

# LIS - Berichte

## Nr. 65

Erschütterungseinwirkung  
durch Exzenter-Schmiede-  
pressen und ihre Minderung  
durch Direktabfederung

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Straße 6

D-4300 Essen 1

1986

ISSN 0720-8499

## I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
Zusammenfassung	7
Summary	7
1. Einleitung	9
2. Schmiedehammer und Schmiedepresse	9
2.1. Höhere Schlagkraft der Presse gegenüber Hämmern	9
2.2. Größere bewegliche Massen gegenüber Hämmern	10
3. Exzenter- und Spindel-Schmiedepressen	10
3.1. Exzenterpressen	11
3.2. Aufbau einer Exzenter-Schmiedepresse	11
3.3. Schwingungserregende Kräfte	13
3.4. Schwingungen der Exzenterpresse	15
4. Schwingungsübertragung	18
4.1. Einwirkungen der Pressenschwingungen auf Wohnhäuser und deren Bauteile	18
4.1.1. Einwirkung auf Gesamtgebäude	18
4.1.2. Einwirkung auf Bauteile	20
5. Reaktion von Menschen in Wohnungen auf den Betrieb festaufge- stellter Schmiedepressen	21
6. Technische Maßnahmen zur nachträglichen Erschütterungsminderung	21
7. Schwingungsisolierung von Schmiedepressen	26
8. Ermittlung der Isolierwirkung und der Gestellbewegungen bei direkt abgefederten Schmiedepressen	29
8.1. Untersuchte Pressen	29
8.2. Ermittlung der erzielten Isolierwirkung	31
8.3. Ermittlung der Gestellbewegungen	32
8.4. Betriebsbedingungen der Pressen während der Messungen	32
8.5. Messungen bei starrer und gefederter Pressen- aufstellung	32
9. Benutzte Meßeinrichtungen	32
9.1. Baugrund- und Geschoßdeckenerschütterungen	32
9.2. Waagrecht - Gestellbewegungen	33
9.3. Lotrecht - Gestellbewegungen	33

10.	Auswertung der Aufzeichnungen	33
11.	Angaben zur Aufstellung der einzelnen Pressen und Ergebnisse der Messungen	33
11.1.	Presse Nr. 1 (80 MN)	33
11.1.1.	Gründung	33
11.1.2.	Meßergebnisse	37
11.1.3.	Bewertung dieser 1. Pressendirektabfederung	42
11.2.	Presse Nr. 2 (63 MN)	44
11.2.1.	Gründung	44
11.2.2.	Meßergebnisse	46
11.3.	Presse Nr. 3 (40 MN)	49
11.3.1.	Gründung	49
11.3.2.	Meßergebnisse	51
11.4.	Presse Nr. 4 (20 MN)	55
11.4.1.	Gründung	55
11.4.2.	Meßergebnisse	55
11.5.	Presse Nr. 5 (15 MN)	59
11.5.1.	Gründung	59
11.5.2.	Meßergebnisse	60
11.6.	Presse Nr. 6 (12,5 MN)	63
11.6.1.	Gründung	63
11.6.2.	Meßergebnisse	65
11.7.	Blockgederte Presse Nr. 7 (25 MN)	70
11.7.1.	Gründung	70
11.7.2.	Schwingungen des abgederten Systems	70
11.8.	Blockgederte Presse Nr. 8 (63 MN)	72
11.8.1.	Gründung	72
11.8.2.	Meßergebnisse	72
12.	Rückschlüsse aus den Meßergebnissen	73
13.	Schrifttum	76

ERSCHÜTTERUNGSEINWIRKUNG DURCH EXZENTER-SCHMIEDEPRESSEN UND IHRE MINDERUNG  
DURCH DIREKTABFEDERUNG

Karlheinz Wietlake

Z u s a m m e n f a s s u n g

Schmiedepressen zählen infolge ihres Arbeitsprinzips zu der Gruppe besonders starker Erschütterungserzeuger. Eine Minderung der schwingungserregenden Kräfte durch konstruktive Maßnahmen an der Presse selbst ist bislang nicht möglich. Durch schwingungsisolierte Aufstellung der Pressen kann jedoch die Übertragung der dynamischen Kräfte von der Anlage in den Baugrund und damit in die Nachbarschaft erheblich gehemmt werden. Hier wird die Schwingungsisolierung von Exzenter-Schmiedepressen ohne Zusatzmassen beschrieben, die als Direktabfederung bezeichnet wird.

Bei sechs direktgefederten Exzenter-Schmiedepressen mit Preßkräften von 12,5 - 80 MN wurde das Zusammenspiel zwischen erreichter Isolierwirkung und den sich einstellenden Gestellbewegungen meßtechnisch untersucht. Das Ergebnis ist, daß die bei der Isolierung stoßartiger Erschütterungen allgemein als optimal anzusehende Isolierwirkung von ca. 80 % gegenüber den bei fester Gründung auftretenden Erschütterungen auch durch die Direktabfederung von Exzenter-Schmiedepressen bei vertretbaren Gestellbewegungen erreicht werden kann.

In keinem der untersuchten Fälle führte die Direktabfederung nach Aussagen der Betreiber zu einer nachteiligen Beeinflussung der Schmiedegüte, zu ungünstigeren Arbeitsplatz-Bedingungen oder zu schädlichen Auswirkungen an der Presse.

Aufgrund der vorliegenden positiven Erfahrungen dürfte die Direktabfederung von Exzenter-Schmiedepressen als "Stand der Technik" angesehen werden.

EFFECTS OF VIBRATIONS BY EXCENTER FORGING PRESSES AND THEIR REDUCTION BY DIRECT SHOCK ABSORPTION

S u m m a r y

Because of the operating principle forging presses fall into the group of particularly vibration generators. A reduction of the vibration inducing forces by altering the construction of the press is to date not feasible. By vibration isolated mounting, however, the transmission of dynamic forces from the press to the ground and consequently to the neighbourhood may be considerably reduced. The isolation of vibrations caused by excenter forging presses without additional masses, called direct spring mounting, is described.

At six direct spring mounted excenter forging presses operating with forces of 12.5 to 80 MN the interdependence between the achieved isolating effect and the ensuing structural motions has been studied by measurements. The results show that, compared to vibrations occurring at rigid mounting, and isolating effect of approx. 80 %, which is in general considered optimal for isolating impact vibrations, can be achieved by direct spring mounting of excenter forging presses, whereas the displacements of the press-frames during operation are still tolerable.

As asserted by the operators direct spring mounting led in none of the investigated cases to any negative influences on the forging quality, to any worse working place conditions or to any destructive effects on the press.

Because of the existing positive experiences direct spring mounting of excenter forging presses may be considered state of the art.

## 1. Einleitung

Beim Betrieb von Schmiedepressen werden durch Geschwindigkeitsänderungen der bewegten Teile und durch den Umformvorgang relativ große schwingungserregende Kräfte über das Pressengestell und Fundament auf den Baugrund und weiter in die Nachbarschaft übertragen. Belästigende Erschütterungseinwirkungen in Wohnungen sind häufig die Folge [1].

Derartige Belästigungen lassen sich weitgehend vermeiden, wenn die Pressen nicht festgegründet, sondern schwingungsisoliert aufgestellt werden. Durch eine schwingungsisolierte Aufstellung, die sich durch freie Beweglichkeit der Maschine gegenüber dem Aufstellungsort auszeichnet, lassen sich bei stoßartigen Erregungen die dynamischen Störkräfte im allgemeinen bis zu etwa 80 % an der Übertragung von der Maschine auf den Aufstellungsort hindern.

Im folgenden wird aufgezeigt, wie die Erschütterungen bei Exzenter-Schmiedepressen entstehen und wie sie durch die seit einigen Jahren bei Schabotthämmern mit Erfolg eingesetzte Direktabfederung [2] gemindert werden können. Dazu werden Meßergebnisse herangezogen, die in konkreten Einzelfällen ermittelt wurden.

## 2. Schmiedehammer und Schmiedepresse

Beim Schmieden werden dehnbare Metalle durch plötzliche Druckänderungen verformt; es wird daher auch als Druckumformen gekennzeichnet. In der modernen Umformtechnik wird in vielen Bereichen der bekannte Schmiedehammer durch Kurbel- oder Exzenterpressen und in Sonderfällen auch durch Spindelpressen verdrängt [3]. Aus der Sicht des Immissionsschutzes haben die Pressen den Vorteil, daß sie erheblich geräuschärmer als vergleichbare Hämmer sind. Anders sieht es bei den Erschütterungen aus; häufig werden beim Einsatz von Pressen stärkere Erschütterungsbelastigungen in der angrenzenden Nachbarschaft verursacht als beim Betrieb vergleichbarer Hämmer. Dies wird vielfach bei der Einplanung von Pressen anstelle von Hämmern übersehen. Man geht fälschlicherweise davon aus, daß - wie beim Hammer - allein der Stoßcharakter für die Erschütterungserzeugung ausschlaggebend sei. Dieser tritt zwar bei Umformvorgängen auf Pressen mit den relativ langen Berührungszeiten zwischen Werkzeug und Werkstück erheblich weniger in Erscheinung als bei vergleichbaren Vorgängen auf Hämmern mit relativ kurzen Berührungszeiten, dafür müssen aber auch andere, hinsichtlich der Erschütterungserzeugung nachteilige Eigenschaften der Pressen ebenfalls berücksichtigt werden. Dazu zählen:

### 2.1. Höhere Schlagkraft der Presse gegenüber Hämmern

Mit einem Hammer werden gewöhnlich mehrere Schläge auf ein Werkstück ausgeführt, während eine Presse ihre Arbeit mit einem Hub verrichtet. Die Presse muß

somit auf den Einzelschlag bezogen eine erheblich höhere Umformkraft erbringen als ein vergleichbarer Hammer. Von H. MEYER-NOLKEMPER ist aufgrund zahlreicher Vergleichsmessungen eine Beziehung zwischen der Nennkraft von Pressen und dem Nutzarbeitsvermögen von Hämmern für vergleichbare Fertigungsmöglichkeiten aufgestellt worden [4]. Danach wird beispielsweise bei einem einzigen Hub einer 20 MN-Exzenterpresse die gleiche Umformarbeit verrichtet wie durch drei bis vier Schläge eines 50-kNm-Hammers. Die höhere Krafteinleitung kann hinsichtlich der Erschütterungserzeugung den geringeren Stoßcharakter ganz oder teilweise ausgleichen.

## 2.2. Größere bewegliche Massen gegenüber Hämmern

Infolge des unterschiedlichen Arbeitsprinzips zwischen Hämmern und Pressen sind bei einer Presse die bewegten Massen erheblich größer als bei einem Hammer. Beim Hammer wird in der einfachsten Form ein Gewicht angehoben und auf das Werkstück fallen gelassen. Dabei wird die in dem angehobenen Gewicht enthaltene potentielle Energie beim Fallen in kinetische Energie umgewandelt. Es entsteht im wesentlichen ein Vertikalstoß, der zum überwiegenden Teil in Materialumformung und zu einem geringeren Teil in Baugrundschrwingungen umgesetzt wird. Bei Schmiedepressen wird dagegen der zur Materialumformung benötigte Vertikalstoß über eine kreisförmige Bewegung des Antriebs erzeugt, wobei große Massen rhythmisch hohen Beschleunigungen ausgesetzt sind. Dadurch entstehen erhebliche dynamische Störkräfte, die - wie ein Teil der Stoßkräfte - zu Baugrundschrwingungen führen. Das Ausmaß der auf den Antrieb zurückzuführenden Bodenschwingungen ist außer von der Pressengröße stark vom Pressentyp abhängig.

## 3. Exzenter- und Spindel-Schmiedepresse

Je nach der Art, wie die motorisch erzeugte kreisförmige Bewegung bei einer Gesenkschmiedepresse in eine geradlinig hin- und hergehende Bewegung umgewandelt wird, unterscheidet man Exzenter- und Spindelpressen.

Bei der Exzenterpresse erfolgt die Umwandlung über einen Kurbeltrieb und bei einer Spindelpresse über eine Gewindespindel. Die bislang mit diesen Maschinenarten verwirklichten maximalen Preßkräfte betragen 160 MN bei einer Exzenterpresse und ca. 300 MN bei einer Spindelpresse. Beim Ausnutzen dieser Kräfte bleibt es nicht aus, daß dem Baugrund ohne besondere Vorkehrungen erhebliche Erschütterungen aufgezwungen werden.

Die hier wiedergegebenen Ergebnisse beziehen sich nur auf Exzenter-Schmiedepressen. Resterschütterungen großer Spindelschmiedepressen werden zu einem späteren Zeitpunkt untersucht.

