Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 97 (1979)
Heft: 25

Artikel: Sperrbeton oder elastische Grundwasserisolation?
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85493

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

entsprechen den Umhüllenden der theoretischen Berechnungsregen variabler Dauer. Das beanspruchte *Speichervolumen* und der *Zeitpunkt des maximalen Staues* lassen sich aus der Darstellung herausmessen.

Die massgebenden Niederschlags- und Speicherfälle sind in Tabelle 6 dargestellt. Folgende drei Konstellationen sind wesentlich:

Fall A: Extreme Niederschlagsereignisse bei ungehindertem, rückstaufreiem Kanalisationsabfluss in die Glatt.

Fall B: Extreme Niederschläge gleichzeitig mit Glatthochwasser; Rückstauklappen geschlossen; Entwässerungspumpen in Funktion.

Fall C: *Notfall*
Extreme Niederschläge gleichzeitig mit Glatthochwasser; Rückstauklappen geschlossen; Entwässerungspumpen defekt.

Wenn im Falle B zusätzlich die automatischen Rückstauklappen versagen, müssen sofort die manuellen Verschlüsse betätigt werden. Wird diese Notmassnahme nicht getroffen, so entsprechen die Verhältnisse dem Fall C, wobei aber noch die 100 m³ Speichervolumen des Regenbeckens wegen Füllung mit rückgespiesenem Glatt-Wasser verloren gehen.

Bild 31 und Tabelle 6 zeigen deutlich, dass mit dem gewählten Konzept äusserst seltene Niederschlagsereignisse beherrscht werden. Im Falle freien Abflusses zur Glatt können selbst 100jährige Regenereignisse in den Hofspeichern ausgeglichen werden. Bei geschlossenen Rückstauverschlüssen lassen sich Regenmengen, die durchschnittlich alle 20 Jahre einmal eintreten, noch ohne Retention in der Energiezentrale abführen. Im Fall C, wenn ein hundertjähriger Starkregen, Glatthochwasser und Pumpenausfall gleichzeitig einträten, würde die vorgesehene Speicherkapazität in der Energiezentrale in sechs Stunden erst zu etwa 70 Prozent beansprucht. Es bliebe also genügend Zeit, um eine externe Katastrophenhilfe zu mobilisieren.

Tabelle 6. Speicherbeanspruchung bei extremen Niederschlagsereignissen

	Speicher Nr.	Starkregen-Ereignis Z = Anz. Jahre				
		10	20	50	100	
Fall A Normale, ungehinderte Abflussbedingungen	①	100	100	100	100	s
		7	6	5	<5	f
	②	–	10	20	33	s
		–	8	10	17	f
	③	–	–	–	–	s
		–	–	–	–	f
Fall B Hochwasser in Glatt; Rückstauklappen zu; Pumpen in Betrieb	①	100	100	100	100	s
		7	6	5	< 5	f
	②	60	90	100	100	s
		50	58	30	22	f
	③	–	–	10	35	s
		–	–	65	75	f
Fall C Hochwasser in Glatt; Rückstauklappen zu; Pumpen defekt	①	100	100	100	100	s
		7	6	5	< 5	f
	②	100	100	100	100	s
		50	35	25	18	f
	③	25	35	50	70	s
		360	360	360	360	f

① = Kanalisation und Regenbecken
② = Höfe Nord und Süd
③ = Energiezentrale

s = Speicherbeanspruchung in % der Kapazität
f = Füllzeit in Minuten
Raster: Speicher voll beansprucht

