

Zwei Stationen der Taipei-U-Bahn: besondere Merkmale der Statik und der konstruktiven Ausbildung

Autor(en): **Gygax, A.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **110 (1992)**

Heft 40

PDF erstellt am: **22.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-77961>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

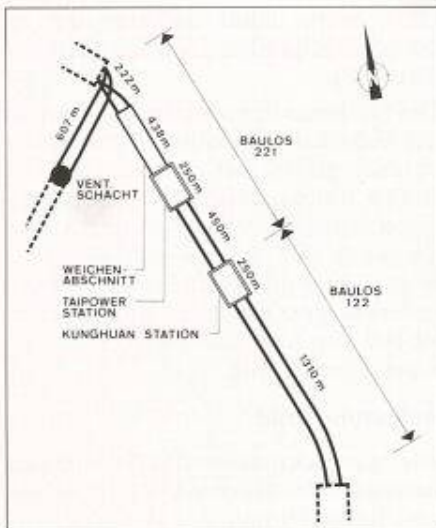


Bild 3. Untergrundbahn Taipei; Das Projektionslos 160

haben doch die Argumente zugunsten einer im Bau teureren, auf lange Sicht jedoch preisgünstigeren Lösung überwogen.

Die Wahl der Baumethode

Der nächste wichtige Entscheidungsschritt betrifft die Wahl der geeigneten Baumethode unter Berücksichtigung einschneidender Randbedingungen. Taipei ist gekennzeichnet durch einzelne Hauptverkehrsadern, auf denen der Verkehr 8- bis 10spurig 24 Stunden im Tag ununterbrochen pulsiert. Naturgemäss konzentriert sich das Geschäftsleben entlang dieser Achsen, welche auch für den Bau der Stationen einer Untergrundbahn geradezu prädestiniert sind. Da es für diese Achsen keine Umfahrungsmöglichkeiten gibt, dürfen sie während der Bauarbeiten nicht gesperrt werden. Pro Bauetappe werden höchstens 11 m Breite zugestanden. Mi-

nimierung der Immissionen und des Zusatzverkehrs sowie Verkürzung der Bauzeiten sind weitere Gebote der Zeit. Die Ingenieurgesellschaft hat schliesslich die Fertigstellung des Aushubes mit anschliessendem Bau der Struktur von unten nach oben vorgeschlagen und das Vorgehen wie folgt begründet:

- Die Methode wird öfters angewendet, und die einheimischen Bauunternehmungen haben bereits diesbezügliche Erfahrungen.
- Fahrbahn über der Baugrube in Etappen ist einfach und erprobt.
- Die Decke über der Station kann in einer Etappe unter Vermeidung von Längsfugen betoniert werden. Ein Vorgehen von oben nach unten bedingt die Betonierung der Decke in drei Etappen mit Problemen in Armierung, Isolation und Verkehrsführung.
- In der provisorischen Fahrbahn ist auf die ganze Länge der Station eine 8 m breite Öffnung mit einem schiennengebundenen Portalkran zur Sicherstellung einer einfachen Ver- und Entsorgung der Baustelle geplant.
- Das Vorgehen bietet einwandfreie Voraussetzungen für die Applikation der wasserdichten Isolation beim Aufbau der Zweischalenkonstruktion.
- Die Lösung der Bauventilation ist einfach und zugunsten der Arbeitsqualität dank besserer Arbeitsplatzbedingungen.

Statik und Konstruktion der Stationen sowie der Tunnelbau werden durch die zuständigen Fachspezialisten in separaten Abrissen detailliert behandelt. Dabei werden auch konventionell auf-

gefahrene und konventionell gesicherte Tunnelabschnitte unter den Titel NATM gestellt, weil die Berechnung des Ausbaues nach den Grundsätzen der Neuen Österreichischen Bauweise erfolgt.

Die Bearbeitung derartiger Projekte innerhalb einer in beinahe jeder Beziehung heterogenen Ingenieurgesellschaft mit einem Team aus den USA als Generalplaner macht den Auslandeinsatz unserer Ingenieure immer wieder zu einer äusserst wertvollen Herausforderung. Die Bearbeitung von 1800 Plänen und die Erstellung von Berichten in einer dichten Folge von penalen-behafteten Terminen unter Anwendung modernster CAD Soft- und Hardware bedeutet eine einmalige Erfahrung. Das erfolgreiche Erarbeiten gemeinsamer Ziele mit Menschen anderer Kultur, anderer Rasse und Herkunft, anderer Religion und Sprache, anderer Denk- und Arbeitsweise stellt auch menschlich eine echte Bereicherung dar. Die Ingenieure aus Taiwan haben wir jedenfalls als ausgesprochen arbeitssam, lernhungrig und lernfähig, einsatzbereit, freundlich und hilfsbereit erlebt.

