

Erschütterungen aus Baumaßnahmen und empfindliche Einrichtungen - ein lösbares Problem

Oswald Klingmüller und Jan Steinhausen, Mannheim
Hubert Quick, Darmstadt

1. Einleitung - Veranlassung und Problemstellung
2. Voruntersuchung
3. Durchführung der Überwachung
4. Ergebnis – Entwicklung der Erschütterungen über die Bauzeit

Zusammenfassung

Aufgrund der empfindlichen Telefonanlagen in direkter Nachbarschaft zum neuen VICTORIA-Turm in Mannheim war es erforderlich, die durch den Baubetrieb – vor allem durch die Tiefbauarbeiten – verursachten Erschütterungen zu überwachen. In einer Voruntersuchung wurde der zulässige Bereich für die Erschütterungen ermittelt. Aufgrund der Technik der Anlage und ihrer Aufhängung in Metall-Leichtbau-Rahmen konnte ein fester Grenzwert nicht vorgegeben werden. Es wurde ein Vorgehen im Sinne einer Fuzzy-Filosofie gewählt, d.h. es wurden alle Erschütterungen, die den Schwellwert von 2 mm/s überschritten, aufgezeichnet; durch Rücksprache mit der Baustelle wurde festgestellt, ob die entsprechende Baumaßnahme unter Berücksichtigung des Risikos tatsächlich so erschütterungsemitterend ausgeführt werden muß, oder ob es möglich ist, durch ein geändertes Vorgehen die Erschütterungen in einem erfahrungsgemäß unschädlichen Bereich von 5 bis 10 mm/s zu halten. Bei einzelnen Bauarbeiten, vor allem beim Einbringen der Spundwände, wurde dieser "sichere" Bereich verlassen und es traten Erschütterungen bis über 20 mm/s auf. Eine Störung der Telefonanlagen wurde nicht gemeldet.

1. Einleitung - Veranlassung und Problemstellung

Im Zuge der Erstellung des Büro- und Verwaltungshochhauses "VICTORIA-Turm" in Mannheim mußte durch Bauarbeiten mit Erschütterungen gerechnet werden. Vor allem die zu Beginn einer solchen Baumaßnahme vorzunehmenden Abriß- und Tiefbaumaßnahmen können Erschütterungen verursachen, bei denen eine Gefährdung der Umgebung nicht von vornherein ausgeschlossen werden kann.

Beim Bau des Hochhauses war zudem zu beachten, daß im unmittelbar angrenzenden Gebäude ein Telefonknoten einer Telefongesellschaft eingerichtet ist. In diesem Telefonknoten werden alle Gespräche und Datenübermittlungen der Gesellschaft aus dem südwestdeutschen Raum (Bodensee bis Saarland) verknüpft. Die Verbindungen werden protokolliert und gesichert. Die Sicherung wird vorgenommen, um im Fall irgendeiner Störung die Verbindung automatisch wieder herstellen zu können. Es war somit zu garantieren, daß die Funktionsfähigkeit dieses Telefonknotens mit allen seinen Komponenten in keiner Weise durch die Baumaßnahme gestört würde.

Durch die kontinuierliche Protokollierung der Erschütterungseinwirkungen wurde auch ein Beweismittel erstellt, mit dem bei Störungen irgendwelcher Art die Beteiligung bzw. Nichtbeteiligung der Baustelle zweifelsfrei nachgewiesen werden kann.

Aufgrund der vorliegenden Planung für die Baumaßnahme konnten vor Beginn der Bauarbeiten folgende Maßnahmen als erschütterungsemittierend identifiziert werden :

- Abriß des südöstlichen Flügels des früheren DB-Gebäudes, in welchem jetzt der Telefonknoten eingerichtet ist,
- Herstellung von Großbohrpfählen Ø150 mit sehr schwerem Gerät – aufgrund der Terminvorgaben arbeiteten drei Geräte gleichzeitig,
- Erstellung einer wasserdichten Baugrube durch Einrütteln von Spundwänden,
- Einrütteln der Verankerungspfähle für die Sohlverankerung.

