erdbebengebieten

In Erdbebengebieten stellt sich dem Bauplaner zusätzlich zu den Nachweisen der Standsicherheit die Problematik des Zulassens von Schäden an der Baustruktur infolge Annahme duktilen Verhaltens. Die einschlägigen Normen lassen eine Spannungumlagerung zu, indem die elastischen Erdbebenlasten durch die Anwendung der R- oder q-Faktoren reduziert werden. Allerdings sind die Normen in erster Linie auf den Schutz von Menschenleben ausgerichtet und dementsprechend nicht immer anwendbar, wenn besondere Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit gestellt werden. Kraftwerke gehören zu den als „life-lines“ bezeichneten Bauwerken, die eben gerade nach einem Erdbebenfall eine besondere Bedeutung erlangen, um die Stromversorgung sicherzustellen. Oftmals sind Vorgaben der Kraftwerksbetreiber über die Nutzung der Anlage nach einem Erdbeben Vertragsbestandteil, wie beispielsweise folgender Auszug aus dem EPC-Vertrag des KW Ankara zeigt:

„In addition to the legal requirements in accordance with the Turkish standard, a seismic design is required, based on a serviceability limit defined by:

- an acceleration of 0,105 g horizontally (in two orthogonal directions),
- an acceleration of 0,070 g in the vertical direction.

The design is applicable to all structural elements and all equipment needed to restart electricity generation within the 2 hours after the occurrence of earthquake defined here above.“

Um diese Forderung zu erfüllen, sind die mechanischen, elektrischen und baulichen Spezifikationen zu koordinieren. Die Turbinen und Generatoren werden mit Beschleunigungsmessern versehen, welche die Maschinen bei Erreichen von unzulässigen Beschleunigungen abschalten (so um z.B. einen Schaden durch das Anschlagen der Schaufeln an das Gehäuse zu verhindern). Rohrleitungen und deren Verbindungen werden darauf ausgelegt, gewisse Verformungen aufnehmen zu können. Schlussendlich werden dem Bauplaner Grenzwerte der Verformungen im Erdbebenfall vorgegeben, die nachweislich einzuhalten sind. Zusätzlich sind in Erdbebengebieten besondere konstruktive Regelungen vorgeschrieben, die von der gängigen Praxis im deutschsprachigen Raum abweichen [3, 4]. So sind beispielsweise bei den Bügelbewehrungen die Enden um 135° abzubiegen (so genannte „seismic hoops“) und die Bügelbewehrung beim und im Knoten von Stützen/Balken zu verdichten (Abbildung 11).

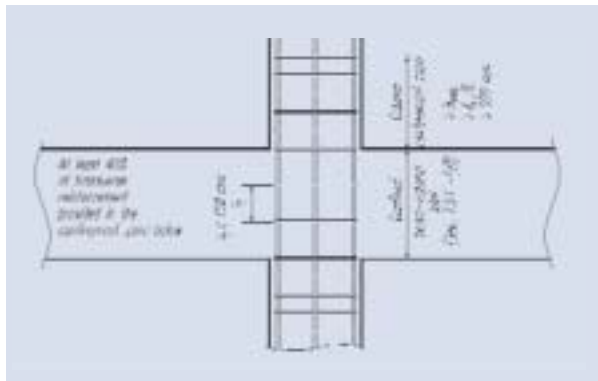


Abbildung 11: Bügelbewehrung zur Erhöhung der Duktilität von Knoten gemäß der Türkischen Erdbebennorm [3]

6.4 Schaltwartengebäude

Das Schaltwartengebäude ist in der Regel eine drei- bis viergeschoßige, unterkellerte Stahlbetonkonstruktion, die entweder direkt oder durch einen Kabelkanal mit der Maschinenhalle verbunden ist. Während im obersten Geschoß die Steuerungsräume untergebracht sind, befinden sich in den unteren Geschoßen Batterien, Schaltschränke und Trafos mit schweren Geschoßlasten. Falls eine gemeinsame Achse zwischen der Maschinenhalle und dem Schaltwartengebäude vorhanden ist, kann an dieser eine Stützenreihe eingespart werden (Abbildung 12).