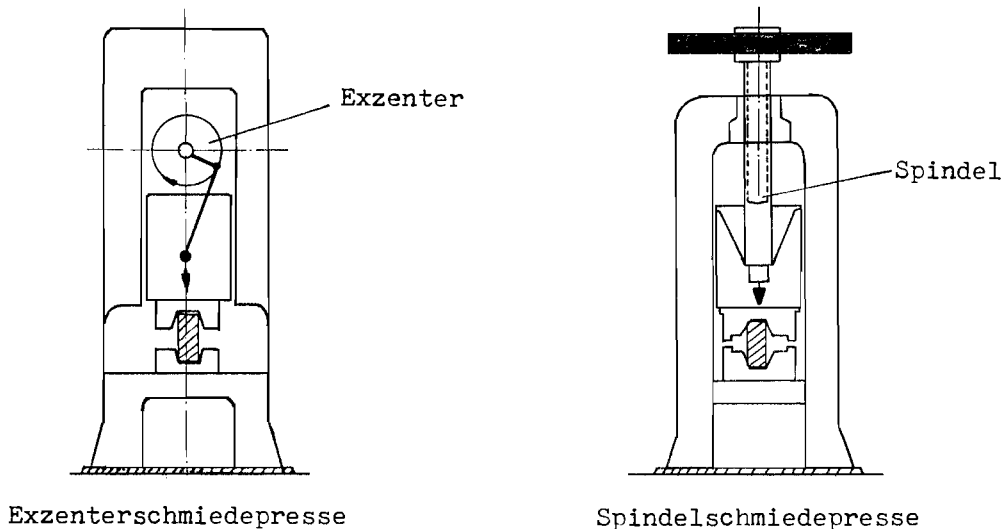


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Exzenter- und Spindel-Schmiedepresse

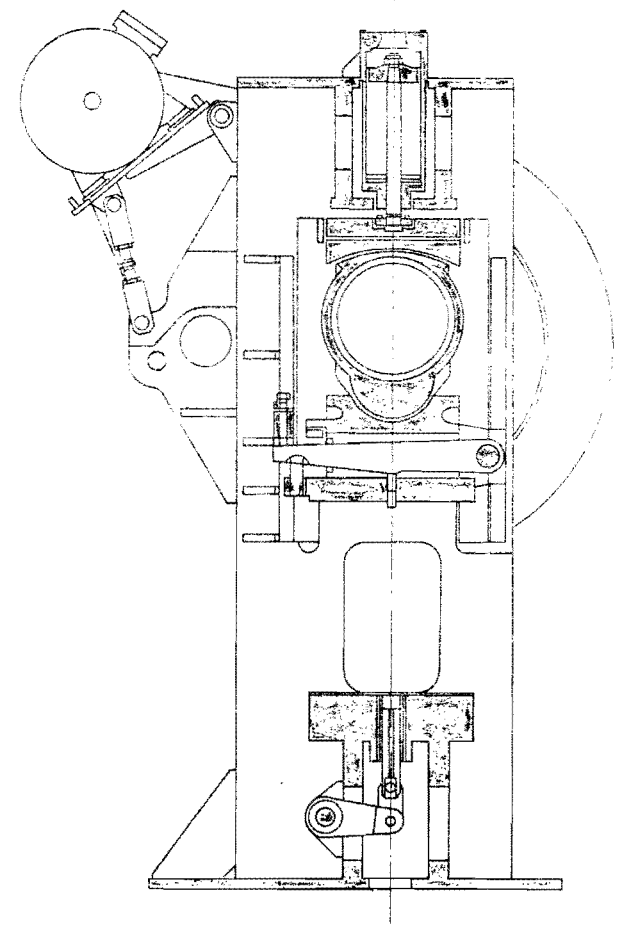
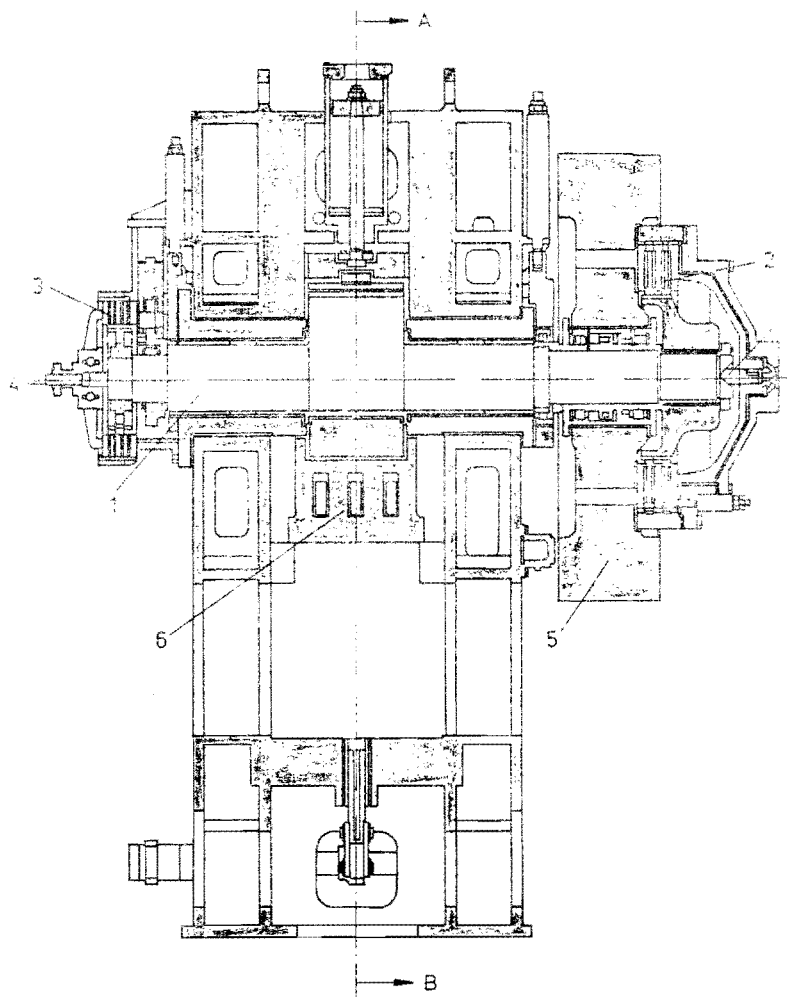
### 3.1. Exzenterpressen

In den meisten Fällen wird bei dieser Maschinenart ein Schlitten von einem Kurbeltrieb in senkrechter Richtung auf- und abbewegt. Die Lagerdurchmesser der Kurbelwelle werden infolge der hohen Beanspruchung so dick ausgeführt, daß die Kurbelwangen verschwinden und aus der Kurbelwelle eine doppelt gelagerte Exzenterwelle entsteht. Dieses Baumerkmal führt zu der Bezeichnung der Maschine als "Exzenter-Schmiedepresse". In diese Gruppe der Gesenkschmiedepressen fallen auch noch die Keilpressen, bei denen die Lotrechtbewegung des Schlittens nicht direkt über den Kurbeltrieb erzeugt wird, sondern über den Umweg eines horizontal hin- und herbewegten großflächigen Keiles. Durch diesen Keil wird der Schlitten auf der gesamten Fläche parallel geführt, wodurch insbesondere bei großen Schmiedeteilen eine verbesserte Schmiedegenauigkeit erwartet wurde. Die Praxis hat jedoch gezeigt, daß diese Verbesserung gegenüber herkömmlichen Exzenterpressen nicht so ausschlaggebend ist, daß dadurch der erheblich höhere wirtschaftliche Aufwand gerechtfertigt wird. Nach Aussage der maßgeblichen Pressenhersteller ist mit diesen Erkenntnissen der Bau von Keilpressen praktisch eingestellt worden. In der hier bearbeiteten Versuchsreihe wurde daher mangels geeigneter Objekte die Frage nach den Resterschütterungen von Keilpressen ausgeklammert; nur in einem Fall werden die Gestellbewegungen einer Keilpresse beschrieben.

### 3.2. Aufbau einer Exzenter-Schmiedepresse

In der nachstehenden Abbildung 2 ist der Aufbau einer der untersuchten Exzenter-Schmiedepressen dargestellt; das Konstruktionsprinzip unterscheidet sich nicht wesentlich von denen der übrigen untersuchten Pressen. Der Antrieb erfolgt über einen Elektromotor. Die für den Schmiedeprozess erforderliche Energie wird über den Motor in einem Schwungrad gespeichert, das hier über eine Kupp-





Schnitt durch die Maschine

Schnitt A-B

1 Exzenterwelle ; 2 Druckluft-Lamellenreibrkupplung; 3 Lamellenbremse; 4 Steuerstange, verbindet Kupplung und Bremse; 5 Schwungrad; 6 Schlitten,

Abb. 2: Aufbau einer untersuchten Exzenter-Schmiedepresse

lung direkt mit der Exzenterwelle verbunden ist. In anderen Fällen war zwischen Schwungrad und Exzenterwelle noch zusätzlich ein Vorgelege geschaltet. Die Übertragung des Drehmomentes auf die Exzenterwelle erfolgt über die pro Hub einzuschaltende Kupplung. Nach einer halben Exzenterwellenumdrehung, d.h. im unteren Totpunkt des Exzenters, erfolgt der Schmiedeschlag. Anschließend werden die bewegten Triebwerksteile der Presse durch eine Bremse verzögert und im oberen Totpunkt festgehalten.

### 3.3. Schwingungserregende Kräfte

Um die großen beweglichen Massen einer Presse aus dem Stillstand heraus in Bewegung zu setzen und anschließend wieder abzubremesen, werden kurzzeitig sehr starke Beschleunigungskräfte aufgebaut, die als Reaktionskräfte auf das Maschinengestell wirken [5]. Hierzu kommt noch die beim Umformen erzeugte Stoßkraft.

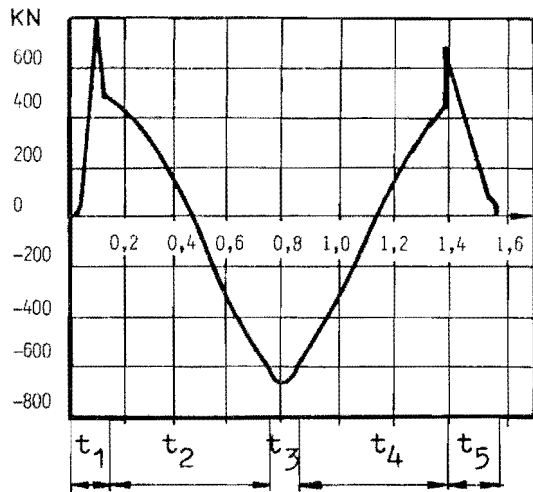
Im wesentlichen können die von einer Exzenterpresse bei jedem Arbeitsspiel ausgehenden schwingungserregenden Kräfte den folgenden fünf Phasen des Bewegungsablaufes zugeordnet werden:

- a) Einkuppelvorgang
- b) Abwärtsbewegung des Stößels
- c) Umformvorgang
- d) Aufwärtsbewegung des Stößels
- e) Bremsvorgang.

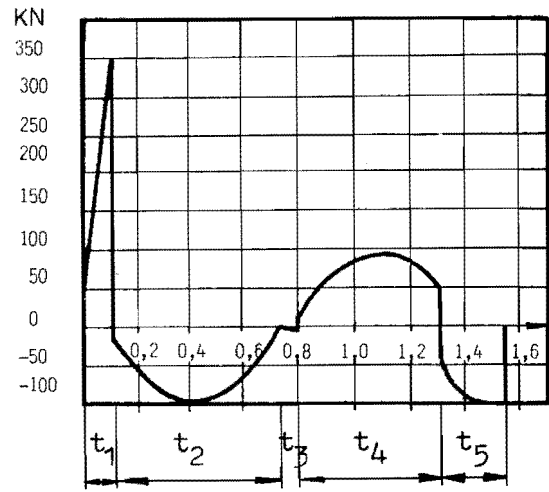
In den einzelnen Phasen, die zu einem Arbeitsspiel zusammengesetzt je nach Pressengröße etwa 0,5 ... 1,5 s andauern, werden unterschiedliche dynamische Wirkungen erzeugt. Es treten periodische und stoßartige Massenkräfte und Drehmomente auf. In der nachstehenden Abb. 3 sind beispielhaft die von A. JUNG für eine 63-MN-Exzenter-Schmiedepresse errechneten Massenkräfte und Drehmomente über den Zeitraum einer Exzenterwellenumdrehung aufgetragen [6]. Die Presse wurde dabei im Leerlauf, d.h. ohne Umformschlag betrachtet, infolgedessen fehlt in den drei Bildern der beim Aufschlag des Stößels auf das Schmiedestück im Zeitbereich  $t_3$  entstehende Stoßimpuls.

Abb. 3 zeigt, daß die Kupplungsphase ( $t_1$ ) einen Stoßimpuls in lotrechter und waagerechter Richtung und außerdem einen Drehimpuls bewirkt. In den Ab- und Aufwärtsbewegungsphasen des Stößels ( $t_2$  und  $t_4$ ) wirken die periodisch wechselnden Massenkräfte der drehend und geradlinig bewegten Massen sowie ein periodisch wechselndes Massenmoment 2. Ordnung. In der Bremsphase ( $t_5$ ) treten wiederum Stoß- und Drehimpulse auf.

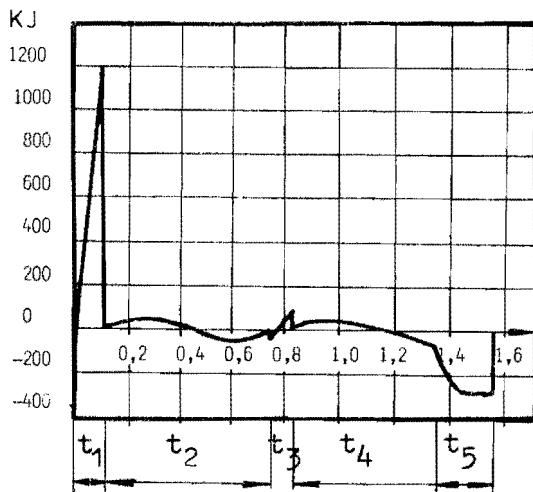
Auf das Schwingungsverhalten der Presse haben davon im allgemeinen die beim Kupplungsvorgang auftretenden Stoß- und Drehimpulse, der beim Bremsvorgang verursachte Vertikal-Stoßimpuls und die in der Zwischenphase erzeugten perio-

a) Lotrecht-Kraft  $F_z$ 

1 Exzenterwellenumdrehung

b) Waagrecht-Kraft  $F_y$ 

1 Exzenterwellenumdrehung

c) Moment  $M$ 

1 Exzenterwellenumdrehung

Phasen des Bewegungsablaufes:

- $t_1$  = Kupplungsvorgang
- $t_2$  = Abwärtsbeugung des Stößels
- $t_3$  = Unterer Totpunkt ohne Schmiedeschlag
- $t_4$  = Aufwärtsbewegung des Stößels
- $t_5$  = Bremsvorgang

Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Massenkräfte  $F_z$  und  $F_y$  sowie des Drehmomentes  $M$  einer im Leerlauf betrachteten 63 MN-Exzenterpresse

dischen Massenkräfte wesentlichen Einfluß. Darüber hinaus ist bei der Schwingungsübertragung auf den Untergrund auch der beim Umformvorgang erzeugte Vertikal-Stoßimpuls zu berücksichtigen.