Nicht vorherzusehen war, daß beim Aushub kontaminierter Boden gefunden wurde. Zur sicheren Entsorgung des Bodens wurden in den Monaten September und Oktober besondere LKW-Transporte durchgeführt, die direkt an der Wand des Gebäudes mit dem Tele-

fonknoten entlangführten. In dieser Zeit mußte auch immer wieder mit einem Fahren der schweren Bagger und der anderen Geräte auf dieser Baustraße und einem erheblichen Erschütterungseintrag gerechnet werden.

In der Planungsphase wurde das aus anderen Baustellen bekannte Niveau von Erschütterungsimmissionen dem zulässigen Erschütterungsniveau für dem Telefonknoten vergleichbare Anlagen gegenübergestellt.

Durch eine Messung ambienter Erschütterungen an mehreren Stellen des Telefonknotens, insbesondere auch der Erschütterungen aus bestimmungsgemäßen Gebrauch wie Öffnen und Schließen der Magnettüren der Anlagegehäuse, konnte das von der Anlage bislang ohne Schädigung aufgenommene Erschütterungsniveau bestimmt werden und die Schutzziele für die Dauerüberwachung festgelegt werden.

Während der besonders intensiven Erschütterungseinwirkungen wurden Zwischenberichte an die Baustelle gegeben, so daß vermeidbare Erschütterungen festgestellt und vermieden werden konnten.

2. Voruntersuchung

Die Erschütterungsmessungen der Voruntersuchung wurden am 24.6.1999 im Erdgeschoß in insgesamt 4 Räumen des Telefonknotens durchgeführt. Die einzelnen Meßpunkte sind in der Lageskizze in Bild 1 eingetragen.

Meßpunkt 1 lag im Anschlußraum der Netzleitungen. Hier wurden der Ruhepegel sowie die Erschütterungen aus verschiedenen außenliegenden ambienten Quellen, wie z.B: LKW-Verkehr der naheliegenden Straße, Schienenverkehr der DB-Strecke Mannheim-Hauptbahnhof, gemessen. Zudem wurden die Erschütterungswerte durch Schritte von Personen erfaßt.

Die Erschütterungen der Geräte, die in den verschiedenen Gerätegestellen untergebracht sind, wurden repräsentativ auf dem Gehäusedeckel des Routers für den Internet-Knoten gemessen. Der Meßpunkt lag in etwa 1 m Höhe im 3. Gestell der aus insgesamt 5 Gestellen bestehenden Geräteschrankreihe, s. Bild 1 und 2a), Meßpunkt 2. Zusätzlich

wurde ein weiterer Meßgeber auf den Fußboden in etwa 10 cm Abstand vor das Gestell des betreffenden Routers positioniert (s. Bild 1 und 2a, Meßpunkt 3), so daß die Übertragung der Erschütterungen des Bodens auf den Router erfaßt werden konnte. Die ambienten Erschütterungen ergaben sich zum einen aus den Installationsarbeiten an dem im selben Raum untergebrachten „Backbone“, an dem zwei Installateure beteiligt waren.