Die effektiven Eintretenshäufigkeiten der einzelnen Überflutungsfälle

Die Wahrscheinlichkeiten gleichzeitiger Hochwasserereignisse in der Glatt und im Ableitungssystem des HKW sind schwierig zu erfassen. Ihre Bestimmung würde einen grossen Aufwand an statistischen Auswertungen und Modellrechnungen erfordern. Immerhin sind die folgenden *qualitativen* Aussagen möglich: Aufgrund der verschiedenen Einzugsgebiete (Grössenverhältnis 20 000:1) unterscheiden sich die beiden hydraulischen Systeme grundsätzlich. In der Glatt mit einem Einzugsgebiet von ca. 240 km² verursachen länger dauernde Starkregen die massgebenden Hochwässer, während die Kanalisation des HKW mit einem Einzugsgebiet von ca. 1,2 ha durch kurze Gewitterregen am stärksten belastet wird. Die Auswertung von Wetterlagen zeigt tatsächlich, dass die intensivsten Kurzregen (50- oder 100jährige lokale Gewitterregen) nicht mit allgemeinen Niederschlagsperioden zusammenfallen. Es ist demnach sehr wenig wahrscheinlich, dass ein solcher Gewitterregen in die Zeit geschlossener Rückstauklappen der HKW-Ableitung fällt (Fälle B und C, Tab. 6).

Die Häufigkeit der in Fall A beschriebenen Starkregenereignisse und die genannten Überflutungsfolgen entsprechen etwa den effektiven Eintretenswahrscheinlichkeiten. Die Notspeicher des HKW dürften im Durchschnitt alle 10–20 Jahre einmal teilweise beansprucht werden. Ein beschränkter Aufstau in der Energiezentrale ist höchstens alle 100 Jahre einmal zu erwarten. Noch seltener wird jenes Ereignis eintreten, da ein Wasserstand von 20 cm in der Energiezentrale erreicht wird.

Sperrbeton oder elastische Grundwasserisolation?

Die Fundationsfläche der Energiezentrale liegt 6 m unter dem abgesenkten und mit den Entlastungsstutzen konstant gehaltenen Grundwasserspiegel. Die Bodenplatte und die Aussenwände sind demnach gegen eindringendes Grundwasser zu isolieren.

Der Grundsatzentscheid zugunsten einer der beiden Isolationsarten, Sperrbeton oder elastische Isolation, fusst nicht nur auf der Beurteilung der ingenieur- und ausführungstechnischen Aspekte und der Kosten. Eine ebenso grosse Rolle spielt der verlangte *Trokkenheitsgrad* im Gebäudeinnern. Beim Heizkraftwerk darf die Funktionssicherheit der elektrischen und maschinellen Installationen durch eindringende Feuchtigkeit nicht beeinträchtigt werden; eine «staubtrockene» Oberfläche wird aber nicht verlangt.

Die Bodenplatte der Energiezentrale ist 96×54 m gross. Ihre Dicke beträgt 110 cm, die der erdberührten Wände 60 cm bis 80 cm.

Kriterien für die Wahl des Isolationssystems

Für die Beurteilung der zwei zur Wahl stehenden Isolationsarten sind die folgenden Kriterien massgebend:

- *Kosten* (Baukosten, Pumpbetriebskosten, Reparaturaufwand bei Wassereintritten, evtl. Betriebsbehinderungen bei nachträglichen Reparaturen)

- geforderter *Trockenheitsgrad* der Innenflächen
- *Zeitaufwand* für die Bauausführung.

Eigenschaften der beiden Isolationssysteme

Bei der *elastischen Isolation* (Bild 32) ist die Wahrscheinlichkeit von Wassereintritten sicher kleiner als beim Sperrbeton. Immerhin können bei der grossen zu isolierenden Fläche durch Fehler beim Aufbringen der Isolation oder durch nachträgliche Beschädigungen Undichtheiten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Dies ist durch die Erfahrung bestätigt. Solche Undichtheiten sind meist sehr schwierig zu finden und zu reparieren, weil das Wasser mehr oder weniger weit entfernt vom Leck in der Isolation an der Gebäudeinnenfläche zutage tritt. Ferner verlängert das Aufbringen der elastischen Isolation und des Schutzbetons die Bauzeit der Energiezentrale um 1 bis 3 Monate, da die Arbeit witterungsabhängig ist und mehrere zusätzliche Arbeitsgänge bedingt.