In so einem Fall ist allerdings eine genaue Ermittlung der Beanspruchungen erforderlich, weil das Schaltwartengebäude aufgrund der Steifigkeitsverhältnisse als aussteifender Kern für die Maschinenhalle dient. Aus diesem Grund wurde bei dem KW Coolkeeragh ein 3-D FE-Modell des Schaltwartengebäudes erstellt (Abbildung 13).

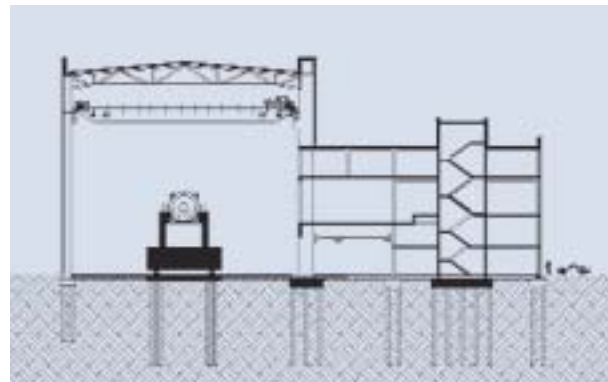


Abbildung 12: KW Coolkeeragh, gemeinsamer Querschnitt durch die Maschinenhalle und das Schaltwartengebäude

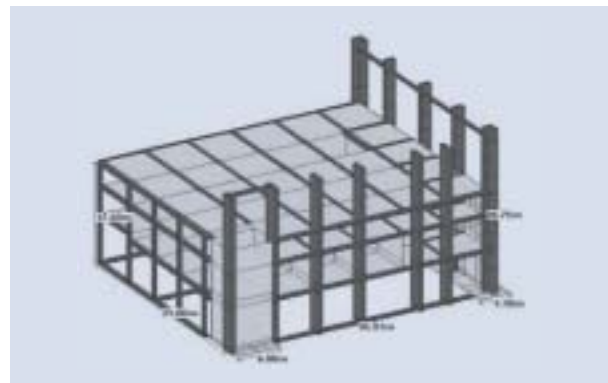


Abbildung 13: FEM-Modell des Schaltwartengebäudes KW Coolkeeragh (FE-Programm STAAD Pro)

6.5 Kessel- und Kaminfundamente

Im Kessel (englisch HRSG – Heat Recovery Steam Generator) wird mit den heißen Abgasen der Gasturbine Dampf für den Betrieb der Dampfturbine erzeugt. Üblicherweise wird der Kessel von einem Hauptgerüst aus 6 oder 8 Stahlstützen getragen. In Erdbebengebieten wird oftmals das Stahlbetonfundament einige Meter unter Niveau gelegt, um mit der Auflast des Erdreiches wirtschaftlich den hohen Kippmomenten entgegenzuwirken. Je nach Projekt wird der Kessel mit einer Einhausung versehen oder auch freistehend gelassen. Als Fundierung ist eine steife Bodenplatte und/oder eine Pfahlgründung erforderlich, um die vorgeschriebenen, strengen Grenzwerte der Differenzsetzungen einzuhalten (Abbildung 14).

6.6 Kühlwassereinlaufbauwerk

Um den notwendigen Dampf für den Betrieb der Dampfturbine zu erzeugen, ist Kühlwasser erforderlich. Aus diesem Grund werden Kombikraftwerke in der Nähe von Flüssen mit ausreichenden Wasseraufkommen oder dem Meer errichtet. Das Kühlwasser wird mit vertikalen Tauchmotor-



Abbildung 14:
Kessel und Kamin
mit zugehöriger
Fundierung
(KW Csepel II in
Budapest)

pumpen mit Axialpropeller angesaugt und weitergepumpt. Deshalb ist eine Pumpenkammer mit einer Tiefe von 7-8 m unter Niveau erforderlich. Diese Pumpenkammer wird aus Stahlbeton ausgeführt. Über Niveau wird in der Regel eine Stahlhalle mit Kränen zur Wartung der Pumpen vorgesehen.