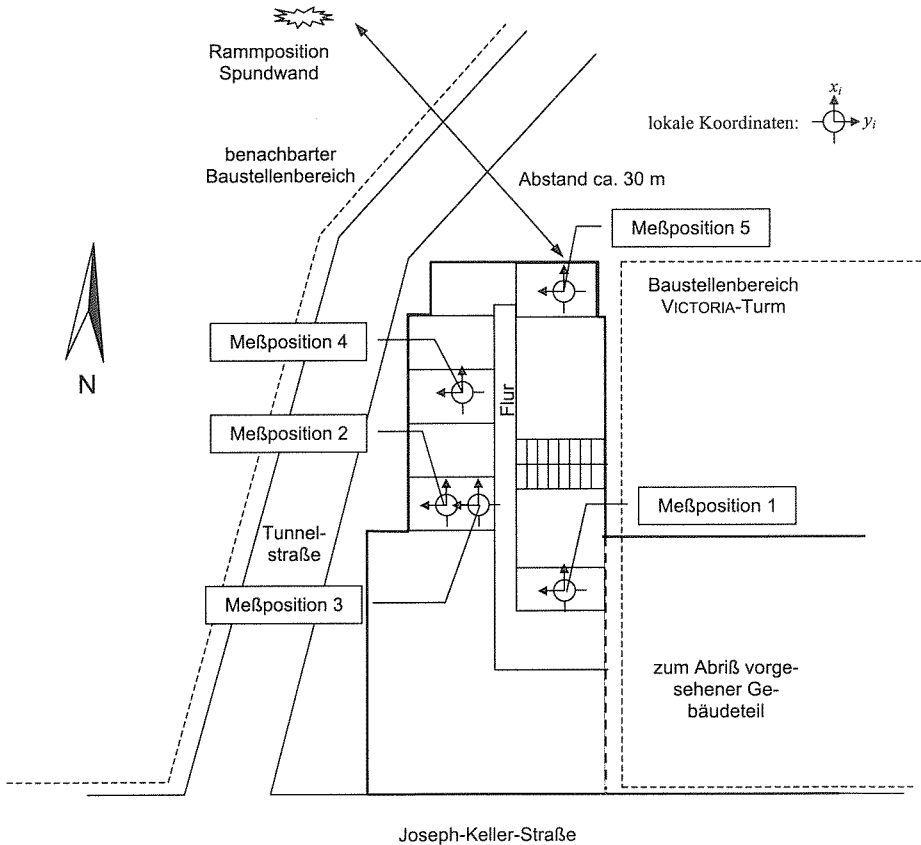


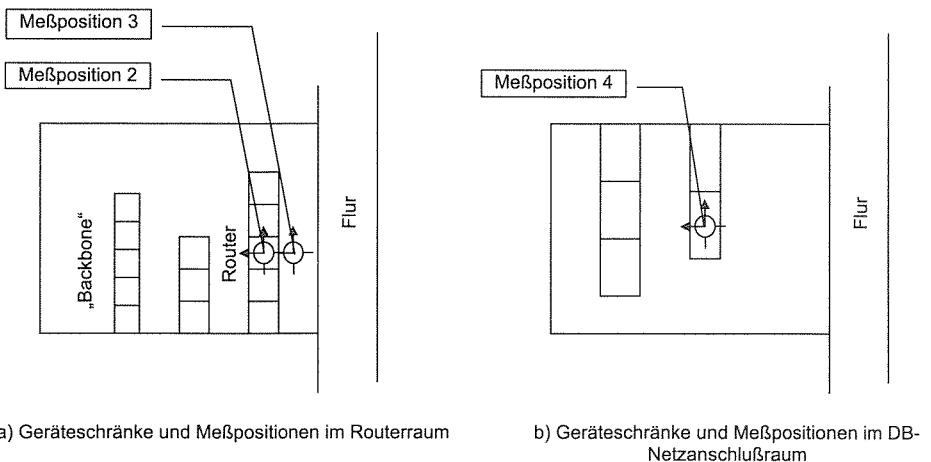
Bild 1: Schematischer Lageplan der Meßpunkte und der Bohr- und Rammposition, nicht maßstäblich

Zum anderen wurden ab ca. 10:30 Uhr die Erschütterungen erfaßt, die aus den Baustellenarbeiten hinter der Tunnelstraße durch die Vibrationsrammung von Spundwandbohlen

eingetragen wurden. Durch Handanschlag des Routergestells jeweils in x- und in y-Richtung wurden die Eigenschwingungen des Systems erfaßt.

Die Erschütterungen eines der Geräteschränke, die im Raum mit dem Anschluß an das DB-Netz stehen, wurden auf der Schrankoberseite erfaßt, s. Bild 1 und 2b, Meßpunkt 4. Die Höhe des Geräteschranks betrug ca. 2 m. Es handelte sich hierbei hauptsächlich um Erschütterungen, die aus dem Rammbetrieb der schon oben beschriebenen Baustelle herrührten. Zusätzlich wurden auch die Erschütterungen gemessen, die beim Öffnen und Schließen der Schranktür entstehen.

Im Büro, das der Baustelle am nächsten gelegen ist, wurden die Erschütterungen in der Raummitte gemessen, s. Bild 1, Meßpunkt 5. Die Rammarbeiten waren ca. 30 m von der zum Büro zugehörigen Hausfront entfernt.



a) Geräteschränke und Meßpositionen im Routerraum

b) Geräteschränke und Meßpositionen im DB-Netzanschlußraum

Bild 2: Ergänzung zum Lageplan der Meßpositionen in Bild 1

Als Meßgeräte wurden zwei Schwingungsmeßgeräte der Firma KEBE (nach DIN 45669 Klasse 1) vom Typ SMK3 mit Warneinrichtung sowie zur Aufzeichnung der Daten ein tragbarer PC der Firma DOLCH verwendet, der mit entsprechender Hardware und der Software MEDA_AD der Firma WÖLFEL MEßSYSTEME für die Meßwerterfassung ausgestattet ist. Mit dem Meßcomputersystem ist eine numerische Weiterverarbeitung der digitalisierten Daten vor Ort möglich.