Die Bauarbeiten für die Realisierung dieses enormen Projektes laufen bereits auf Hochtouren. Die «Mini Metro» soll bereits im Jahre 1993 den Betrieb aufnehmen. Es bleibt zu hoffen, dass durch die finanziellen Engpässe in der Schweiz unsere erfahrenen Unternehmungen ihr Interesse doch noch nach dem Fernen Osten richten werden. Jedenfalls werden die nun anlaufenden Baustellen auf Taiwan das Interesse der technischen Welt auf sich konzentrieren.

Adresse des Verfassers: A. Schatzmann, dipl. Ing. ETH/SIA, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG., Postfach, 8034 Zürich.

Zwei Stationen der Taipei-U-Bahn

Besondere Merkmale der Statik und der konstruktiven Ausbildung

Als Bestandteil der Phase 1 der Taipei-U-Bahn, liegt das Los 160 im Südwesten der Stadt in direkter Nähe der National Taiwan University. Das Los umfasst zwei doppelstöckige unterirdische Stationen sowie Doppelrohrtunnels von ca. 2,7 km Länge. Dieser Bericht befasst sich mit einigen Besonderheiten der Bemessung der beiden Stationen.

Situation

Die beiden Stationen des Projektionsloses sind ähnlich ausgelegt. Die Hauptblöcke umfassen zwei unterirdische Etagen: ein Perrongeschoss und

ein Hallengeschoss, wo sämtliche Dienststellen untergebracht werden. Zu den Hauptblöcken, welche die ganze Strassenbreite beanspruchen, sind Eingangs- und Lüftungstrakte angegliedert, die zum Teil in Neubauten einverleibt werden. Die Hauptblöcke sind zwi-

schen 19,5 m und 24 m breit, ca. 250 m lang, und deren Oberkante liegt in 3 bis 5 m Tiefe. Die allgemeine Lage der Stationen zeigt Bild 1.

VON A. GYGAX, ZÜRICH

Baumethode

Für die Hauptblöcke der Stationen wurden sowohl eine offene Bauweise als auch die Deckelbauweise erwogen sowie verschiedene Wandabschlussarten (Rühlwand, Schlitzwand, Sekantenwand usw.). Als Hauptkriterien galten bei der Beurteilung nebst den üblichen bei solchen Bauten die folgenden:

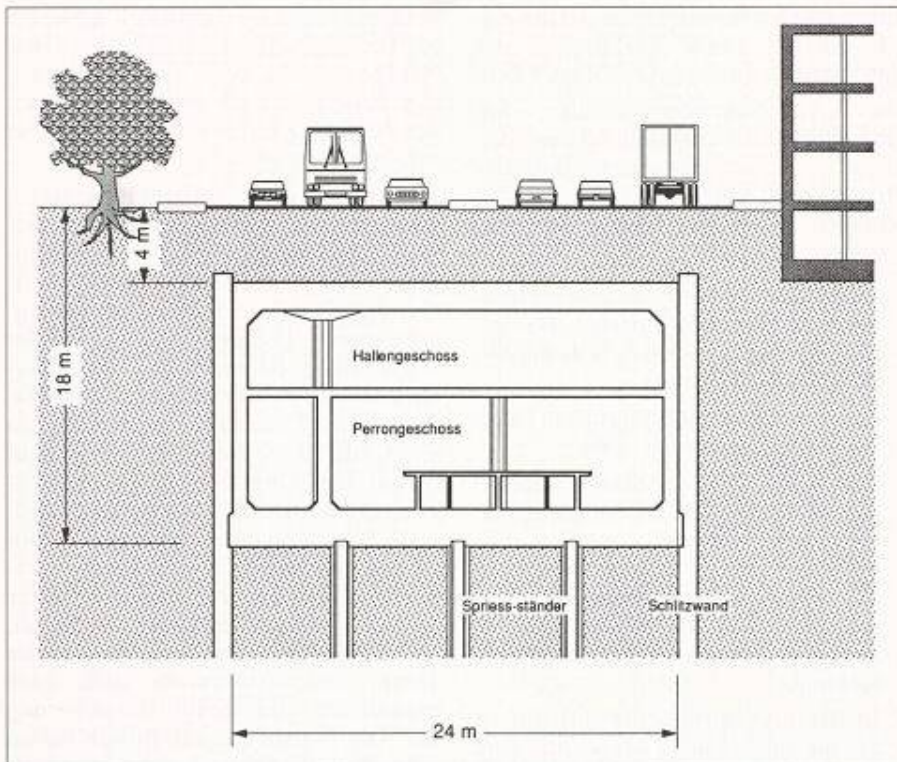


Bild 1. Lage des typischen Stationsquerschnittes

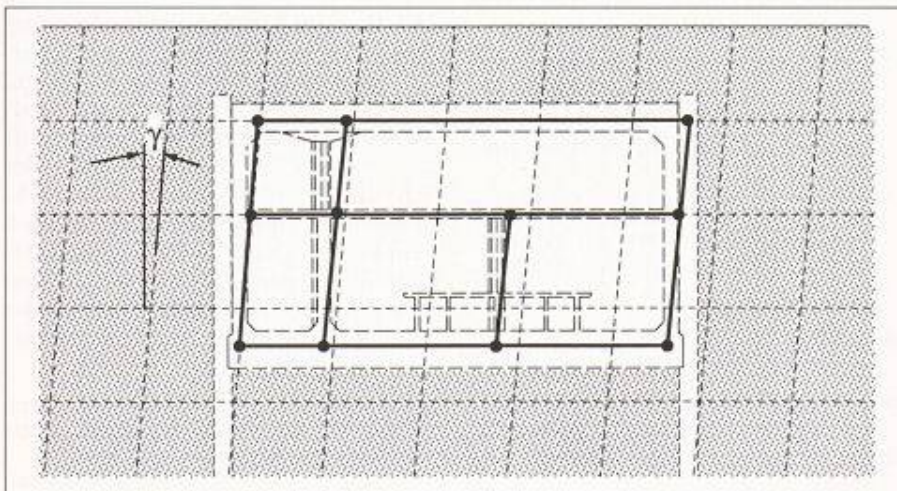


Bild 2. Recken infolge einer seismischen Scherwelle mit Verformungswinkel

- Die Aufrechterhaltung des Strassenverkehrs
- Geringe Einflüsse auf die zum Teil hohen benachbarten Bauten, wovon bei einigen die Bausubstanz in besorgniserregendem Zustand ist
- Statisches Verhalten, besonders unter Erdbebeneinwirkung.

Die Wahl fiel zugunsten der offenen Bauweise mit Schlitzwänden aus. Als provisorische Fahrbahn für den Strassenverkehr ist eine Stahlabdeckung vorgesehen. Zugang zu der Baugrube erfolgt durch eine Öffnung in der Mitte der Abdeckung.

Aus statischer Sicht erleichtert die offene Bauweise das Beibehalten der Kontinuität der Struktur. Besonders die Verbindungen zwischen Decken und Wände sind somit vereinfacht gegen-

über denjenigen, die bei der Deckelbauweise erforderlich sind. Dies ist vor allem für das Verhalten unter Erdbebeneinwirkung wichtig.

Berechnung der Stationen

Grundlagen

Als Grundlage zur Berechnung der Stationen galten die amerikanischen Normen, insbesondere die Betonnorm des American Concrete Institute, Ausgabe 1983 (ACI 318M-83) [1]. Inzwischen ist die Ausgabe 1989 dieser Norm erschienen, die hier aufgeführten Bemerkungen gelten auch bei der neueren Ausgabe. Zudem galt die Berechnungsrichtlinie «Civil Engineering Design Manual» (CEDM) des General Consul-

tants, worin unter anderem die zu berücksichtigenden Lastfälle definiert waren [2].

Die Stationen liegen in den Alluvionen der Sungshan-Formation. Diese ist horizontal geschichtet und besteht aus Böden, welche die ganze Bandbreite tonigen Schluffs bis mittelkörnigen Kiesel umfassen. Der Grundwasserspiegel bewegt sich im allgemeinen einige Meter unterhalb der Oberfläche, kann aber bis zu 600 mm über diese steigen (Überschwemmungsfall).

Belastungsbild

Die zu berücksichtigenden Belastungen umfassten das für eine Untertagestation übliche Spektrum:

- Eigengewicht
- Auflast durch überlagernde Erde
- Auflast infolge Oberflächennutzung (z.B. Strassenverkehr)
- Erdseitendruck
- Seitendruck infolge Gebäude und Oberflächennutzung
- Seitendruck infolge Grundwasser
- Auftrieb infolge Grundwasser
- Innere Nutzlast infolge Passagiere
- Innere mechanische Bodenlasten
- Nutzlast infolge Zugkomposition

Zusätzlich zu den oben erwähnten statischen Lasten kam noch die Erdbebenbeanspruchung. Gemäss dem CEDM wurden ein Betriebserdbeben sowie ein Maximalerdbeben definiert. Für die Untertagebauten waren insbesondere die Einwirkungen einer seismischen Scherwelle zu untersuchen. Da der Stationsquerschnitt zum Boden relativ flexibel ist, verursacht ein Erdbeben ein Recken des Stationsquerschnittes (Bild 2).