Die temporären Maßnahmen zur Sicherung der Baugrube sind oftmals schwierig, bedingt durch die Nähe zum Wasser. Verschiedene Möglichkeiten wie rückverankerte Schlitzwände, die nachträglich in die endgültigen Bauwerkswände integriert werden, oder Spundwände mit entsprechenden Abstützungen sind möglich. Die Nähe zum Wasser birgt immer ein gewisses Risiko, so wie z.B. bei dem KW Csepel II in Budapest, wo durch einen unerwartet hohen Wasserstand der Donau die Baugrube fast geflutet wurde (Abbildung 15).



Abbildung 15: Fast geflutete Baugrube des Kühlwassereinführungsbauwerks (KW Csepel II in Budapest)

6.7 Andere Bauwerke

Ein wichtiges Element eines Kombikraftwerkes ist das Wasseraufbereitungsgebäude mit den zugehörigen Wassertanks. Insbesondere in Erdbebengebieten muss auf die Fundierung der \varnothing 25 m und bis zu 20 m hohen Tanks besonders geachtet werden. Die Tanks werden in der Regel auf ein Ringfundament aus Stahlbeton gesetzt und mit massiven Bolzen verankert (Abbildung 16).



Abbildung 16: Wasseraufbereitungsgebäude und Tankfundamente, im Hintergrund das Kühlturmbecken (KW Ankara)

In den Kühltürmen wird das Wasser abgekühlt, bevor es wieder in den Kühlwasserkreislauf eingespeist wird. Die Kühlturmbecken aus Stahlbeton sind als wasserdichtes Bauwerk auszuführen, wobei bei Anlagen am Meer auch darauf zu achten ist, dass der Beton meereswasserbeständig ist. Um Schwindrisse zu verhindern, ist schachbrettartig abschnittsweise zu betonieren, wobei an den Arbeitsfugen Fugenbänder vorzusehen sind (Abbildung 17).



Abbildung 17: Bodenplatte des Kühlturmbeckens (KW Thessaloniki)

7 ZUSAMMENFASSUNG

Die Bauplanung von Kombikraftwerken stellt den Bauplaner vor eine große Herausforderung. Die Vielfalt der zu lösenden Aufgaben erfordern Kenntnisse in fast allen Sparten des Bauingenieurwesens. Die kurze Bauzeit setzt alle Beteiligten unter großen Druck – eine pragmatische, lösungsorientierte Zusammenarbeit aller Parteien ist notwendig. Unterschiedliche Vorschriften und lokale Gegebenheiten wie z.B. Erdbeben erfordern ein Einarbeiten in die Planungsgepflogenheiten des betreffenden Landes, um nachher Schwierigkeiten mit Behörden und Prüfingenieuren zu vermeiden. In dieser Hinsicht stellt die Einführung der EUROCODEs eine Verbesserung und Vereinfachung dar.

Wenn auch nur im europäischen Raum, stellen die unterschiedlichen Sprachen und Mentalitäten noch immer eine wesentliche Barriere dar. Aber genau dieser Umstand ist der besondere Reiz der Bauplanung im Ausland – und macht jedes Projekt zu einem einmaligen Erlebnis.

LITERATUR

- [1] Uzunoglu, T.; Özdemir, H.: Ankara Combined Cycle Power Plant, Turkey. Structural Engineering International, 2004.
- [2] Nesitka, W.; Uzunoglu, T.: Cespel II Combined Cycle Power Plant. Structural Engineering International, 2002.
- [3] Türkische Erdbebennorm: Specification for Structures to be Built in Disaster Areas, Ministry of Public Works and Settlement, Government of Republic of Turkey, 1998.
- [4] Griechische Erdbebennorm: EAK 2000 Greek Code for Seismic Resistant Structures, 2004.
- [5] DIN 4024, Teil 1: Maschinenfundamente, Elastische Stützkonstruktionen für Maschinen mit rotierenden Massen, 1988.
- [6] VDI 2056: Beurteilungsmaßstäbe für mechanische Schwingungen von Maschinen, 1964.
- [7] ISO 10816: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts, 1995.