Als Sensoren wurden je Meßstelle ein auf das jeweilige Schwingungsmeßgerät abgestimmter 3D-Geber (Geophon) für Bewegungen in horizontaler Richtung (x- und y-Richtung) und in vertikaler Richtung (z-Richtung) eingesetzt, Orientierung s. Bild 1. Mit den Sensoren werden die Schwinggeschwindigkeiten in den drei beschriebenen Richtungen gemessen.

Die Meßdaten sind zu einem Teil kontinuierlich in Blöcken zu jeweils 5 Minuten aufgezeichnet worden und zum anderen bei Überschreitung eines Schwellwertes von 1 mm/s in beliebiger Bewegungsrichtung erfaßt worden. An den Meßpunkten 1, 4 und 5 ist jeweils mit 3 Kanälen und an Meßpunkt 2 und 3 synchron mit 6 Kanälen gemessen worden.

In den Tabellen 1 und 2 sind die maximalen Schwinggeschwindigkeiten von verschiedenen, ausgewählten Ereignissen aufgeführt, die an den Meßpositionen 2, 3 und 4 erfaßt wurden. Die Meßwerte sind in den Tabellen den Erschütterungsursachen, soweit sie während der Messung zu erkennen waren, zugeordnet.

Nr.	Maximale Schwinggeschwindigkeiten						Bemerkung
	Meßposition 2			Meßposition 3			
	v_z [mm/s]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	v_z [mm/s]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	
1	0,64	0,88	0,92	-	-	-	Ruhepegel
2	5,24	5,93	8,76	-	-	-	Handschläge auf Geräteschrank
3	1,60	5,13	3,64	-	-	-	Auftreten auf Boden
4	3,59	5,22	1,37	-	-	-	Anstoßen Geräteschrank
5	1,16	1,63	0,55	-	-	-	Auslaufen der Ramme
6	1,52	1,73	3,32	0,42	0,24	0,13	Anlaufen
7	1,67	2,46	3,96	0,63	0,18	0,20	Rammen

Tabelle 2: Gemessene Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit verschiedener Ereignisse auf dem Router und dem davorliegenden Fußboden, Meßpunkte 2 und 3.

Nr.	Max. Schwinggeschwindigkeiten Meßposition 4			Bemerkung
	v_z [mm/s]	v_x [mm/s]	v_y [mm/s]	
1	0,78	1,08	1,09	Ruhepegel
2	1,42	1,45	1,67	Schritte
3	0,95	0,96	1,90	Auslaufen der Ramme
4	1,58	1,26	3,07	Rammen
5	3,59	3,58	5,98	Handschläge auf Geräteschrank
6	8,29	20*)	9,73	Schließen der Schranktüre
7	1,61	1,09	1,36	Rammen
8	2,06	1,94	3,50	Rammen

Tabelle 2: Gemessene Maximalwerte der Schwinggeschwindigkeit verschiedener Ereignisse an Geräteschrank, Meßposition 4, *): Wert wurde aus Messung extrapoliert.

Die weitere Auswertung ergab, daß der Geräteschrank mit dem Router, Meßposition 3, seine maßgeblichen Eigenfrequenzen bei 7,0 Hz in x-Richtung und bei 6,1 Hz in y-Richtung besitzt.

3. Durchführung der Überwachung

Durch die Voruntersuchung konnte die Lage der erschütterungsempfindlichen Telefonanlagen im Gebäude und in Bezug auf die Einsatzorte der Baumaschinen erfaßt werden.

Zu Beginn des Abbruchs wurde eine Meßstation in den Räumen der Telefonanlage und eine zweite in einem nichtbenutzten Raum direkt neben dem abzubrechenden Flügel des Gebäudes aufgestellt. Da in den Räumen mit den Telefonanlagen häufig Mitarbeiter für Wartungsarbeiten tätig waren, wurde später vor allem in dem leeren Raum an Meßposi-

tion 1 gemessen, um ausschließlich Fremderschütterungen aus dem Baustellenbetrieb zu erfassen.