Beim Betriebserdbeben, genannt «Operating Design Earthquake (ODE)», sollte das elastische Verhalten aller Tragwerke gewährleistet bleiben. Beim Maximalerdbeben, genannt «Maximum Credible Earthquake (MCE)», sollte die Bildung eines Einsturzmechanismus, auch Kollapsmechanismus genannt, verhindert werden.

Statisches System

Der Normalquerschnitt wurde mittels des im Bild 3 dargestellten Systems berechnet. Als besonderes Problem galt die Auflagermodellierung, da der Querschnitt sowohl durch die Schlitzwand als auch die Bettung der Bodenplatte fundiert ist. Zudem verlangt die Baumethode, dass die Spriessständer (2 bis 3 Reihen in der Querrichtung) in der Bodenplatte bleiben. Somit ist also auch ein gewisses Mass von Punktauflagerung der Bodenplatte vorhanden.

Um die genauen Auflagerbedingungen des Systems definieren zu können, wurde das Zusammenspiel

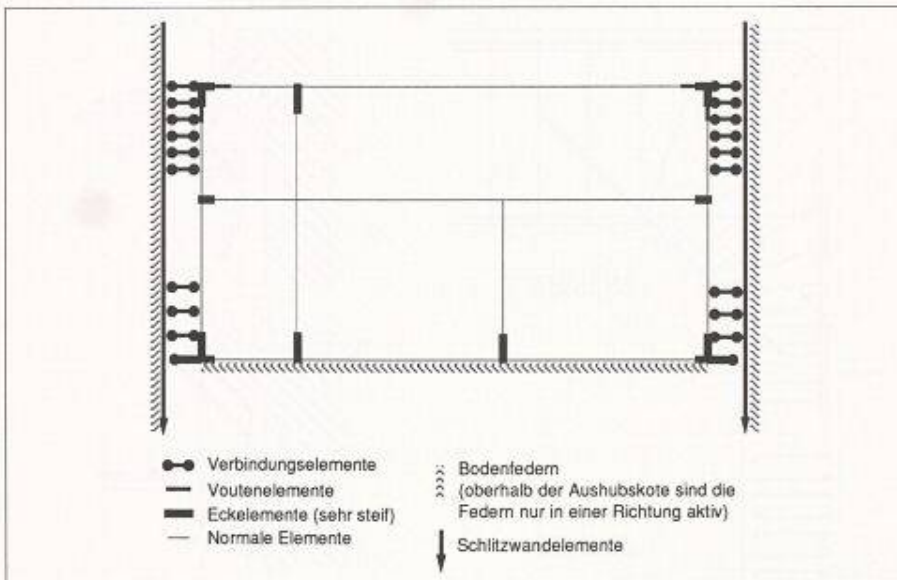


Bild 3. Statisches System

Boden/Schlitzwand sowie Boden/Spriessständerpfahl untersucht. Falls die Bettung der Bodenplatte weich ist, treten relativ grosse Setzungen ein, und Spriesspfähle wie Schlitzwand werden voll als Auflager mobilisiert. Falls die Bettung sehr steif ist, sind Spriesspfähle und Schlitzwand als Auflager kaum von Bedeutung. Da eine volle Mobilisierung der Spriesspfähle und der Schlitzwand als Auflager nur bei Setzungen von ca. 10 bis 20 mm oder mehr eintritt, liegt zwischen diesen beiden Extremgrenzen der realistische Fall, wo nur ein Teil der Mantelreibung beansprucht wird (Bild 4). Eine Parameterstudie zeigte, dass im allgemeinen die Bodenplattenbettung als Auflagerbedingung überwiegt, da die Böden relativ hohe Werte für die Bettungsziffer aufweisen ($k_b = 40 \text{ MN/m}^3$). Für den Auftriebfall (Endzustand mit höchstmöglichem Wasserspiegel) wurden die Schlitzwände als Gegengewicht mitgerechnet. Zu diesem Zweck ist der Stationskasten mittels eines Nocken mit der Schlitzwand verbunden.

Für die Aufnahme von Seitendrücken wurde das Mitwirken der Schlitzwände voll berücksichtigt. Bis zum letzten Bauzustand, entsprechend der Fertigstellung der Dachplatte, wirkt Seitendruck aus Boden, Auflast und Wasser direkt auf die Schlitzwand. Wo durch das Verformungsbild der Kontakt zwischen Schlitzwand und Stationseitenwände erhalten bleibt, werden Druckspannungen an die Station übergeben. Im Endzustand wirkt der Wasserdruck direkt auf die Stationseitenwände, und die Schlitzwände tragen nur noch einen Teil des Bodendruckes mit. Die Wechselwirkung Schlitzwand/Stationseitenwand wurde durch sehr steife Verbindungselemente modelliert, wobei mittels eines iterativen Verfahrens nur die

jenigen Verbindungselemente aktiv bleiben, die Druckkräfte übertragen.