Die Größe dieses in Abb. 3 nicht einbezogenen Vertikal-Stoßimpulses  $p$  in der Umformphase ( $t_3$ ) kann aus den am Stoß beteiligten Massen  $m$  von Werkzeug, Schlitten, Druckstange und Exzenter, der Auftreffgeschwindigkeit des Werkzeugs  $v_e$  und dem Stoßfaktor  $k$  aus nachstehender Formel ermittelt werden:

$$p = m \cdot v_e (1 + k) \quad (1)$$

Dabei ist  $k$  ein Maß für die "Weichheit" des zu schmiedenden Materials; der Wertebereich von  $k$  liegt etwa zwischen 0 und 0,7. Wobei  $k = 0$  für sehr "weiches" und  $k = 0,7$  für sehr "hartes" Material einzusetzen ist.

Für die hier betrachtete 63-MN-Exzenter Schmiedepresse errechnet sich dieser Vertikal-Stoßimpuls  $p$  nach Gl. 1 mit

$$m = 89 \cdot 10^3 \text{ kg}, \quad v_e = 0,18 \text{ m/s}$$

und einem gewählten Stoßfaktor von  $k = 0,7$  zu:

$$P_{t3} = 89 \cdot 10^3 \cdot 0,18 (1 + 0,7) = 27 \text{ kNs}$$

In etwa gleicher Größenordnung mit diesem Stoßimpuls, der der maximalen Pressenauslastung beim Umformen zuzuordnen ist, liegen die beim Einkuppeln und Abbremsen in lotrechter Richtung auftretenden Impulse  $p_{t1}$  und  $p_{t5}$ . Sie ergeben sich aus der Fläche unter der Kraft-Zeit-Kurve aus Abb. 3 a nach der Beziehung

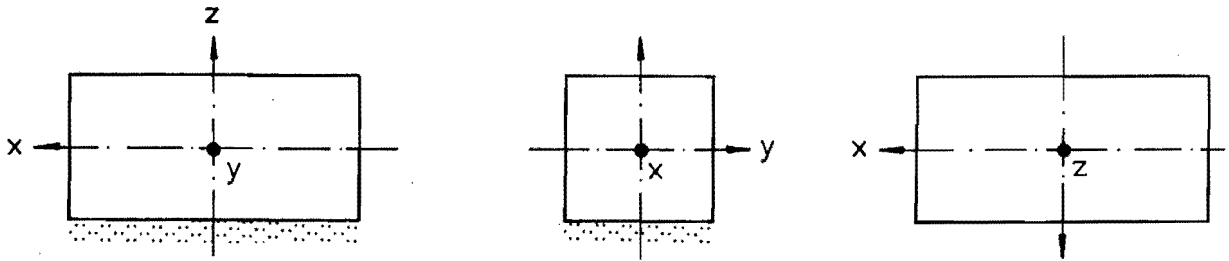
$$p = \int_{t=0}^{t=\Delta t} F_z \cdot dt \quad (2)$$

zu etwa 35 kNs, wobei  $\Delta t$  die Zeitspanne für den Kraftstoß angibt. Etwa halb so groß ist nach Abb. 3b bei der hier betrachteten 63-MN-Pressen der durch den Kupplungsvorgang verursachte maximale Waagrecht-Impuls.

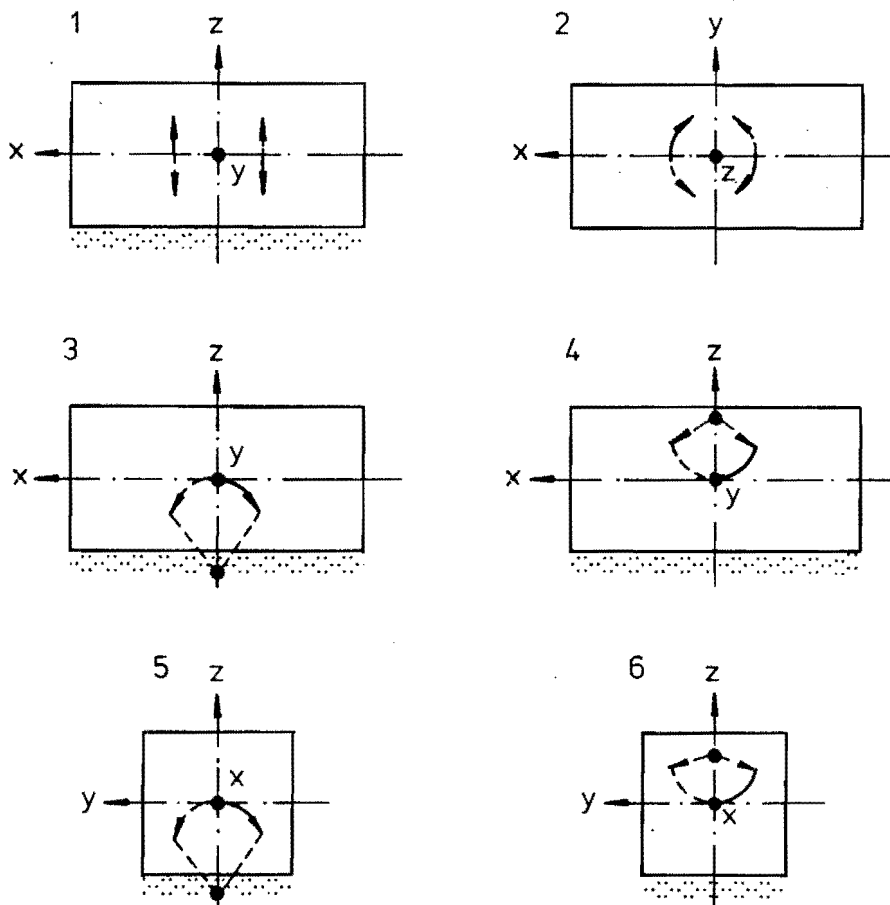
### 3.4. Schwingungen der Exzenterpresse

Die herausgestellten Stöße und periodischen Massenkräfte bewirken im wesentlichen die Pressenschwingungen, deren Ausmaß sich je nach Gründungsart der Presse auf den Aufstellungsort und von hier in die Nachbarschaft überträgt. Die Presse kann in 1. Näherung als Einmassenschwinger auf dem Untergrund angesehen werden. Ein solcher Einmassenschwinger hat sechs Freiheitsgrade [7], die je nach Erregungsart mehr oder weniger stark angeregt werden können; siehe

### Schema eines Blockfundamentes



### Eigenschwingungen eines Blockfundamentes



Bezeichnung der Eigenschwingungen:

- 1 Verschiebeeigenschwingung in der Lotrichtung
- 2 Dreheeigenschwingung um die z-Achse
- 3u.4 Nickeigenschwingungen in der Längsebene
- 5u.6 Nickeigenschwingungen in der Querebene

Abb. 4: Sechs verschiedene Formen von Eigenschwingungen eines abgedeuteten Blockfundamentes

dazu Abb. 4. Bei einer Exzentrerschmiedepresse sind es insbesondere die beiden Nickeigenschwingungen in den  $xz$ - bzw.  $yz$ -Ebenen um einen unterhalb des System Schwerpunktes liegenden Drehpol und die Lotrechteigenschwingung. Dabei werden die Nickeigenschwingungen hauptsächlich durch den am Pressenkopf angreifenden Drehimpuls sowie durch die ebenfalls am Pressenkopf angreifenden Waagrecht-Massenkräfte verursacht und die Lotrechteigenschwingungen im wesentlichen durch die unterschiedlich bedingten Vertikalkräfte. Dieser Ablauf wird durch die schematische Darstellung in Abb. 5 veranschaulicht.

Auch bei einer festen Gründung - wie sie Abb. 5 kennzeichnet - ist die Pressenaufstellung nicht als starr anzusehen. Der Baugrund besitzt federnde Eigenschaften, die mit in das schwingende System eingehen. So sind die Frequenzen der Eigenschwingungen einer fest im Erdreich gegründeten Presse im wesentlichen von den dynamischen Eigenschaften des durch die Presse belasteten Baugrundes abhängig. Je nach Maschinengröße und Bodenbeschaffenheit liegt die Lotrecht-Eigenfrequenz fest aufgestellter Pressen im allgemeinen im Bereich von 15 ... 25 Hz. Wesentlich niedriger - nämlich bei ca. 5 ... 10 Hz - liegen dagegen im allgemeinen bei fester Gründung die Frequenzen der in Abb. 5 veranschaulichten Nickeigenschwingungen von Pressen.

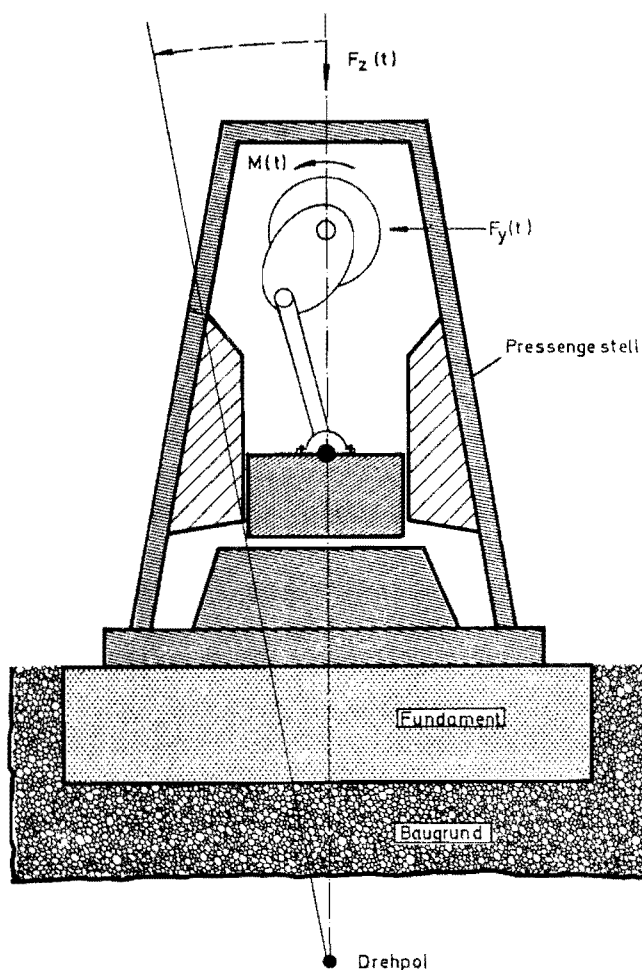


Abb. 5: Prinzipskizze des Schwingungssystems Presse/Baugrund bei "fester" Gründung

#### 4. Schwingungsübertragung

Bei jedem Arbeitsspiel, das bei den hier betrachteten Exzenter-Schmiedepressen durch eine volle Umdrehung der Exzenterwelle gekennzeichnet ist, werden dem Aufstellungsort im wesentlichen die tieffrequenten Schwingungen im Takt der Nickeigenfrequenzen und die höherfrequenten Schwingungen im Takt der Lotrechteigenfrequenz aufgezwungen. Im Nahbereich der Presse bestimmen erfahrungsgemäß höherfrequente Anteile das Ausmaß der Baugrundschwingungen; das Schwingungsbild gleicht daher dem eines Hammerschlages. Mit zunehmender Entfernung vom Aufstellungsort ändert sich das Schwingungsbild auffallend. Infolge einer frequenzabhängigen Bodendämpfung, die bei sehr niedrigen Frequenzen gegen Null strebt, heben sich die tieffrequenten Anteile immer stärker aus dem Schwingungsbild heraus und bestimmen in Abständen ab ca. 100 m von konventionell aufgestellten Pressen im wesentlichen das Bild. Für das mögliche Ausmaß von Erschütterungsimmissionen in Wohnhäusern können gerade diese tieffrequenten Pressenschwingungen entscheidend sein. Dies ist immer dann der Fall, wenn deren Frequenzen mit Eigenfrequenzen von Gebäuden oder Bauteilen übereinstimmen.

##### 4.1. Einwirkung der Pressenschwingungen auf Wohnhäuser und deren Bauteile

###### 4.1.1. Einwirkung auf Gesamtgebäude

Ein Gebäude kann, wie jede andere auf dem Baugrund aufgestellte Anlage, durch dynamische Einwirkungen zu Eigenschwingungen angeregt werden. Dies ist immer dann zu erwarten, wenn eine Frequenz der Erschütterungsemission mit einer der Eigenfrequenzen zusammenfällt oder zumindest im Bereich einer Eigenfrequenz liegt. In der Praxis hat sich gezeigt, daß durch technische Quellen vorzugsweise die Nickeigenschwingungen von Gebäuden mit tiefliegenden Drehpolen angeregt werden, deren niedrigste Eigenfrequenz überschlägig nach der empirisch abgeleiteten Beziehung

$$f = \frac{10}{n} \quad [\text{Hz}] \text{ mit } n \text{ als Stockwerkzahl} \quad (3)$$

geschätzt werden kann [8]. Vielfach sind es ein- bis dreigeschossige Wohnhäuser mit niedrigsten Eigenfrequenzen im Bereich unterhalb etwa 10 Hz, die insbesondere von Sägegattern [9], Gegenschlaghämmern und den hier behandelten Schmiedepressen zu Nickeigenschwingungen angeregt werden. In Abb. 6 ist schematisch eine solche Schwingungserregung durch eine Exzenterpresse dargestellt.

Das Ausmaß der Waagrecht-Bewegungen steigt mit zunehmender Gebäudehöhe und ist neben der Intensität der auf das Gebäude einwirkenden Emissionen entscheidend davon abhängig, inwieweit eine Frequenz der Störschwingung mit der Eigenfrequenz übereinstimmt. Im Resonanzfall, d.h. bei Übereinstimmung von Stör- und Eigenfrequenzen, treten Größtwerte auf; dies wird durch Abb. 7 veranschaulicht.