Bei den Einrüttelvorgängen der Spundwände wurde aufgrund der höheren Gefährdung eine zusätzliche Meßstation direkt auf einem der Steuerungseinheiten mit Festplattenlaufwerk aufgestellt.

Nach Abschluß der Rüttelvorgänge wurde wiederum die Meßstation in dem leeren Raum betrieben. Nach Abbruch des Gebäudeflügels befand sich direkt neben diesem Raum die Baustraße, auf der die schweren Baugeräte bewegt wurden.

4. Ergebnis – Entwicklung der Erschütterungen über die Bauzeit

Während des Abbruchs waren die Erschütterungen in der Regel unter den festgestellten zulässigen Anhaltswerten. Einige hohe Werte konnten als Einwirkungen aus dem Einsatz von Meißeln identifiziert werden. Dabei ist der Energieeintrag allerdings so gering, daß die Erschütterungen bei der Übertragung in die weiter entfernten Räume mit den Telefonanlagen sehr stark abgemindert wurden. Trotz der Vorgaben für den Abbruch kam es mehrfach zum unkontrollierten Fallen großer Massen, sodaß die Erschütterungen als Kurzzeitwerte von Einzelereignissen 4 mm/s in horizontaler und 9 mm/s in vertikaler Richtung erreichten.

Beim Einrütteln der Spundwände wurden zwar nach der Empfehlung in den Voruntersuchungen unwuchtgeregelte Geräte eingesetzt, jedoch war es bei den Rammarbeiten im kürzesten Abstand zum Gebäude aufgrund von Resonanzerscheinungen nicht möglich, die vorgegebenen Anhaltswerte einzuhalten.

Bei Annäherung der Rammposition an die Hauswand des zu schützenden Gebäudes erreichten die Erschütterungen an der Meßstelle 1 in Deckenmitte Werte bis $v_z = 21$ mm/s. Da es sich hierbei um eine eher unkritische Deckenresonanz bei An- oder Abschaltvorgängen handelte, wurde das Meßgerät auf den Rand des Raumes umgesetzt, die Erschütterungen in vertikaler Richtung erreichten nur 5 mm/s, die Erschütterungen in horizontaler Richtung blieben unter 1 mm/s.

Im entfernteren Raum mit der Telefonanlage wurde auf dem Boden ein Maximalwert von $v_z = 4,7$ mm/s gemessen. Da die Telefonanlage in einem Metall-Leichtbau-System aufge-

hängt war, wurde zusätzlich direkt auf der Anlage gemessen. Auf der Anlage selbst ergab sich ein Wert von $v_z = 7$ mm/s als Dauerwert während des Rammens und bis $v_z = 18,4$ mm/s als Spitzenwert beim An- bzw. Abschalten der Ramme. Dieser Wert ist doppelt so hoch wie die in der Voruntersuchung ohne Schadensfolge erfaßte Erschütterung beim bestimmungsgemäßen Gebrauch des Gerätes (öffnen und Schließen der Magnettüre). Eine Störung wurde nicht gemeldet.