Die Isolation mittels *Sperrbeton* (Bild 32) ist konstruktiv und in der Ausführung einfacher. Wohl muss das Zubereiten, das Einbringen und das Nachbehandeln des Betons besonders sorgfältig geschehen, doch kann diese Arbeit ohne zusätzlichen Unternehmer in kürzerer Zeit ausgeführt werden. Wassereintritte sind praktisch nicht zu vermeiden, aber die Undichtheiten sind leicht zu finden. Reparaturen sind eher erfolgversprechend als bei der elastischen Isolation.

Der Entscheidungsvorgang

Mit der Methode des Entscheidungsbaumes (Bild 33), der ein Hilfsmittel bei Entscheiden mit Unsicherheiten ist, wurde versucht, die wirtschaftlichere Isolationsart zu finden.

Der Bauherr sollte sich bewusst sein, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit feuchte und nasse Stellen im Gebäudeinnern auftreten werden. Deshalb ist es von Vorteil, ihn an diesem Entscheidungsvorgang zu beteiligen. Wenn er weiss, dass die Betriebssicherheit durch die zu erwartende Feuchtigkeit nicht beeinträchtigt wird, dass Reparaturen erfolgversprechend sind, dass er rund 400 000 Franken spart und dass die Bauzeit kürzer, bzw. die Zeitreserve grösser ist, sollte ihm der Entscheid nicht schwerfallen.

Technische Grundsätze und Massnahmen für den Sperrbeton

Zusammen mit den Grundsätzen, die beim Entwurf einer Sperrbeton-Isolation gelten, werden nachfolgend die beim Heizkraftwerk getroffenen Massnahmen erläutert.

- *Keine staubtrockene Innenfläche von Bodenplatte und Wänden.* Dies kann bei der Energiezentrale toleriert werden. Es ist ohnehin vorgesehen, dass die ganze Bodenplatte bei extremen Niederschlägen bis zu 20 cm hoch überflutet werden kann (siehe Kapitel über den Wasserhaushalt), ohne dass Schäden auftreten.
- *Abführen des eindringenden Wassers.* Die Bodenplatte der Energiezentrale hat ein Gefälle von 0,5% sowie ein System von Ablaufrinnen mit zwei Pumpensümpfen. Die Ablaufrinnen dienen zugleich zum Abführen des Tropfwassers der Maschinen.
- *Zugänglichkeit der Innenflächen für spätere Reparaturen.* Wasseraustrittstellen sollen nicht hinter Verkleidungen oder Einrichtungen versteckt sein.
- *Möglichst grosse Dichtigkeit des Betons («Sperrbeton»).* Der Wasser/Zement-Faktor wurde durch die Beigabe eines Plastifizierungsmittels reduziert. Damit wird das Schwindmass und folglich die Rissebildung vermindert.

Die Rissebildung kann auch mit der Wahl der Armierungsgehalte und der Anordnung der Armierung beeinflusst werden. Für die Bodenplatte wurde ein minimaler Armierungsgehalt von μ = 0,5 Prozent festgelegt. Aus statischen Gründen wäre dieser Wert zwar ohnehin kaum je unterschritten worden. Die