Der Berechnungsablauf gemäss dem Grenzzustandsverfahren

Die Grenzzustände

Die Berechnung erfolgte nach dem sogenannten Grenzzustandsverfahren (Limit States Design), das auch dem neuen SIA-Normenwerk zugrunde liegt. Die folgenden massgebenden Grenzzustände wurden identifiziert und untersucht:

- Bauzustände
- Durchbiegung
- Undurchlässigkeit
- Feuerbeständigkeit
- Gesamtstabilität (Auftrieb)
- Tragfähigkeit im Betrieb
- Elastisches Verhalten während des Betriebserdbebens ODE
- Kollapsverhinderung während des Maximalerdbebens MCE

Für jeden Grenzzustand mussten die massgebenden Lastkombinationen gerechnet werden, wobei gemäss dem Leit-/Begleitfahrprinzip verschiedene Lastfaktoren angesetzt werden. Die letzten zwei genannten Grenzzustände werden nun etwas weitergehend beschrieben, da sie nicht alltäglich sind.

Elastisches Verhalten während des Betriebserdbebens

Wie oben erwähnt, verlangt die Bemessungsrichtlinie CEDM bei einem Betriebserdbeben ODE ein «elastisches» Verhalten der tragenden Elemente, wobei an kritischen Stellen je nach Armierungsausbildung (Duktilitätsreserve) Momentumlagerungen bis zu 20% erlaubt sind. Somit wurde der ODE-Fall zusammen mit dem Trag-

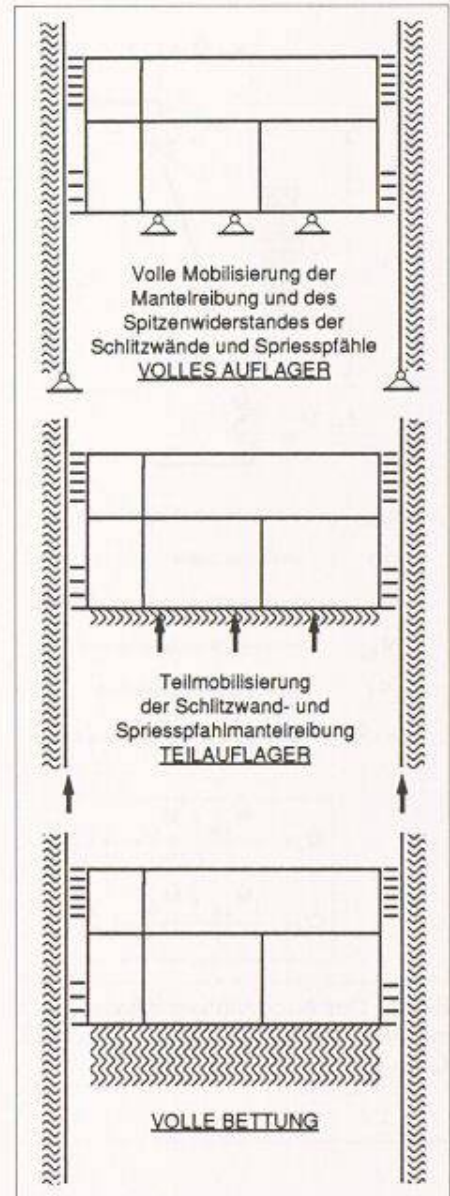


Bild 4. Auflagerbedingungen

fähigkeitsfall behandelt, indem diese beiden Grenzzustände überlagert und die Elementquerschnitte auf die resultierenden Momente und Normalkräfte dimensioniert wurden.

Die Querkräfte wurden nach dem Kapazitätsbemessungs-Verfahren (Capacity Design Method) bemessen [3]. Hiermit gilt der Grundsatz, dass ein duktiler Mechanismus des statischen Systems immer gewährleistet sein muss und somit der duktile Biegebruchmechanismus vor dem spröden Scherbruchmechanismus aufzutreten hat. Dadurch muss der Scherwiderstand immer grösser sein als die durch das Bilden eines Biegebruchmechanismus auftretenden Querkräfte. Dieses Prinzip ist am vereinfachten Mechanismus im Bild 5 erläutert. Somit muss in jedem Querschnitt genügend Querarmierung vorhanden sein, um Q' aufzunehmen. Gleichzeitig muss natürlich geprüft werden, ob die Querkraft aus der elasti-