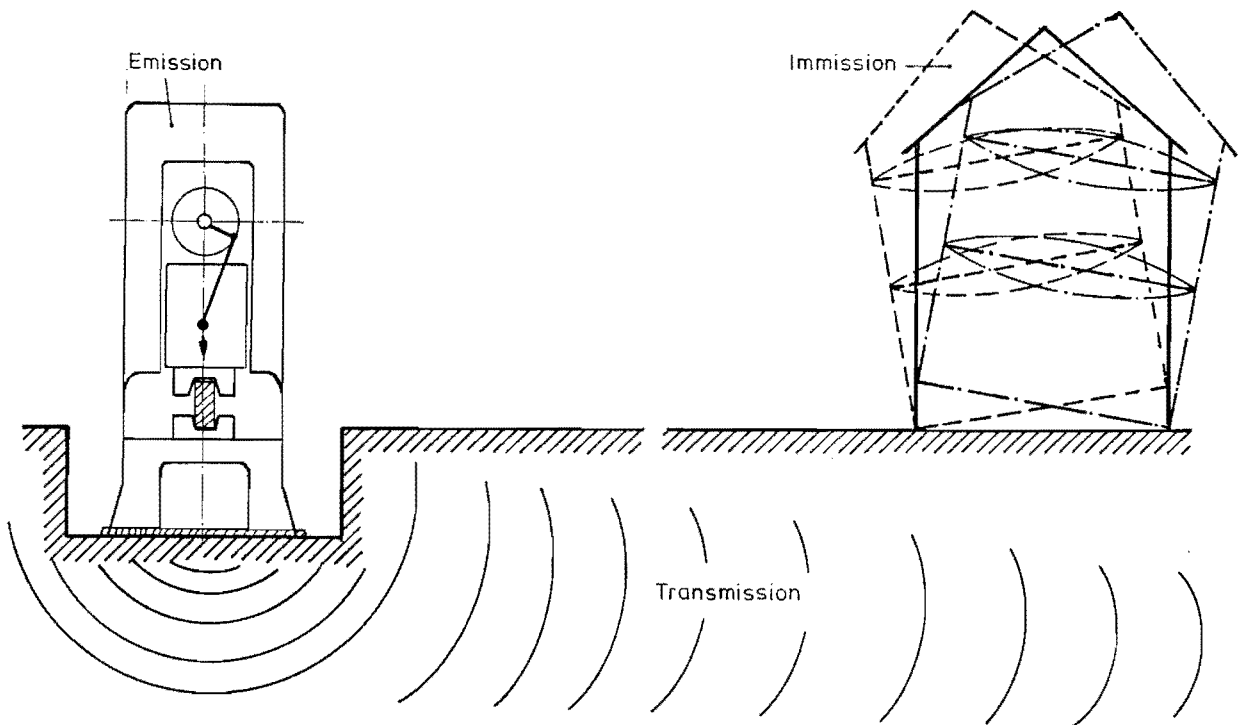


Abb. 6: Prinzipielle Darstellung der Erschütterungsausbreitung

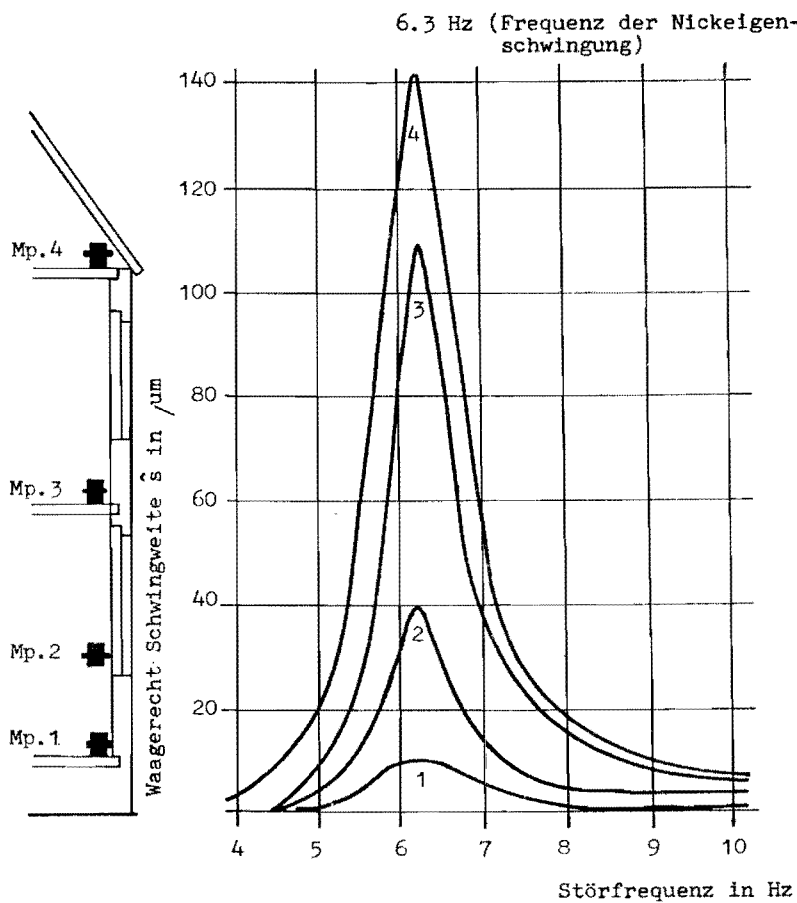


Abb. 7: Waagrecht-Resonanzkurven eines zweigeschossigen Wohnhauses



Das zweigeschossige Gebäude mit einer niedrigsten Nickeigenfrequenz von  $f = 6,3$  Hz wurde stationär zu Waagrecht-Schwingungen im Frequenzbereich von etwa 4 ... 10 Hz angeregt. Aus den an vier übereinanderliegenden Meßpunkten 1 ... 4 erfaßten Waagrecht-Schwingungen wurden die Schwingwege in Abhängigkeit von der Frequenz ermittelt und die jeweiligen Wertepaare zu Resonanzkurven miteinander verbunden.

Auch bei nicht stationären Schwingungsvorgängen, wie beispielsweise durch Schmiedepressen verursacht, kann ein Gebäude ähnlich reagieren. Der Betrieb der Presse mit seinen kurzzeitigen Erregungsphasen kann in benachbarten Wohnhäusern zu quasistationärer Anregung führen und damit im Resonanzfall lang anhaltende Schwingungen bewirken. Von den Bewohnern werden derartige Schwingungen im allgemeinen als besonders belästigend wahrgenommen.

#### 4.1.2. Einwirkungen auf Bauteile

Während die tieffrequenten Anteile der Pressenschwingungen im wesentlichen zu den v.g. Schwingungen von Gesamtgebäuden führen, werden von den stoßbedingten höherfrequenten Anteilen vorwiegend Einzelbauteile und hiervon insbesondere die Gebäudedecken zum Schwingen angeregt; siehe dazu Abb. 6. Es sind die Grund-Biegeeigenschwingungen der Decken, die bei jedem Stoßvorgang angeregt werden und dann ausklingen. Die Eigenfrequenzen dieser Biegeschwingungen liegen erfahrungsgemäß zwischen etwa 20 und 30 Hz mit einem Schwerpunkt um etwa 23 Hz.

Abb. 8 zeigt die Aufzeichnung solcher Biegeschwingungen einer Wohnraumdecke, die beim Betrieb einer fest aufgestellten Exzenterpresse verursacht wurden.

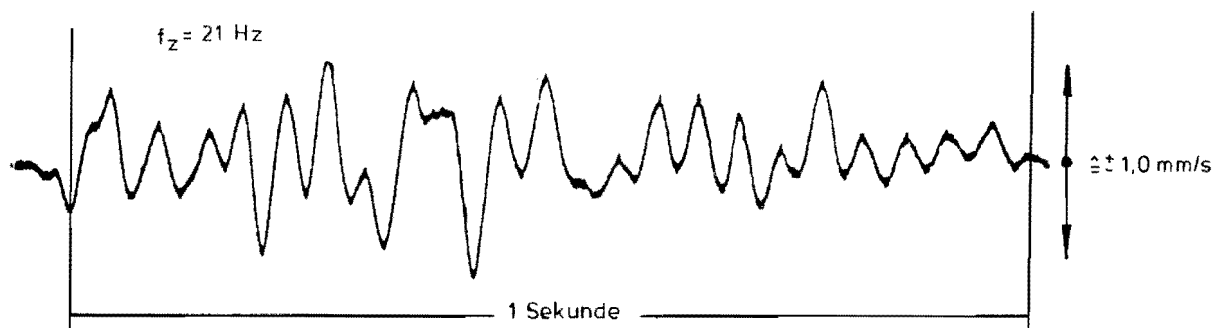


Abb. 8: Lotrecht-Deckenschwingungen

## 5. Die Reaktion von Menschen in Wohnungen auf den Betrieb fest aufgestellter Schmiedepressen

Aus Unkenntnis über mögliche Erschütterungsimmissionen sind in den zurückliegenden Jahren mehrere Schmiedepressen trotz nahegelegener Wohnungen ohne Maßnahmen für einen Erschütterungsschutz fest gegründet betrieben worden. Dies ist mit darauf zurückzuführen, daß Schmiedepressen nicht zu den genehmigungsbedürftigen Anlagen nach [10] zählen. In allen Fällen hat der Betrieb dieser fest aufgestellten Pressen zu Beschwerden über unzumutbare Erschütterungsbelästigungen im Nachbarschaftsbereich geführt. Drei dieser Fälle traten in NRW auf und wurden von der LIS bearbeitet. Die Beschwerden waren berechtigt; die Erschütterungseinwirkungen wurden im Sinne des BImSchG [11] als erheblich belästigend eingestuft. Noch in Abständen von etwa 100 m von den Schmiedepressen wurden bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärken entsprechend der bislang noch gültigen Vornorm der DIN 4150, Bl. 2 [12] bis zu  $KB = 1$  durch Messungen ermittelt. Diese Wahrnehmungsstärken liegen etwa um den Faktor 10 über der bei ca.  $KB = 0,1$  anzusetzenden Wahrnehmungsschwelle des Menschen und werden nach [13] als gut spürbar bezeichnet.

In den drei Fällen wurde den Betreibern der Schmiedepressen von den zuständigen Staatlichen Gewerbeaufsichtsämtern auferlegt, die Erschütterungen durch geeignete Maßnahmen soweit zu mindern, daß die vorgegebenen Anhaltswerte nach [12] eingehalten werden, da andernfalls mit einer Anordnung zur Stilllegung der erschütterungsemittierenden Presse zu rechnen sei. Zwei dieser Fälle sind in die hier vorgestellte Versuchsreihe einbezogen. Die 3. Presse wurde aus dem Wohngebiet heraus verlagert.

## 6. Technische Maßnahmen zur nachträglichen Erschütterungsminderung

Da durch konstruktive Maßnahmen an der Presse selbst im allgemeinen keine nennenswerte Minderung der schwingungserregenden Kräfte erreicht werden kann, verbleibt als einzige mögliche technische Minderungsmaßnahme eine elastische Pressenaufstellung. Dabei werden die von der Presse verursachten schwingungserregenden Kräfte an der Übertragung in den Baugrund gehindert. Man bezeichnet diese Maßnahme als Schwingungsisolierung, wobei der Isolierfaktor die gegenüber einer festen Gründung erreichte Minderung der schwingungserregenden Kräfte kennzeichnet.

Der Isolierfaktor ist vom Verhältnis der Eigenfrequenzen der Presse bei fester und gefederter Aufstellung abhängig. Als Einzahlangabe für den Isolierfaktor gilt:

$$I = \left( 1 - \frac{f_{\text{elastisch}}}{f_{\text{fest}}} \right) \cdot 100 \% \quad (4)$$

$f_{\text{elastisch}}$                       Eigenfrequenz der gefederten Presse  
 $f_{\text{fest}}$                                 Eigenfrequenz der fest gegründeten Presse  
 Bedingung .....                     $f_{\text{elastisch}} \ll f_{\text{fest}}$

Nähere Angaben und Hinweise sind im einschlägigen Schrifttum zu finden, z.B. in [14]. Bei Schmiedepressen sind dabei insbesondere die Frequenzen von drei leicht anregbaren Eigenschwingungen von wesentlicher Bedeutung, und zwar - wie an Abb. 5 veranschaulicht - die Frequenz der Lotrechteigenschwingung und die Frequenzen der Nickeigenschwingungen in der yz- und xz-Ebene um einen unterhalb des Massenschwerpunktes im Erdreich liegenden Drehpol. Idealisiert man die Schmiedepresse als Einmassenschwinger, so gilt bei Vernachlässigung der Dämpfung für die Lotrechteigenfrequenz:

$$f_z = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_z}{m}} \quad [\text{Hz}] \quad (5)$$

$c_z$  = Lotrechtfedersteife der Unterlage in N/m  
 $m$  = Masse des Systems in kg

Kennt man die Einsenkung der Federelemente durch das Aufsetzen der Presse, so kann die Lotrechteigenfrequenz auch aus folgender Beziehung ermittelt werden:

$$f_z = \frac{5}{\sqrt{\delta}} \quad [\text{Hz}], \text{ wenn } \delta \text{ in cm eingesetzt wird} \quad (6)$$

Darin ist  $c$  durch  $\frac{F}{\delta}$  und  $m$  durch  $\frac{F}{g}$  ersetzt.

Für die Nickeigenfrequenzen sind die Berechnungsmethoden komplizierter als für die vorstehend abgehandelte Lotrechteigenfrequenz. Die vier möglichen Nickeigenschwingungen eines Einmassenschwingers setzen sich nämlich aus den Waagrechtigenschwingungen des gefederten Systems und den Dreheigenschwingungen um den Schwerpunkt des Systems zu sogenannten Koppelschwingungen zusammen. Eingehende theoretische Betrachtungen über diese Koppelschwingungen sind u.a. in der Arbeit von RAUSCH [7] enthalten.

Die Bestimmung der Nickeigenfrequenzen erfolgt hierbei über Gleichung (6), wobei jedoch hier für  $\delta$  die aus Abb. 9 ersichtlichen Verschiebungen in cm einzusetzen sind. Mit  $\delta_1$  wird dabei die zur Nickeigenschwingung um den oberen Drehpol und mit  $\delta_2$  die zur Nickeigenschwingung um den unteren Drehpol gehörende Frequenz für eine der beiden zu betrachtenden Schwingungsebenen bestimmt.