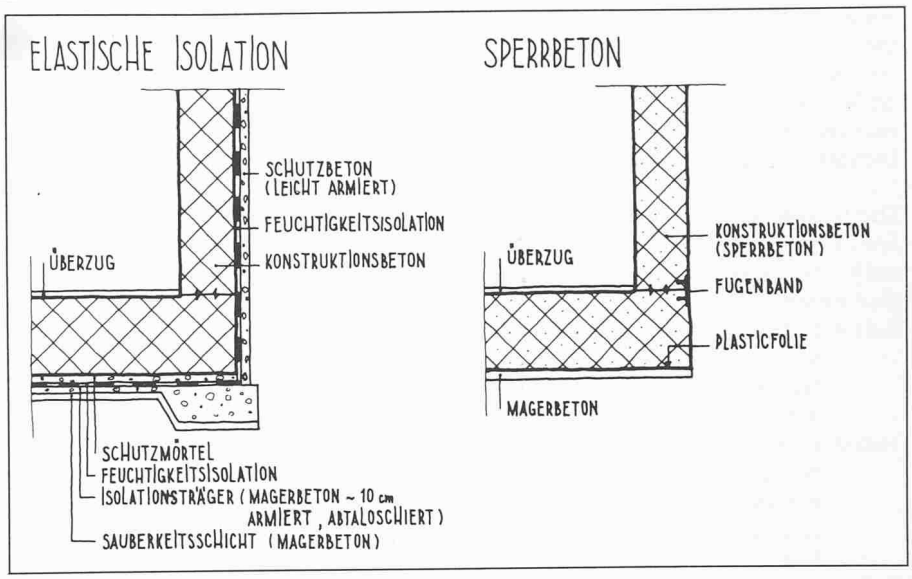


Bild 32. Zwei mögliche Lösungen für die Isolation gegen Grundwasser: Links mit Hilfe besonderer elastischer Isolationsschichten, rechts durch gezielte Verbesserung der Dichtigkeit des Betons

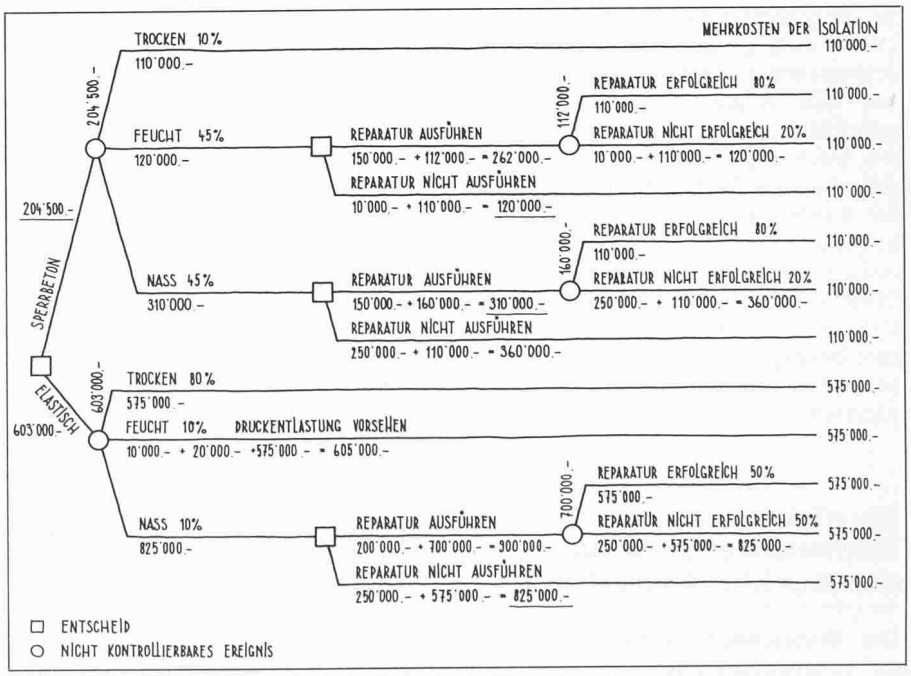


Bild 33. «Entscheidungsbaum» für die Wahl der wirtschaftlichen Isolationsart

Grundlagen für die Kostenberechnung:

Mehrkosten Sperrbeton	*Fr. 110 000.–*
Mehrkosten elastische Isolation	*Fr. 575 000.–*
Reparaturkosten Sperrbeton	*Fr. 150 000.–*
Reparaturkosten elastische Isolation	*Fr. 200 000.–*
Druckentlastung elastische Isolation	*Fr. 20 000.–*
Nachfolgekosten bei feuchtem Keller (Pumpkosten)	*Fr. 10 000.–*
Nachfolgekosten bei nassem Keller (Verkleidung)	*Fr. 250 000.–*