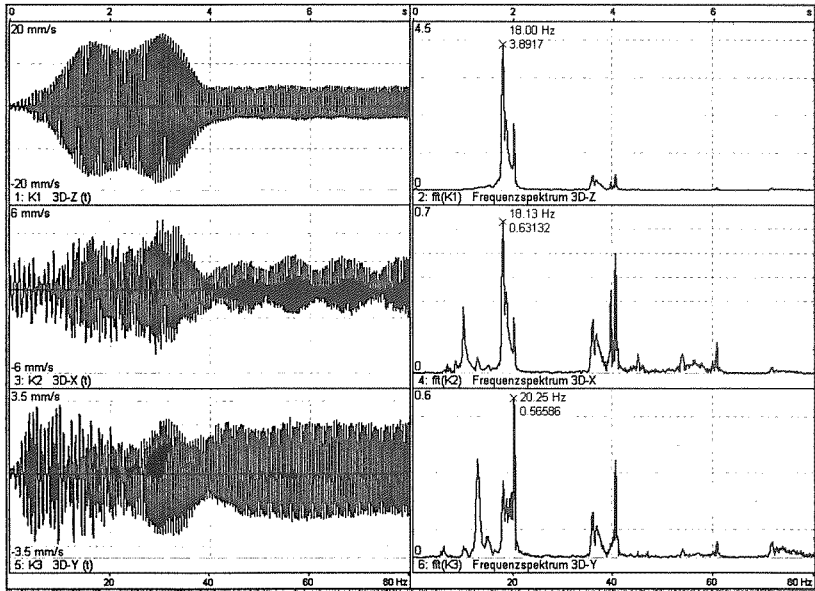


Bild 3: Typische Resonanzüberhöhung bei Anfahren der Vibrationsramme, Meßpunkt 3 auf dem Routergehäuse, links: Zeitsignale Schwinggeschwindigkeiten, rechts: zugehörige Amplitudenspektren

Trotz des hohen Niveaus der Dauererschütterungen von bis zu 20 mm/s auf den Gehäusen der Telefonanlagen, traten aber keine Störungen auf.

Während der Aushubarbeiten gab es nur bei einzelnen Vorbeifahrten von schwerem Baggerät Erschütterungen die den Triggerwert von 2 mm/s überschritten und maximal 3 mm/s erreichten.

Das Einrütteln der Verankerungspfähle konnte aufgrund des geringen Rammwiderstandes im hohen Drehzahlbereich vorgenommen werden, so daß die Erschütterungseinwirkungen

gering waren. Es traten weder im Gebäude noch bei den Anlagen Resonanzerscheinungen auf.

Abschließend ist festzustellen, daß die Tiefbauarbeiten ohne eine Störung der Telefonanlage durchgeführt werden konnten.

Die Erschütterungsüberwachung bei den Abbruch- und Tiefbaumaßnahmen wurde in Zusammenarbeit mit UNIT – GESELLSCHAFT FÜR PROJEKTENTWICKLUNG MBH und der INGENIEURSOZIENTÄT PROF. DR.-ING. KATZENBACH UND DIPL.-ING. QUICK durchgeführt.

Anhang Tagebuch – Baustellenbetrieb und Erschütterungen

- Juni 1999 : Vorbereitende Besprechungen
Voruntersuchung zur Erschütterungs- und Gefährungssituation
- 24.6.1999 : Messungen im Gebäude der Telefonanlage zur Erschütterungsprognose und Bestimmung von Grenzwerten für Erschütterungen
- 12.7.1999 : Beginn der Abrißarbeiten, zuerst Entkernung
Beginn der Dauerüberwachung, Aufzeichnung aller Überschreitungen von 2 mm/s in beliebiger Richtung, bei der Entkernung einzelne Meßwerte bis $v_z = 5,4$ mm/s durch Abreißen und Fallenlassen von Heizkörpern
- 19.7. bis
31.7.1999 : Abbruch des Gebäudes – trotz Warnung:
- Fallen schwerer Massen, einzelne Meßwerte bis $v_z = 8,1$ mm/s
- Zertrümmern der Bodenplatte, einzelne Meßwerte bis $v_z = 18,6$ mm/s
- 2.8. bis
7.8.1999 Baustelleneinrichtung und Beginn Herstellung Großbohrpfähle
- Erschütterungen nur in Einzelfällen zwischen 1 und 2 mm/s
- 16.8. bis
28.8.1999 Einrütteln der Spundbohlen mit verschiedenen Vibrationsrammen
- 30.8. bis
30.10.1999 Aushub – Beseitigung von Boden-Kontamination
- Bei diesen Arbeiten wurden durch die Bewegungen schweren Baugeräts auf der Baustraße Erschütterungen bis 3,2 mm/s festgestellt.
- 2.11. bis
11.11.1999 Einrütteln der Verankerungspfähle – Ansatzpunkt Baugrubensohle
- Da die Pfähle im Innern der Baugrube eingebracht wurden, wiesen sie eine viel größeren Abstand auf als die Spundwände, zudem erfolgte das Einbringen von der Baugrubensohle aus. Das Rüttelgerät konnte mit maximaler Drehzahl arbeiten, so daß Resonanzen vermieden wurden. Der Schwellwert von 2 mm/s wurde nicht überschritten.
- 15.11.1999 Abbau der Dauerüberwachung