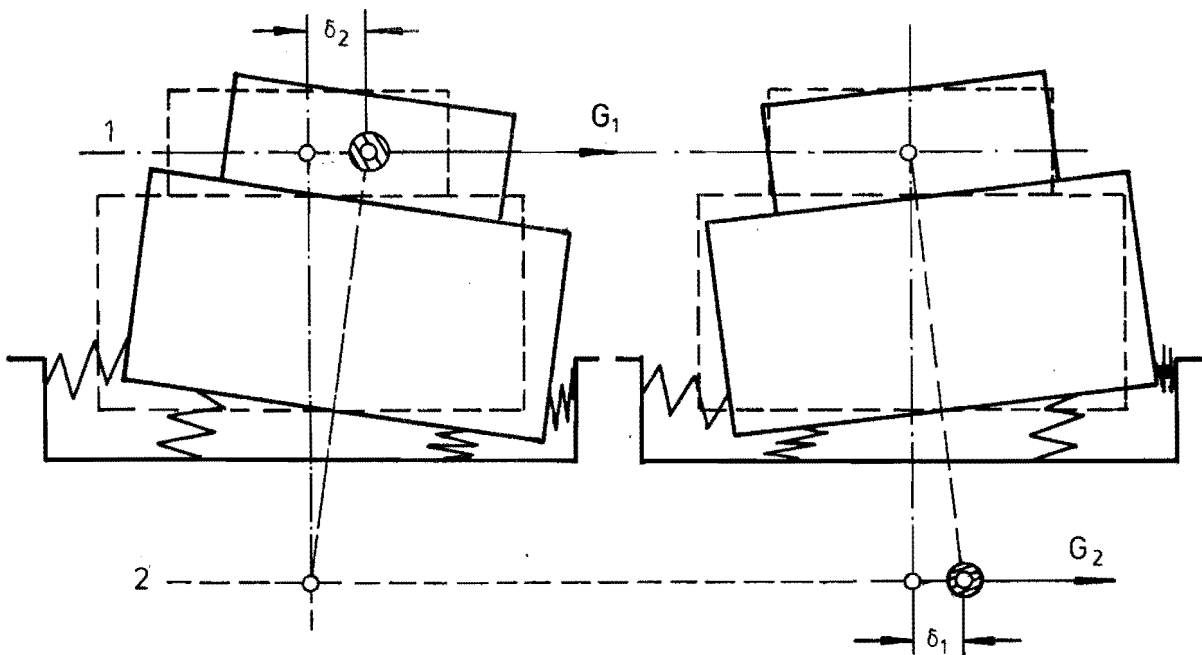


Abb. 9: Verschiebungen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  zur Bestimmung der Nickeigenfrequenz

Im weiteren wird nur  $\delta_2$  zur Bestimmung der zur Nickeigenschwingung um den unteren Drehpol in der  $yz$ -Ebene gehörenden Eigenfrequenz betrachtet. Nach RAUSCH ist:

$$\delta_2 = G_2 [\delta_y + (p_2 - s)^2 \varphi_x] \text{ in cm} \quad (7)$$

Die einzelnen Rechengrößen sind nachstehend veranschaulicht.

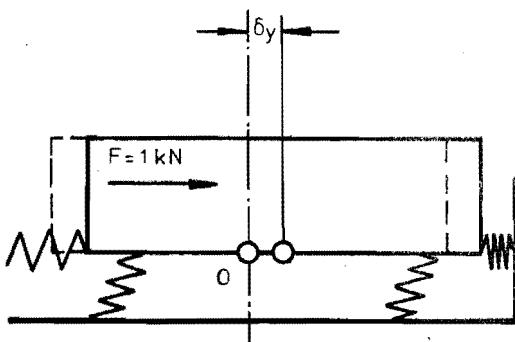


Abb. 10a:

$\delta_y$  = Waagrecht-Verschiebung des gefederten Systems infolge einer Kraft von  $F = 1 \text{ kN}$

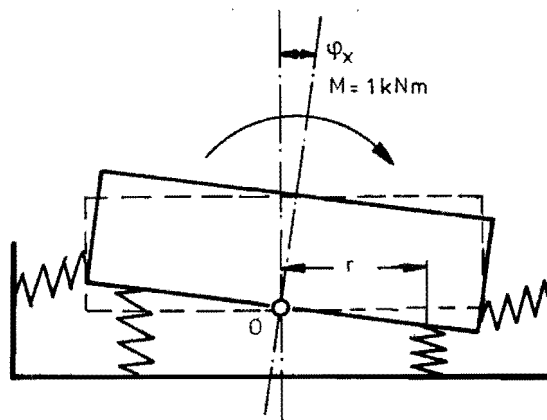


Abb. 10b:

$\varphi_x$  = Verdrehung um den elastischen Mittelpunkt O infolge eines Momentes von  $1 \text{ kNm}$  um die  $x$ -Achse

$$\delta_y = \frac{1 \text{ kN}}{c_y \text{ kN/m}} \text{ in m}$$

$$\varphi_x = \frac{1 \text{ kNm}^{-1}}{\sum c_z \cdot r^2 \text{ kN/m} \cdot \text{m}^2}$$

$C_y$  = Federsteifigkeit in y-Richtung     $C_z$  = Federsteifigkeit in z-Richtung

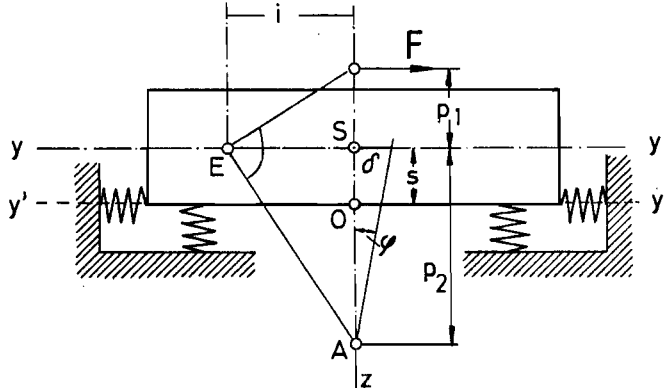


Abb. 11: Nickschwingungen eines federnd gelagerten Systems

$$p_2 = -p_O - \sqrt{p_O^2 + i^2} \quad \text{in m}$$

$$p_O = \frac{\delta_y / \varphi_x + s^2 - i^2}{2s} \quad \text{in m}$$

$$i^2 = \frac{I \text{ [kNm}^2\text{]}}{G \text{ [kN]}} \quad \text{in m}^2$$

$$G_2 = G \cdot \frac{p_1}{p_1 + p_2}$$

$I$  = Gewichtsträgheitsmoment des Systems bezogen auf die zur Bildebene  $\perp$  stehende Schwerachse (hier x-Achse)

$G$  = Gewicht des gefederten Systems in kN

Die drei v.g. Eigenfrequenzen des gefederten Systems müssen zur Erreichung einer Isolierwirkung von etwa 80 % nach Gleichung (4) um mindestens 80 % niedriger liegen als die entsprechenden Eigenfrequenzen des festgegründeten Systems. In der Praxis ist dieses Ziel nicht immer für alle drei Eigenschwingungen zu erreichen, da die zu den Nickeigenschwingungen gehörenden Eigenfrequenzen  $f_{yz}$  und  $f_{xz}$  zur Vermeidung von Resonanz etwa 30 % oberhalb der Exzenterwellendrehzahl liegen sollten. Unter die Exzenterwellendrehzahl können die Eigenfrequenzen nicht gelegt werden, weil die Presse dann zu große Gestellschwingungen

ausführen würde. Meist ist die Minderung aber auch ausreichend, wenn für die Lotrichtung ein Isolierfaktor von etwa 80 % erreicht wird. Dazu ist eine Lotrechteigenfrequenz je nach Baugrundverhältnissen von 4 ... 5 Hz anzustreben.

Durch Dämpfungseinrichtungen, die in Parallelschaltung zu den Federelementen im wesentlichen ein schnelles Abklingen der frei ausklingenden Gestelleigen-schwingungen bewirken sollen, wird auch eine geringfügige Absenkung der unter Vernachlässigung der Dämpfung errechneten Eigenfrequenzen und eine geringfügige Verbesserung der Isolierwirkung erzielt.

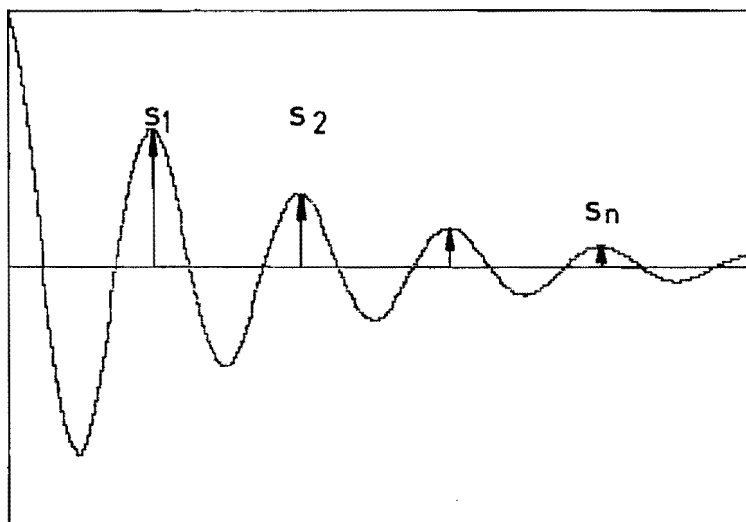
Die Wiederholungszeiten für das Hin- und Herpendeln der nach jedem Arbeits-spiel frei ausklingenden Presseneigen-schwingungen werden durch die ins System eingebaute Dämpfung im Vergleich zur ungedämpften Schwingung verkürzt. Bei geschwindigkeitsproportionaler Dämpfung gilt für den linearen Einmassenschwin-ger nach [15] für die gedämpfte Schwingung:

$$f_D = \sqrt{f_0 \cdot 1 - D^2} \quad (8)$$

$f_D$  = Eigenfrequenz der gedämpften Schwingung

$f_0$  = Eigenfrequenz der ungedämpften Schwingung

$D$  = Dämpfungsmaß nach LEHR, das folgendermaßen ermittelt wird:



$$D = \frac{\mathcal{D}}{\sqrt{4 \cdot \pi^2 + \mathcal{D}^2}}$$

$$\mathcal{D} = \ln \frac{S_1}{(n-1) S_n}$$

hier  $D = 0,1$

Abb. 12: Ermittlung des Dämpfungsmaßes  $D$

Der Wertebereich für  $D$  liegt zwischen 0 (ungedämpft) und 1 mit aperiodischer Dämpfung. Das in Abb. 12 veranschaulichte Dämpfungsmaß von  $D = 0,1$  ist für die Schwingungen direktabgefederter Pressen ein üblicher Wert. Dadurch werden die Eigenfrequenzen gegenüber dem ungedämpften Zustand um weniger als 1 % verringert und die Isolierwirkung um etwa 2 % erhöht.

## 7. Die Schwingungsisolierung von Schmiedepressen

Bei der elastischen Pressenaufstellung wirken die eingangs erläuterten Kräfte und Momente auf den abgefederten Maschinenkörper ein, wodurch der Körper unter den Kraftwirkungen ausweicht. Diese Schwingungsbewegungen führen zu Reaktionskräften, die bei richtiger Wahl der Feder-Elemente den eigentlichen Erregerkräften entgegen wirken. Dadurch werden die unterhalb der Abfederung noch einwirkenden Kräfte gegenüber den Erregerkräften um den Isolierfaktor gemindert.

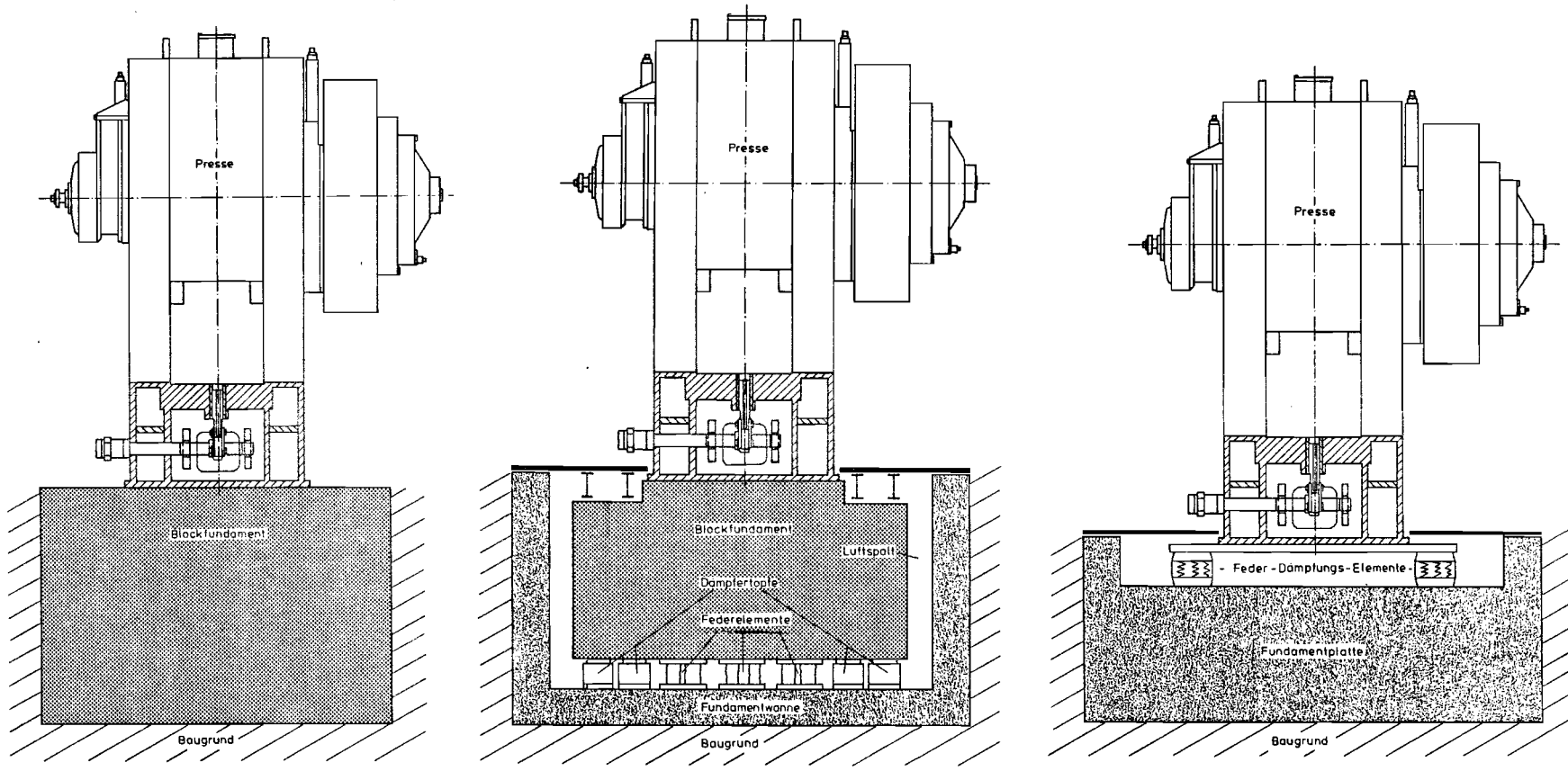
Bei der Planung einer Schwingungsisolierung sind drei Größen von ausschlaggebender Bedeutung:

1. die dynamischen Erregerkräfte
2. die angestrebten Restkräfte
3. die maximal zulässigen Gestellbewegungen

Die Restkräfte und die Gestellbewegungen sind dabei zwei gegensinnig verlaufende Größen. Je kleiner bei einer vorgegebenen Presse durch die gewählte Federung die Restkräfte werden, umso größer werden im allgemeinen die Gestellbewegungen. Anfänglich haben Hersteller und Betreiber von Schmiedepressen derart niedrige Gestellbewegungen vorgegeben, daß eine ausreichende Isolierung nur durch Einbau großer Zusatzmassen in das schwingende System möglich war. Das bei fester Gründung benötigte Fundament der Presse wurde als Block mit in die Abfederung einbezogen und die elastische Zwischenschicht zwischen Blockunterkante und Baugrund in einer Fundamentwanne eingebaut. Dies bedeutet in jedem Fall einen großen Platzbedarf, insbesondere während der Bauphase, der in den meisten Fällen nicht zur Verfügung steht. Erschwerend kommen noch wirtschaftliche Gesichtspunkte hinzu, denn die umzustellende Presse würde jeweils langfristig ausfallen. Diese Zwänge führten im Jahre 1979 in einem konkreten Fall dazu, daß ein Betreiber von den bislang vorgegebenen Gestellbewegungen bei der Vergabe eines Auftrages zur Schwingungsisolierung abwich und größere, nicht eindeutig definierte Bewegungen zuließ. Damit war eine Schwingungsisolierung ohne Zusatzmasse möglich. Die anstehende 80-MN-Exzenter-Schmiedepresse wurde über einen zusätzlichen Stahlrahmen unmittelbar auf dem bestehenden Fundament abgefedert. Diese Aufstellungsart wurde - wie seit einiger Zeit bei den Schmiedehämmern üblich - Direktabfederung genannt. In Abb. 13 sind die drei unterschiedlichen Aufstellungsarten feste Gründung, Blockabfederung und Direktabfederung gegenübergestellt. Die hier interessierenden schwingungstechnischen Unterschiede sind:

Bei der festen Gründung werden die innerhalb des Pressensystems erzeugten schwingungserregenden Kräfte praktisch in voller Höhe in den Baugrund übertragen; die Presse selbst führt vom subjektiven Eindruck her kaum sichtbare Bewegungen aus.

Bei der schwingungs isolierten Aufstellung wird unabhängig davon, ob es sich um eine Blockabfederung oder um eine Direktabfederung handelt, im allgemeinen



a) feste Aufstellung

b) Blockfederung

c) Direktabfederung

Abb. 13: Unterschiedliche Gründungsarten



nur noch ein geringer Anteil der schwingungserregenden Kräfte von der Presse in den Baugrund übertragen. Die Gestellbewegungen sind dagegen wesentlich von der mitschwingenden Masse des gefederten Systems abhängig.

Bei der Blockfederung wird das Gestell im allgemeinen zu schon sichtbaren schwingenden Bewegungen angeregt; sie sind jedoch infolge der großen Zusatzmasse immer noch relativ gering und am Ende jedes Arbeitsspiels praktisch abgeklungen.

Bei der Direktabfederung treten relativ große schwingende Gestellbewegungen auf; sie werden zwar subjektiv meist überschätzt, liegen aber in Exzenterwellenhöhe im cm-Bereich und treten über den Zeitraum eines Arbeitsspiels hinausgehend auf; siehe dazu [16].

In der Praxis ist ein geeigneter Kompromiß zwischen möglichst kleinen, am Federfußpunkt noch wirkenden Restkräften  $F_R$  und den zu erwartenden größten Gestellbewegungen  $s_{max}$  zu suchen. Aus der Sicht des Nachbarschaftsschutzes vor störenden Erschütterungen sollte  $F_R$  möglichst klein sein, d.h. eine möglichst große Isolierwirkung der von der Presse verursachten Erregerkräfte  $F_E$  angestrebt werden. Andererseits verfolgt der Betrieb das Ziel möglichst kleiner Gestellbewegungen, ohne dabei die angestrebte Größenordnung von  $s_{max}$  technisch exakt begründen zu können. Selbstverständlich ist, daß die Standsicherheit der abgefederten Presse gewährleistet sein muß, weiterhin ist einsichtig, daß die Bedienung der Presse nicht erschwert, die Schmiedegüte nicht beeinflußt, und die Maschinenteile nicht gefährdet werden dürfen. Nur die Standsicherheit kann zahlenmäßig fixiert werden; für die übrigen Forderungen fehlen dagegen abgesicherte Werte. Infolgedessen muß jede schwingungs-isolierte Maschinenaufstellung, die bislang nicht übliche Maschinenbewegungen zur Folge hat, als Versuch aufgefaßt werden. Der Versuch muß zeigen, ob und inwieweit durch die größere Beweglichkeit der Anlage über einen längeren Zeitraum gesehen nachteilige Auswirkungen auftreten.

Die Direktabfederung der Schmiedepressen stellte anfänglich einen solchen Versuch dar. Man ging davon aus, durch die Direktabfederung in etwa auch die bei der bislang üblichen Blockfederung erzielte Isolierwirkung von ca.  $I = 80\%$  gegenüber der festen Gründung zu erreichen und die dabei auftretenden schwingenden Gestellbewegungen in einem vertretbaren Bereich zu halten.

Als wesentlicher Schritt für die praktische Einführung der Direktabfederung von Schmiedepressen wurde daher zunächst die Quantifizierung der beiden v.g. physikalischen Größen  $I$  und  $s_{max}$  angestrebt. Diese Aufgabe hat die LIS übernommen: In diesem Bericht werden die Problematik und praktikable Ansätze zur Quantifizierung dieser Größen aufgezeigt.

## 8. Ermittlung der Isolierwirkung und der Gestellbewegungen bei direkt abgefeder- ten Schmiedepressen

Von der LIS sind in den vergangenen fünf Jahren sechs direkt abgefeder- te Exzenter-Schmiedepressen hinsichtlich der erzielten Isolierwirkung und der vorhandenen Gestellbewegungen meßtechnisch überprüft worden. Zwei dieser Pressen, nämlich eine 80-MN- und eine 63-MN-Exzenter-Schmiedepresse, waren ursprünglich fest gegründet und mußten aus Immissionsschutzgründen nachträglich abgefedert werden. Bei den übrigen vier Exzenterpressen von 40-, 20-, 15- und 12,5-MN-Preßkraft ist die Direktabfederung schon im Planungsstadium berücksichtigt und bei der Neuaufrstellung vorgenommen worden.

### 8.1. Untersuchte Pressen

Presse Nr. 1	80-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 708 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 10 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = \text{zunächst } 34/\text{min und}$ $\text{später } 40/\text{min}$
	Schwungradrehzahl	$n = 150/\text{min}$

Diese Presse war zunächst auf einem festgegründeten Fundamentblock montiert und wurde schon kurz nach der Inbetriebnahme am vorhandenen Standort als erste Schmiedepresse überhaupt direkt abgefedert; siehe dazu [1, 6].

Presse Nr. 2	63-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 670 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 12 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 38,7/\text{min}$
	Schwungradrehzahl	$n = 180/\text{min}$

Auch diese Presse stand zunächst auf einem starr gegründeten Block und wurde ebenfalls aus Immissionsschutzgründen am vorhandenen Standort direkt abgefedert.

Presse Nr. 3	40-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 326 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 10 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 50/\text{min}$
	Schwungradrehzahl	$n = 356/\text{min}$

Diese Presse wurde als Neuanlage direkt abgefedert aufgestellt.

Presse Nr. 4	20-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 135 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 6 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 70/\text{min}$
	Schwungraddrehzahl	$n = 300/\text{min}$

Die Presse wurde als Neuanlage direktabgefedert aufgestellt.

Presse Nr. 5	15-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 90 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 6 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 70/\text{min}$
	Schwungraddrehzahl	$n = 310/\text{min}$

Auch diese Presse wurde als Neuanlage direktabgefedert aufgestellt, jedoch nicht aus Immissionsschutzgründen, sondern aus Platz- und arbeitstechnischen Gründen.

Presse Nr. 6	12,5-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 80 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 5 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 108/\text{min}$
	Schwungraddrehzahl	$n = 100/\text{min}$

Diese Presse wurde als Neuanlage aus Immissionsschutzgründen direktabgefedert aufgestellt.

Darüberhinaus wurde an zwei blockgefederten Schmiedepressen vergleichsweise das Bewegungsverhalten überprüft; dabei handelte es sich um folgende Pressen:

Presse Nr. 7	25-MN-Exzenterpresse	
	Maschinenmasse	$m = 155 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Fundamentblockmasse	$m = 195 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 7 \text{ m}$
	Blockhöhe	$h = 3 \text{ m}$
	Exzenterwellendrehzahl	$n = 70/\text{min}$
	Schwungraddrehzahl	$n = 325/\text{min}$

Diese Presse ist maschinenmäßig in etwa mit der Presse Nr. 4 zu vergleichen.

Presse Nr. 8	63-MN-Keilpresse	
	Maschinenmasse	$m = 550 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Fundamentblockmasse	$m = 750 \cdot 10^3 \text{ kg}$
	Maschinenhöhe	$h = 8 \text{ m}$
	Blockhöhe	$h = 5,15 \text{ m}$
	Hubzahl	$n = 40/\text{min}$

Diese Presse ist zumindest leistungsmäßig mit der Presse Nr. 2 zu vergleichen.

## 8.2. Ermittlung der erzielten Isolierwirkung

Grundsätzlich müßten dazu die vor und nach der Abfederung unter sonst gleichen Bedingungen von der Presse auf den Baugrund übertragenen schwingungserregenden Kräfte  $F_{\text{dyn}}$  bestimmt werden. Hiermit ließe sich der Isolierfaktor  $I$  zu

$$I_F = \frac{F_{\text{fest}} - F_{\text{abgef.}}}{F_{\text{fest}}} \cdot 100 \% \quad (9)$$

ermitteln. Bei den schweren Pressen setzt dieser Weg einen von der Sache her nicht vertretbaren Aufwand voraus. Es wurden deshalb anstelle der Kräfte  $F(t)$  die Baugrundschrwingungen als  $v(t)$  gemessen. Dabei wurde unterstellt, daß die Schwinggeschwindigkeiten  $v$  den Kräften  $F$  proportional sind. Aus den vor und nach der Federung festgestellten  $v$ -Werten errechnet sich die Isolierwirkung zu

$$I_v = \frac{v_{\text{fest}} - v_{\text{abgef.}}}{v_{\text{fest}}} \cdot 100 \% \quad (10)$$

Die Baugrunderschütterungen wurden als  $v(t)$ -Signal im allgemeinen in jeweils 6,3 und 10 m Abstand von den Mittelpunkten der untersuchten Pressen in den drei Richtungen  $z$ ,  $x$  und  $y$  gemessen. Dabei bedeuten:

- $z$  = Lotrichtung
- $x$  = waagrecht parallel zur Kurbelwellenlängsachse
- $y$  = waagrecht rechtwinklig zur Kurbelwellenlängsachse

Außerdem wurde bei den Untersuchungen an den Pressen 1, 2, 3 und 6 die Isolierwirkung aus den Deckenerschütterungen  $v(t)$  in benachbarten Gebäuden ermittelt.

### 8.3. Ermittlung der Gestellbewegungen

Bei allen untersuchten Pressen wurden die Waagrecht-Gestellschwingungen  $s(t)$  in den Richtungen  $x$  und  $y$  in verschiedenen Höhen gemessen.

Bei den Pressen 1, 4 und 6 wurden darüberhinaus die im gefederten Zustand auftretenden Lotrecht-Gestellbewegungen  $s(t)$  gemessen.

### 8.4. Betriebsbedingungen der Pressen während der Messungen

Alle Messungen wurden bei normalen Betriebsabläufen vorgenommen; bei jeder Presse wurde eine, auf den Betreiber bezogene max. Auslastung eingestellt. Die Meßwerte wurden bei jeweils ca. 10 hintereinander ausgeführten Arbeitsspielen unter stets gleichen Randbedingungen erfaßt.

### 8.5. Messungen bei starrer und gefederter Pressenaufstellung

Bei den Pressen 1 und 2 wurden die Messungen vor und nach den aus Immissionschutzgründen notwendigen Umbaumaßnahmen vorgenommen; der Standort der Pressen blieb dabei unverändert.

Bei den Pressen 3, 4 und 6, die als Neuanlagen direktabgefedert aufgestellt wurden, wurde für die Messungen eine annähernd starre Aufstellung durch "Aus-schalten" der Feder-Dämpfungs-Elemente realisiert. Die Pressen stützten sich dabei über Stahlblöcke anstelle der Elemente gegenüber dem Fundament ab.

Die direktabgefederte Presse 5 stand unmittelbar neben einer festgegründeten Presse gleichen Typs. Hier wurden beide Pressen in die Versuchsreihe einbezogen, wobei unter den vorgegebenen betrieblichen und auch bautechnischen Randbedingungen davon auszugehen ist, daß die zwischen beiden Pressenmessungen ermittelten Abweichungen allein durch die unterschiedlichen Gründungen bedingt sind.