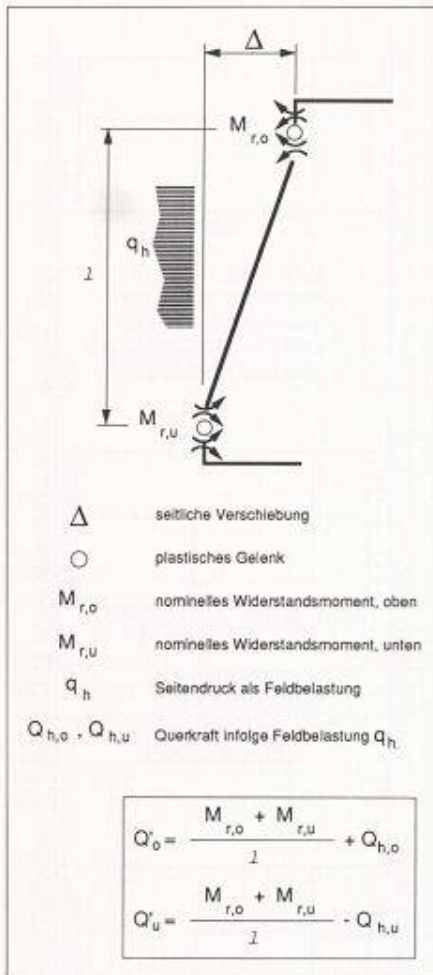


Bild 5. Das Kapazitätsverfahren zur Ermittlung der rechnerischen Querkraft, Q'

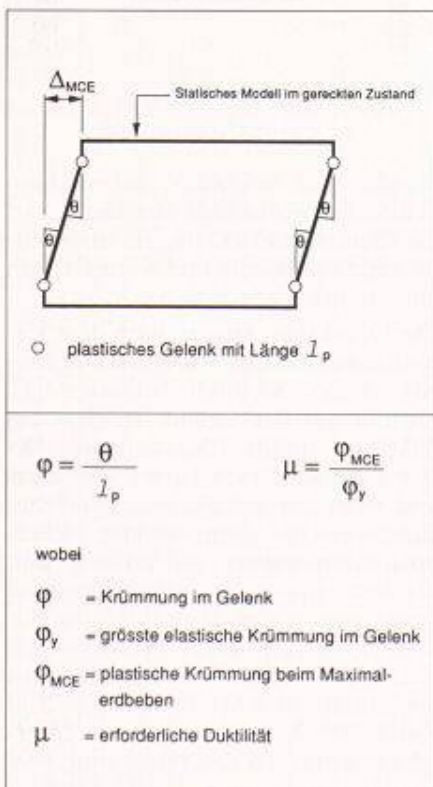


Bild 6. Erforderliche Duktilität infolge Maximalerdbeben (MCE)