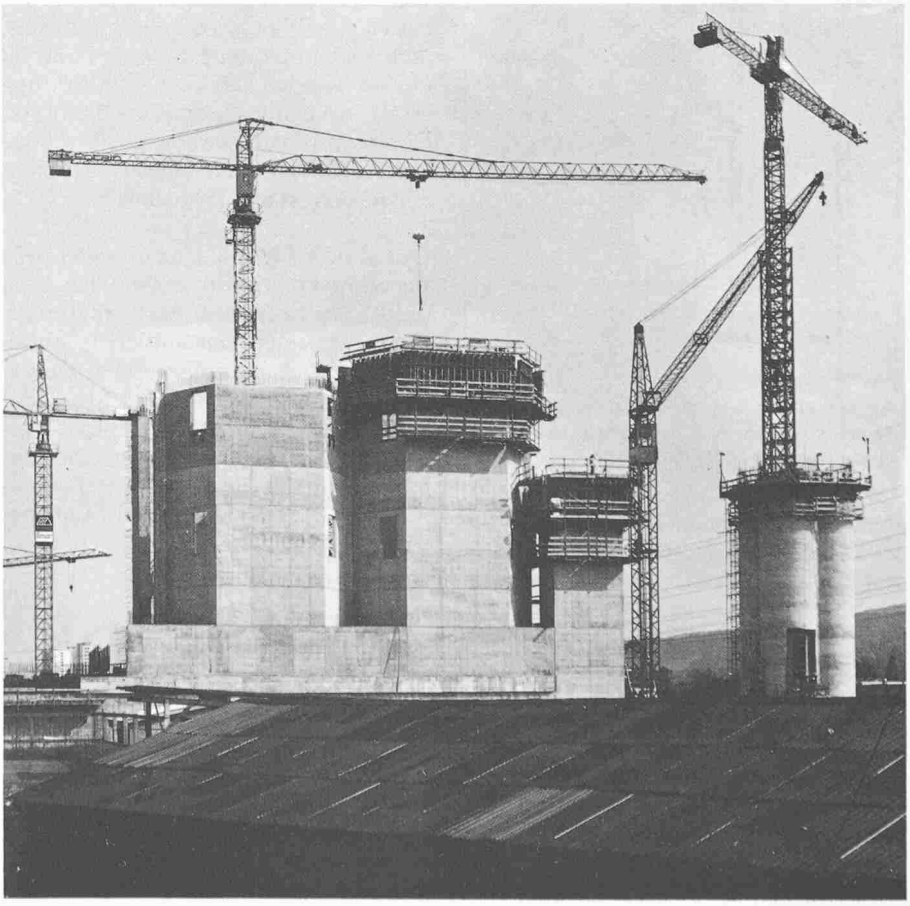
Wände erhielten an ihrem Fuss im Bereich der vertikalen Arbeitsfugen Zulagen, weil im Kontaktbereich mit der früher betonierten Bodenplatte erhöhte Schwindspannungen erwartet wurden.
Ausgangspunkt des Entscheidungsbaumes ist der Entscheid, entweder eine elastische Isolation oder den Sperrbeton auszuführen (gekennzeichnet durch ein Quadrat). Das nächste, nicht kontrollierbare Ereignis (gekennzeichnet durch einen Kreis) zeigt, dass beide Isolationen entweder trocken, feucht oder nass werden, je nach der Dichtheit der Isolation. Der weitere Entscheid heisst bei undichter Isolation «Reparaturen ausführen oder nicht». Die Reparatur kann nun, als nicht kontrollierbares Ereignis, erfolgreich oder nicht erfolgreich sein. Nachdem der Entscheidungsbaum fertig ist, müssen für die nicht kontrollierbaren Ereignisse *Wahrscheinlichkeiten* geschätzt werden; z. B. ist die Wahrscheinlichkeit grösser, dass der Sperrbeton nass ist (45 Prozent) als bei einer elastischen Isolation (10 Prozent). In dem von der Wurzel her aufgebauten Baum werden nun von den Astspitzen her die Kosten eingesetzt und zur Wurzel hin aufsummiert, wobei die Kosten einer Massnahme mit der Wahrscheinlichkeit des entsprechenden Ereignisses zu multiplizieren sind. Nach dem Kriterium

Baukosten + Unterhalt + (Risiko × Schaden) = Minimum

wird die wirtschaftlichere Isolationsart ermittelt. Im vorliegenden Falle ist dies eindeutig der *Sperrbeton*.
Mit einer schachbrettartigen Aufteilung der Bodenplatte in einzelne Betonieretappen wurde erreicht, dass die Schwindspannungen möglichst klein bleiben. Bei den Etappenfugen wurden aussenliegende Fugenbänder angeordnet, und dem Betonverbund in den Fugen wurde grosse Beachtung geschenkt. Im übrigen wurde versucht, die gesamte Fugenlänge möglichst zu begrenzen. Deshalb wurde auf nachträglich auszubetonierende «Schwindfugen» verzichtet. Auch Dilatationsfugen, die bei Undichtigkeit schwieriger zu sanieren sind als Arbeitsfugen, wurden trotz der fast 100 m langen Bodenplatte keine angeordnet.