## 9. Benutzte Meßeinrichtungen

### 9.1. Baugrund- und Geschoßdeckenerschütterungen

Für die Messung der Erschütterungen auf dem Baugrund und auf den Geschoßdecken wurden Schwinggeschwindigkeitsaufnehmer mit einer Kennfrequenz von etwa  $f_0 = 4$  Hz eingesetzt. Die den Schwinggeschwindigkeiten proportionalen Meßspannungen wurden von einem mehrkanaligen UV-Schreiber direkt aufgezeichnet. Die Meßkette hat einen praktisch geradlinigen Frequenzgang im Bereich von  $f = 5 \dots 150$  Hz.

## 9.2. Waagrecht-Gestellbewegungen

Die Waagrecht-Bewegungen der Pressen wurden in den beiden Ebenen x und y in verschiedenen Höhen mit Schwingbeschleunigungsaufnehmern meßtechnisch erfaßt. Die Meßsignale wurden zweifach integriert und als Schwingwege  $s(t)$  aufgezeichnet; der lineare Frequenzgang dieser Meßkette reichte von ca. 1 ... 150 Hz.

In Einzelfällen, wenn es um eine spätere Überprüfung der Waagrecht-Bewegungen ging, wurde ein Askania-Tastenschwingungsschreiber - ein Relativaufnehmer mit mechanischem Wandler - eingesetzt, der die Schwingwege je nach Einstellung in Originalgröße oder 5fach vergrößert in Wachspapier einritzte.

## 9.3. Lotrecht-Gestellbewegungen

Dazu wurden induktive Schwingwegaufnehmer (Relativaufnehmer) mit einem Meßbereich bis zu  $s = \pm 30$  mm in Verbindung mit Meßbrücken und einem UV-Schreiber benutzt. Der lineare Frequenzgang einer Meßkette reichte von 0 ... 150 Hz.

## 10. Auswertung der Aufzeichnungen

Für jedes erfaßte Arbeitsspiel wurden in den jeweils betrachteten Schwingungsrichtungen z, x und y die größten auftretenden Scheitelwerte der einzelnen Schwingungsgrößen  $v_{\max}$  und  $s_{\max}$  und die zugehörigen Frequenzen ermittelt. Die jeweils zusammengehörenden Einzelwerte einer Meßreihe (im allgemeinen zehn Werte) wurden zu arithmetischen Mittelwerten zusammengefaßt und die Streuungen der Einzelwerte um den errechneten Mittelwert durch die Standardabweichung  $s$  mit einer Aussagesicherheit von 67 % beschrieben.

## 11. Angaben zur Aufstellung der einzelnen Pressen und Ergebnisse der Messungen

### 11.1. Presse Nr. 1

#### 11.1.1. Gründung

Die zunächst starr gegründete 80-MN-Exzenter-Schmiedepresse wurde aus Immisionsschutzgründen 1979 direktabgefедert. In der nachstehenden Abbildung 14 ist diese Aufstellung schematisch dargestellt. Die als verwindungssteif anzusehende Pressen-Grundplatte wurde auf zwei ca. 5 m lange und ca. 6 m auseinanderliegende Breitflanschträger gestellt. Jeder Träger stützt sich über sechs ca. 30 cm hohe Feder-Dämpfungs-Elemente auf dem darunterliegenden Fundamentblock ab. Die Abbildung 15 veranschaulicht den Aufbau der hier benutzten Elemente im vorgespannten Zustand; sie enthalten zwölf parallel geschaltete Stahlschraubenfedern und zwölf Dämpfungseinheiten.

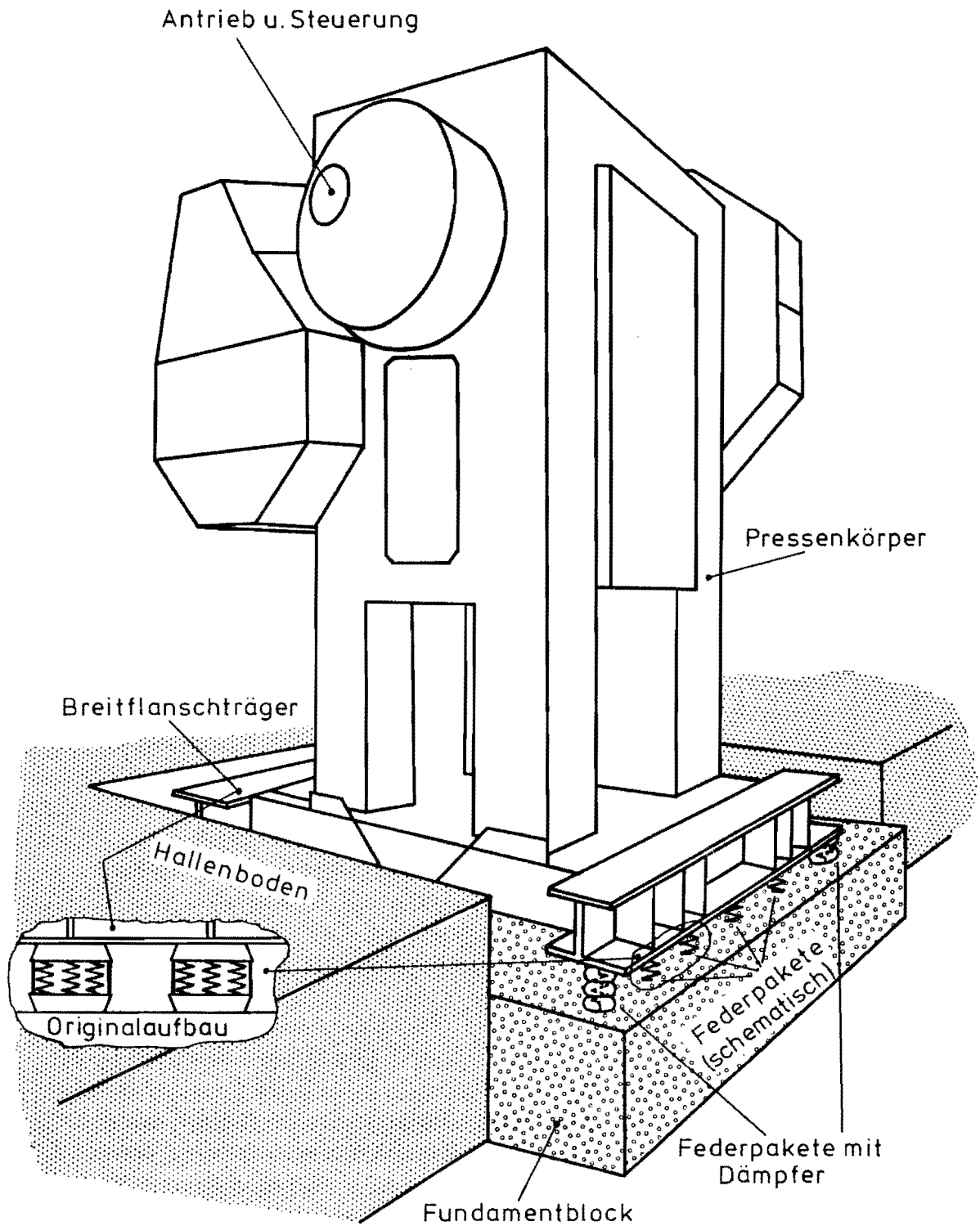


Abb. 14: Schwingungsisoliert aufgestellte 80-MN-Exzenter-Schmiedepresse

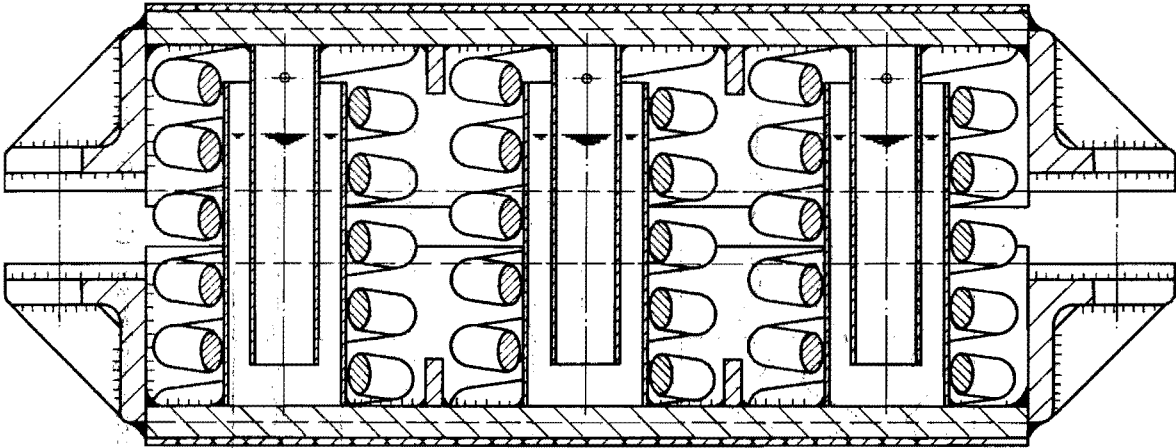


Abb. 15: Aufbau des Feder-Dämpfungs-Elementes

Die Dämpfungseinrichtungen bestehen aus Zylindern, die innerhalb der Federn mit den Elementunterteilen verschweißt sind, und darin eintauchenden Kolben, die mit den Elementoberteilen verbunden sind. Die einzelnen Dämpfungszyylinder werden je nach geforderter Dämpfungswirkung mit Dämpfungsmasse gefüllt. Hier waren zunächst nur die Dämpfungszyylinder aufgefüllt, die sich in den vier Feder-Dämpfungs-Elementen unterhalb der vier Eckpunkte des Maschinenrahmens befinden. Damit wurden 48 von insgesamt 144 möglichen Dämpfungsvorrichtungen zur Dämpfung der Maschinenschwingungen ausgenutzt. Dies war nur deshalb möglich, weil die Presse zum damaligen Zeitpunkt mit einer relativ niedrigen Exzenterwellendrehzahl von nur etwa 31 U/min betrieben wurde.

Etwa drei Jahre nach der Direktabfederung wurde die Exzenterwellendrehzahl aus betrieblichen Gründen von etwa 31 auf 40 U/min heraufgesetzt, wodurch eine höhere Dämpferwirkung benötigt wurde. Zu diesem Zeitpunkt sind auch die restlichen 96 Dämpfungszyylinder gefüllt worden. Die Füllung besteht aus einer auf Bitumenbasis aufbauenden Dämpfungsmasse.

Die Umbauarbeiten von der starren zur elastischen Aufstellung bereiteten im vorliegenden Fall keine großen Schwierigkeiten. Dazu trugen in erheblichem Maße die günstige Formgebung des Fundamentblocks und die niedrige Bauhöhe der Feder-Dämpfungs-Elemente bei. Der Umbau wurde innerhalb der fünfwoöchigen Betriebsferienzeit abgewickelt und erforderte somit keinen zusätzlichen Nutzungsausfall.

Die Gesamtkosten für die Minderungsmaßnahme betragen 1979 ca. 400.000,- DM.



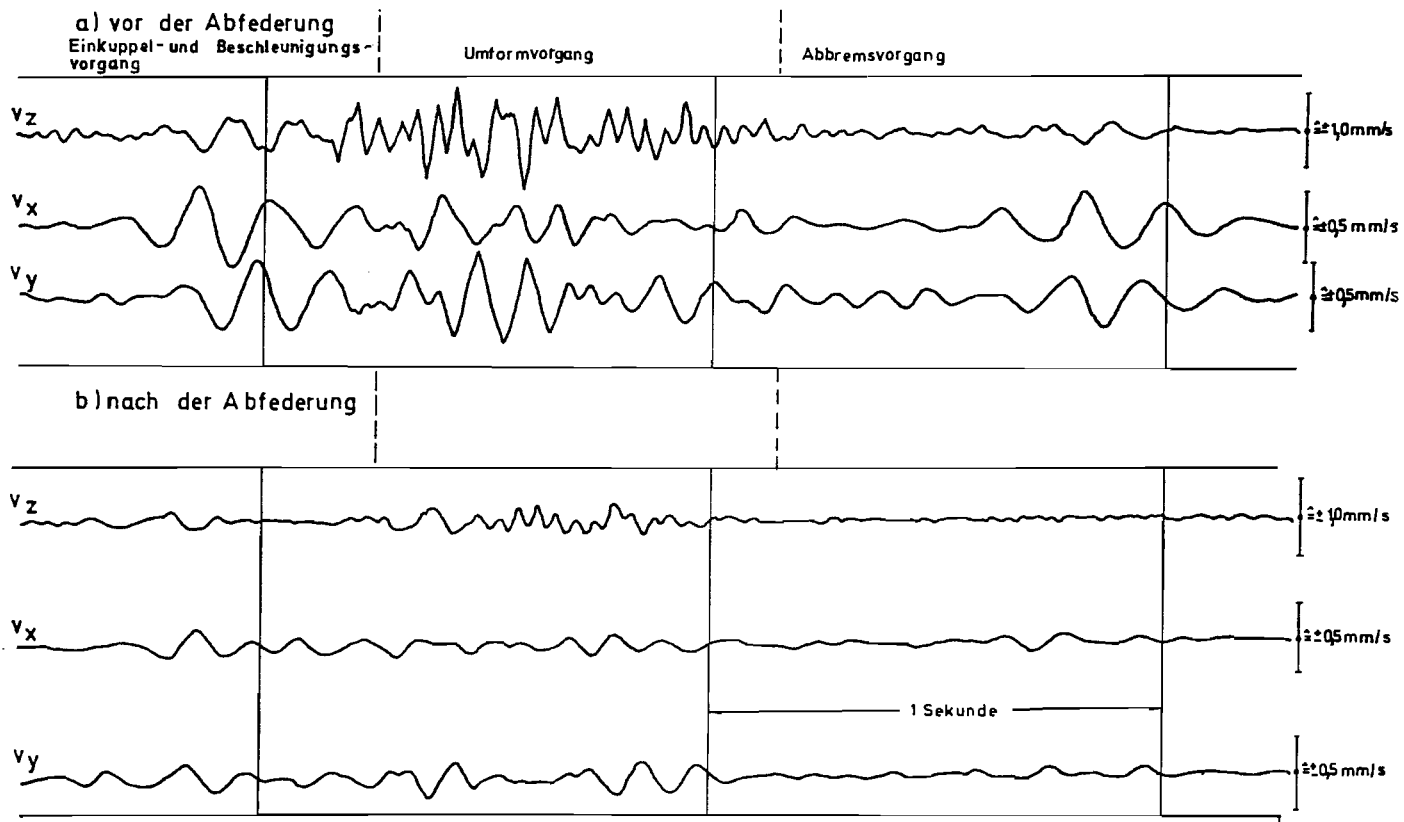


Abb. 16: Ausschnitte aus den Schwingungsaufzeichnungen auf einer Wohnungsdecke (1. OG) in einem ca. 60 m von der Presse entfernt stehenden Gebäude

### 11.1.2. Meßergebnisse

#### a) Isolierwirkung

In Abbildung 16 sind zur Veranschaulichung der in der Nachbarschaft erzielten Minderung zwei Schwingungsaufzeichnungen gegenübergestellt, die bei zwei gleichartigen Arbeitsspielen vor und nach der Abfederung auf der Wohnungsdecke eines ca. 60 m von der Presse entfernt stehenden Gebäudes unter gleichen meßtechnischen Bedingungen ermittelt wurden.