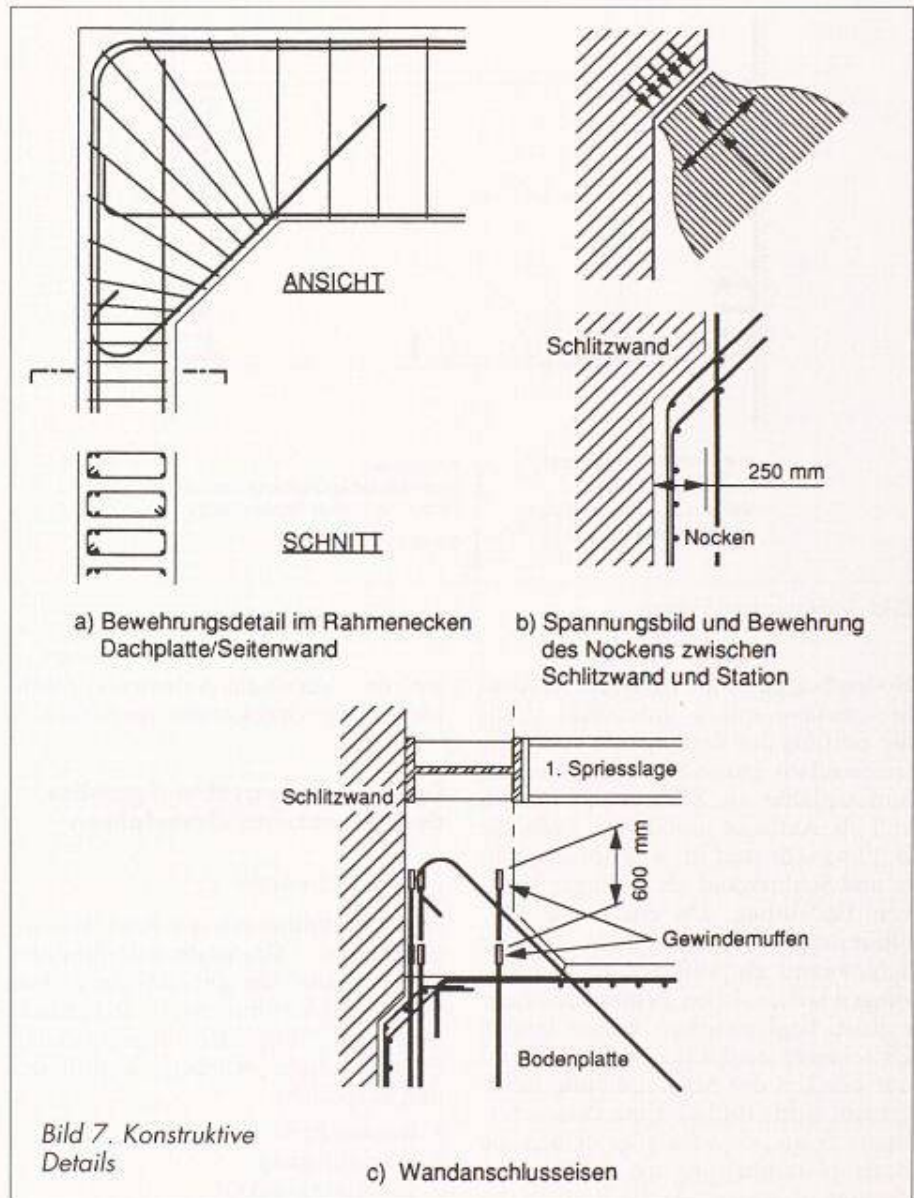


Bild 7. Konstruktive Details

schen Berechnung auch überall abgedeckt ist.

Die nominellen Widerstandsmomente werden anhand der gewählten Armierung berechnet, wobei ein gewisses Mass von Dehnungserhärtung bei der rechnerischen Stahlspannung berücksichtigt werden muss. Gemäss der Norm ACI 318M-83 wird dadurch das nominelle Widerstandsmoment mit einer rechnerischen Stahlspannung von $f_s = 1.25 f_y$ ermittelt.

Kollapsverhinderung während des Maximalerdbebens

Als letzter Schritt im Bemessungsablauf muss der Kollaps Grenzzustand (Collapse Limit State), mit dem Maximalerdbeben MCE als Leitgefahr in den Lastkombinationen, untersucht werden. Um die Zonen identifizieren zu können, wo die Gefahr einer plastischen Gelenkbildung besteht, wurde die MCE Lastkombination zuerst beim elastischen Modell angesetzt. Mit einem ite-

rativen Verfahren wurden dann bei den kritischen Punkten plastische Gelenke mit den entsprechenden Kapazitätsmomenten eingesetzt und das entstehende plastische Modell gerechnet. Als Bemessungsziele galten dann:

- Das Verhindern eines Kollapsmechanismus (z.B. durch Gelenkbildungen an beiden Feldrändern und in der Feldmitte)
- Die Gewährleistung von ausreichender Duktilitätsreserve in den plastischen Gelenkzonen.

Das erste Ziel konnte leicht mit etwas Zusatzarmierung in Feldmitte erreicht werden.

Das zweite Ziel kann nur mit einer gut ausgebildeten Umschnürungsarmierung erreicht werden. Die Norm ACI 318M-83 enthält ein Kapitel zum Thema konstruktive Ausbildung von Querschnitten mit seismischen Beanspruchungen, das sich jedoch hauptsächlich mit Hochbauten befasst, wo die erforderliche Duktilität schwer

Literatur

- [1] American Concrete Institute, Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318M-83)
- [2] Department of Rapid Transit Systems, Taipei Municipal Government, Civil Engineering Design Manual, Revision 4, July 1988
- [3] *Paulay, Thomas*: Deterministic Design Procedure for Ductile Frames in Seismic Areas, ACI SP-63: Reinforced Concrete Structures Subjected to Wind and Earthquake Forces, pp 357-381 American Concrete Institute, Detroit, 1980
- [4] *Park, Robert, Paulay, Thomas*: Reinforced Concrete Structures, John Wiley & Sons, New York, 1975
- [5] *Dowrick, David J.*: Earthquake resistant design for engineers and architects, John Wiley & Sons, New York, 1987

zu bestimmen ist. Im Gegensatz zu einem Hochbau, wo aufgezwungene Trägheitskräfte aufzunehmen sind, muss der Untertagbau eine für das Bemessungserdbeben bestimmte aufgezwungene Deformation aufnehmen. Somit kann für den Untertagbau die aufgezwungene Duktilität im Gegensatz zum Hochbau relativ genau bestimmt werden. Bild 6 zeigt das Prinzip der Bestimmung der erforderlichen Duktilität μ . Da die Duktilitätsbeanspruchung für das MCE somit festlag, konnte die Armierungsausbildung der plastischen Gelenkzonen analytisch bemessen werden statt den zum Teil sehr konservativen konstruktiven Bestimmungen der Norm zu folgen.