Erste Erfahrungen mit dem Sperrbeton

Der schachbrettartige Betonierungsvorgang bei der Bodenplatte brachte *eher eine Vereinfachung und Beschleunigung* des Bauablaufes als eine zum Teil befürchtete Komplizierung. Die jeweils betonierte, im Durchschnitt 225 m² grosse Etappe konnte in aller Ruhe ausgeschalt werden, während bei der nächsten Etappe das Verlegen der Armierung in vollem Gange war.
Noch während der Betonierarbeiten in den oberen Regionen der Energiezentrale wurde der Grundwasserspiegel erstmals etwas angehoben, und das Wasser begann wie erwartet durch einzelne Arbeitsfugen und durch Risse hereinzusickern. An einer offensichtlich schwachen Stelle sprudelte gar ein einzelner kleiner Springbrunnen hervor. Mit weiter steigendem Grundwasser verstärkte sich der Wasserandrang naturgemäss etwas, und wo vorher z. B. nur feuchte Stellen zu beobachten waren, sickerte jetzt deutlich sichtbar etwas Wasser hervor.
Die Sanierung sämtlicher Undichtigkeiten mittels Injektion eines dauerelastischen Zweikomponenten-Kunststoffproduktes kostete wenig mehr als Fr. 30 000.–. Von diesem Betrag hatte der Bauunternehmer den kleineren Teil zu übernehmen. Nach der Beendigung der Injektionsarbeiten blieb keine sichtbar feuchte Stelle zurück.
Eine Auswertung der Reparaturarbeiten ergab das folgende Bild: In der Bodenplatte überwiegen die undichten Arbeitsfugen mit 37 m oder rund 7 Prozent der gesamten Fugenlänge die unregelmässig entstandenen Risse von 17 m Länge oder 0,3 m je 100 m² Bodenfläche. In den Wänden ist es umgekehrt; dort mussten mit insgesamt 102 m oder 8 m je 100 m² Oberfläche mehr Risse saniert werden als die 13 m oder 3 Prozent aller Arbeitsfugen. Im Durchschnitt kostete das Injizieren je nach der Lage der Undichtheit Fr. 150.– bis Fr. 210.– je Meter Fugen- oder Risslänge.
Im weiteren wurde die Erfahrung gemacht, dass das erhoffte teilweise Versintern von feinen Undichtheiten im beobachteten Zeitraum von etwa einem Jahr nicht eintrat. Man hätte also besser mit dem Injizieren nicht zugewartet, bis das Arbeiten durch die zum Teil schon eingebauten Installationen etwas behindert wurde.
Abschliessend kann gesagt werden, dass die *Richtigkeit des Entscheides zugunsten des Sperrbetons in jeder Hinsicht bestätigt* worden ist. Die Reparaturkosten waren sogar wesentlich geringer als angenommen (siehe Bild 33).
Schwierigkeiten und ein grosser Aufwand mit der Abdichtung einer rinnenden Dilatationsfuge beim Anschluss des Heizkanales an die Energiezentrale zeigten auch, wie wichtig das konsequente Vermeiden solcher Fugen innerhalb der Energiezentrale war. Dass Arbeitsfugen vor allem in der Bodenplatte zu einem Teil rinnen, lässt sich offenbar kaum vermeiden. Immerhin sind dort dank des aussenliegenden Fugenbandes und mit der Streckmetall-Abschalung 93 Prozent der Fugenlänge dicht geblieben.



Der Bau des Kesselhauses und des Kamins mit Gleitschalungen