Besondere konstruktive Überlegungen

Um die Philosophie des erdbebengerechten Konstruierens zu illustrieren, werden zum Schluss noch einige der vielen Ausbildungsdetails erwähnt.

U-Bahn Taipei

Geologische und geotechnische Verhältnisse und die Projektierung der Tunnelabschnitte

Regionale Betrachtung

Das Becken von Taipei liegt im nördlichen Teil von Taiwan und umfasst ein Gebiet von etwa 220 km². Die Entwässerung erfolgt durch drei Hauptflüsse, dem Ta-Han, dem Hsintien und dem

Rahmenecken

Als besonders empfindliche Zonen galten die Ecken des Stationsquerschnittes. Infolge der Erdbebenbeanspruchung sind in diesen Rahmenecken sowohl öffnende wie auch schliessende Momente zu erwarten. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit einer plastischen Gelenkbildung in diesen Zonen gross. Es galt also eine Verbügelung für die Querkräfte mit einer sauberen Umschnürung des Betons zu kombinieren. Ferner muss in der Ecke die durch die öffnenden Momente entstehende Abplatzungskraft zurückgebunden werden. Um einen möglichst einfachen Armierungsvorgang zu gewährleisten, entschied man sich für eine Anordnung von geschlossenen Bügeln (Bild 7a). Die in vertikaler Richtung verlaufenden Bügel umschnüren immer dieselben Eisen. Sie können somit vorgängig über die Anschlusseisen gestülpt und dann nach dem Verlegen der Eckarmierung gerichtet werden.

Nocken

Da der Nocken wegen Auftriebs einen beträchtlichen Teil des Schlitzwandgewichtes übertragen muss, entstehen quer zur Druckspannung beträchtliche Spaltzugspannungen. Das erforderliche Armierungsdetail ist im Bild 7b dargestellt.

Armierungsstösse

Laut der Norm ACI 318M-83 dürfen in einer plastischen Gelenkzone keine Überlappungsstösse auftreten, es sei denn mechanische Verbindungsmuffen werden verwendet, die jedoch um 600 mm gestaffelt werden müssen. Das Schweißen der Armierung ist aus Versprödungsgründen nicht zulässig. Das resultierende Detail (Bild 7c) erwies sich sogar als vorteilhaft, da damit im Rückbauzustand einem möglichen Konflikt mit der untersten Spriesslage ausgewichen wurde.

Sicher erscheinen solche Details besonders jenen Fachleuten als beinahe über-rissen, die mit dem Bauen in Erdbebengebieten wenig vertraut sind. Durch das genaue Ermitteln der Duktilitätsanforderung (Umschnürungsanspruch!) und der aus dem Mechanismus entstehenden Querkräfte (Querarmierungsanspruch!) konnte aber eine wesentlich leichtere Bügelarmierung gewählt werden, als die Norm ACI 318M-83 es verlangt hätte. Als Referenzen für das erdbebengerechte Konstruieren kann der Verfasser vor allem die Werke von Park und Paulay [4] sowie Dowrick [5] empfehlen.

Schlussbemerkungen

Das Projektieren in fremden Ländern konfrontiert den schweizerischen Ingenieur nicht nur mit fremden Denkweisen und Kulturen, sondern auch mit ungewohnten Belastungsarten, wie zum Beispiel starken Erdbeben. Die folgenden zwei Grundsätze tragen aber viel dazu bei, dass auch bei solchen fremden Randbedingungen die Berechnung zur Routine wird:

- Das Grenzzustandsverfahren bietet eine rationelle und übersichtliche Bemessungsmethode, besonders für Bauten mit vielen Lastfällen.
- Die Normen, in diesem Fall die ACI 318M-83, sind zwangsläufig konservativ und allgemein ausgelegt, vor allem in ihren konstruktiven Bestimmungen. Durch eine präzise Berechnungsweise, die ein genaues Verstehen der Grundannahmen verlangt, kann oft die Bemessung den realen Gegebenheiten angepasst, und es können dadurch die konstruktiven Details vereinfacht werden.

Adresse des Verfassers: A. Gyax, Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG, Postfach, 8022 Zürich.

Tafelland umrahmen die Stadt. Das Becken von Taipei ist überwiegend mit quartären Sedimenten gefüllt. Zwischen der etwa 1-6 m mächtigen Deckschicht aus organischer Substanz oder

VON BERND STROBL,
SALZBURG

Auffüllung und dem tertiären Basisgebirge können drei Hauptbodenformationen unterschieden werden.

Die Sungshan-Formation erstreckt sich bis zu einer Tiefe von ungefähr 35 bis