Der Vergleich der beiden Ausschnitte zeigt, daß die Schwingungen in allen drei Richtungen z, x und y erheblich gemindert wurden. In diesem ausgewählten Beispiel wurde die aus den Meßwerten ermittelte max. bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke von ursprünglich etwa  $KB = 0,9$  auf  $KB = 0,2$  durch die Direktabfederung herabgesetzt und damit gerade der nach [12] für Wohngebiete tagsüber anzusetzende Anhaltswert erreicht.

In der Zahlentafel 1 sind die wesentlichen Meßwerte aufgeführt, die sich vor und nach der Minderungsmaßnahme an den beiden Baugrundmeßpunkten in 6,3 und 10 m Abstand von der Presse und auf einer Gebäudedecke in ca. 40 m Abstand bei annähernd max. Pressenauslastung ergaben.

In allen Fällen traten die größten Erschütterungen in der Lotrichtung auf.

Die Standardabweichungen weisen auf geringe Stichprobenfehler hin, denn die Streuung der jeweils erfaßten zehn Einzelwerte um den arithmetischen Mittelwert ist relativ klein. Damit liegt auch der auf Meßpunkt und Schwingungsrichtung bezogene Isolierfaktor in einem engen Schwankungsbereich. In Zahlentafel 1 ist dieser Schwankungsbereich mit aufgeführt. Man erkennt, daß der aus den Mittelwerten errechnete Isolierfaktor für die hier ausschlaggebende Lotrichtung nur bis zu etwa  $\pm 2\%$  von den äußeren Grenzen abweicht. Größere Schwankungen liegen zwar insbesondere in der y-Richtung vor; für die Beschreibung der Isolierwirkung ist diese jedoch von untergeordneter Bedeutung, weil das Ausmaß der Pressen-Erschütterungen in dieser y-Richtung relativ gering ist. Da die vorstehenden Ergebnisse für die untersuchten Pressen allgemeingültig sind, werden für die übrigen Fälle nur die arithmetischen Mittelwerte und die daraus errechneten mittleren Isolierfaktoren angegeben.

Bei der Presse 1 liegt der mittlere Isolierfaktor in der hier besonders interessierenden Lotrichtung je nach Meßpunkt zwischen  $I = 79$  und  $91\%$  und damit in einem für die Schwingungsisolierung stoßartiger Vorgänge optimalen Bereich.

#### b) Gestellschwingungen

Es handelt sich im wesentlichen - wie schon ausgeführt - um stoßartig erregte Eigenschwingungen, und zwar um die Lotrechteigenschwingungen und um die beiden Nickeigenschwingungen um den unteren Drehpol. In Zahlentafel 2 sind die Eigen-

Zahlentafel 1: Gegenüberstellung der vor und nach der Abfederung auf dem Baugrund und auf einer Decke ermittelten Meßwerte und daraus errechnete Isolierwirkung

Meßpunkt	Schwing- Richtung	vor der Abfederung			nach der Abfederung			mittlerer Isolierfaktor % und Schwankungs- bereich
		Hz	$\bar{v}_{\max}$ mm/s	Standard- abweichung mm/s	Hz	$\bar{v}_{\max}$ mm/s	Standard- abweichung mm/s	
Baugrund 6,3 m Abstand	z	23	19,7	1,2	12	3,3	0,49	83 +2,4/-2,1
	x	55	13,8	2,0	20	2,2	0,48	84 +3,4/-3,9
	y	70	4,5	0,7	20	1,2	0,19	74 +4,1/-6,5
Baugrund 10 m Abstand	z	23	16,0	0,8	12	1,5	0,16	91 +0,5/-1,3
	x	25	5,8	0,3	12	0,71	0,07	88 +0,8/-1,4
	y	100	1,3	0,3	12	0,39	0,07	70 +5,9/-8,7
Wohnungsdecke	z	15	3,4	0,15	17	0,72	0,06	79 +1,5/-2,0
	x	15	0,8	0,05	9	0,17	0,02	79 +2,1/-2,8
	y	9	0,6	0,06	9	0,19	0,02	68 +3,8/-3,7

$\bar{v}_{\max}$  = arithmetische Mittelwerte aus 10 Preßvorgängen

$$\text{Isolierfaktor } I = \frac{v_{\max \text{ vorher}} - v_{\max \text{ nachher}}}{v_{\max \text{ vorher}}} \cdot 100 \%$$

Zahlentafel 2: Eigenfrequenzen und Dämpfungen der Pressenschwingungen

Art der Eigenschwingung	zugehörige Eigenfrequenz	Dämpfung
Lotrechteigenschwingung	4 Hz	$D \approx 0,2$
Nickeigenschwingung in der yz-Ebene um die untere Drehachse	1,6 Hz	$D \approx 0,2$
Nickeigenschwingungen in der xz-Ebene um die untere Drehachse	0,75 Hz	$D \approx 0,2$

frequenzen der v.g. drei Eigenschwingungen und deren Dämpfungswerte zusammengestellt, die beim Betrieb der federnd aufgestellten Presse aus den Gestellschwingungen ermittelt wurden.

Das Ausmaß der Lotrechteigenschwingungen war relativ gering. Bei zwölf Arbeitspielen mit max. Preßkraft wurden größte Schwingwege von  $s_{\max} = 2,7 \dots 2,9$  mm mit einem arithmetischen Mittelwert von  $s_{\max} = 2,8$  mm gemessen. Etwa drei Sekunden nach dem Preßvorgang waren die Lotrechteigenschwingungen auf etwa 1/10 ihres Ausgangswertes, d.h. auf etwa  $s = 0,3$  mm, abgeklungen.

Die Nickeigenschwingungen traten durch den Arbeitsablauf bedingt insbesondere in der yz-Ebene auf; hier wurden nach mehrstündigem Dauerbetrieb an der Pressenoberkante größte Schwingweiten bis zu etwa  $s_{\max} = 6$  mm im Takt 1,6 Hz gemessen.

Die Schwingungsaufzeichnung in Abb. 17 vermittelt einen Eindruck von den schwingenden Bewegungen an der Pressenoberkante.

Der Vorgang beginnt mit dem Einkuppeln. Der größte Ausschlag tritt etwa 0,4 s danach auf, dann klingt die Schwingung aus und wird durch den Abbremsvorgang, d.h. etwa 1,9 Sekunden nach dem Beginn des Arbeitsspiels, nochmals erregt.

Etwa 3 Sekunden nach dem Erreichen des Maximalausschlages ist die Schwingung praktisch abgeklungen; der Ausschlag beträgt zu diesem Zeitpunkt statt etwa  $s_{\max} = 6$  mm nur noch  $s_{\max} = 0,5$  mm. Eine Aufschaukelung der Gestellbewegungen durch aufeinanderfolgende Arbeitsspiele war damit ausgeschlossen, da betrieblich die zeitliche Folge der Preßvorgänge auf etwa 10 Sekunden begrenzt wurde.

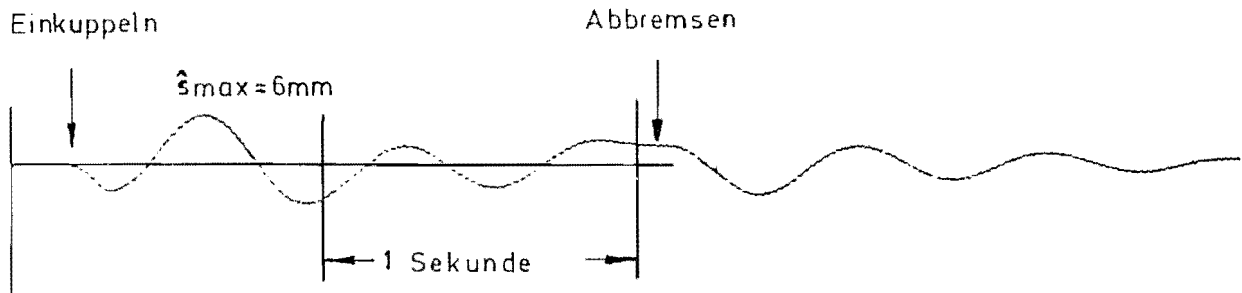


Abb. 17: Schwingungen  $s(t)$  an der Pressenoberkante in y-Richtung

Die Nickbewegungen der Presse, die bei jedem Arbeitsspiel erneut angeregt werden, sind gut sichtbar und werden subjektiv meistens um den Faktor 10 zu hoch geschätzt. In der nachstehenden Abbildung 18 sind die max. Waagrecht-Ausschläge aufgetragen, die in unterschiedlichen Höhen in den beiden Schwingungsrichtungen gemessen wurden. Die Verbindungslinien zeigen, daß sich die Presse erwartungsgemäß in beiden Richtungen als starres Gebilde um einen unterhalb der Presse zu betrachtenden Drehpol bewegt. Die Ausschläge in Pressentischhöhe, die von den Betreibern u.a. als ein wesentliches Kriterium für einen reibungslosen Umformvorgang herangezogen werden, betragen in der hier allein interessierenden y-Richtung etwa  $s_{max} = 2\text{ mm}$ .

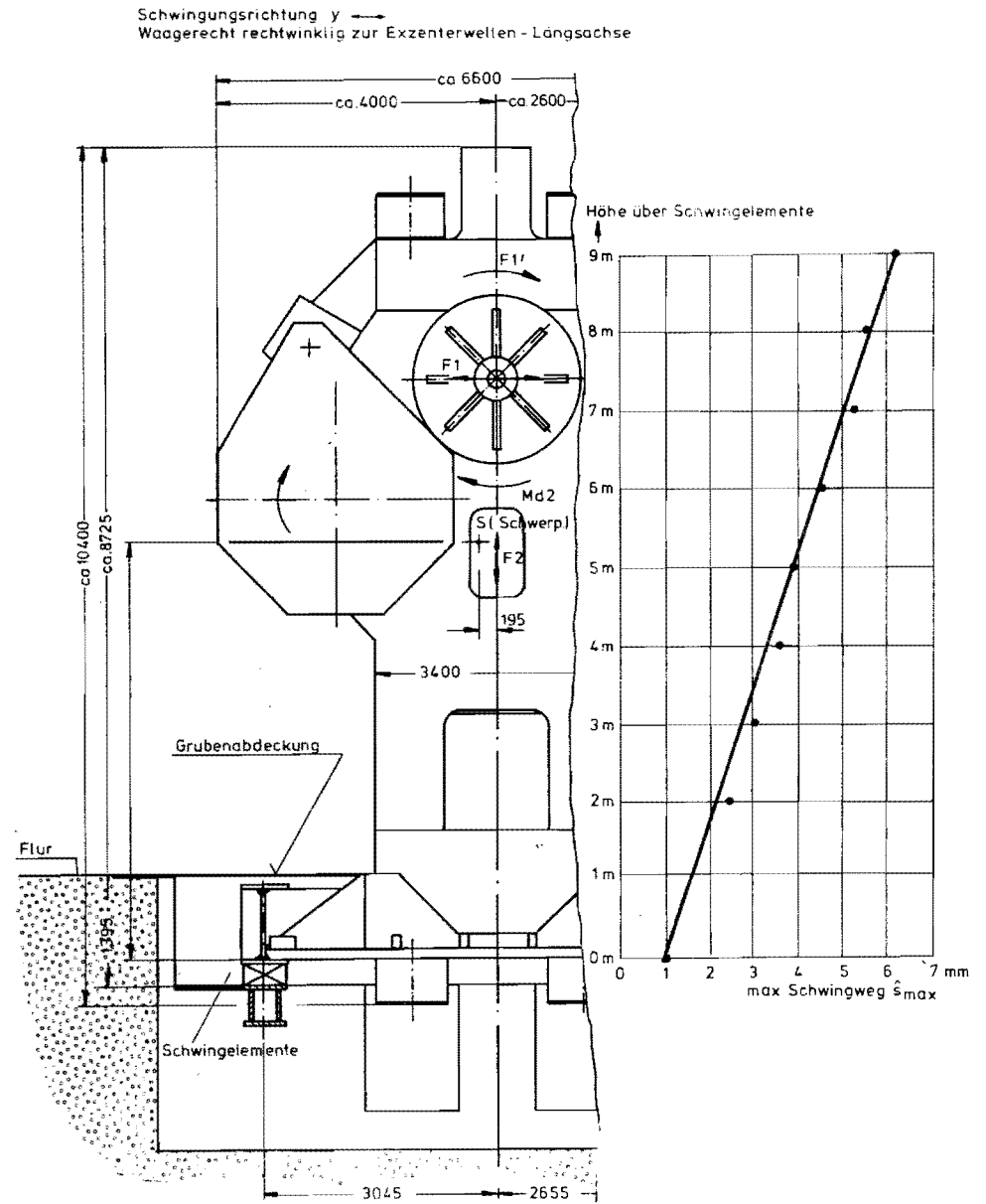
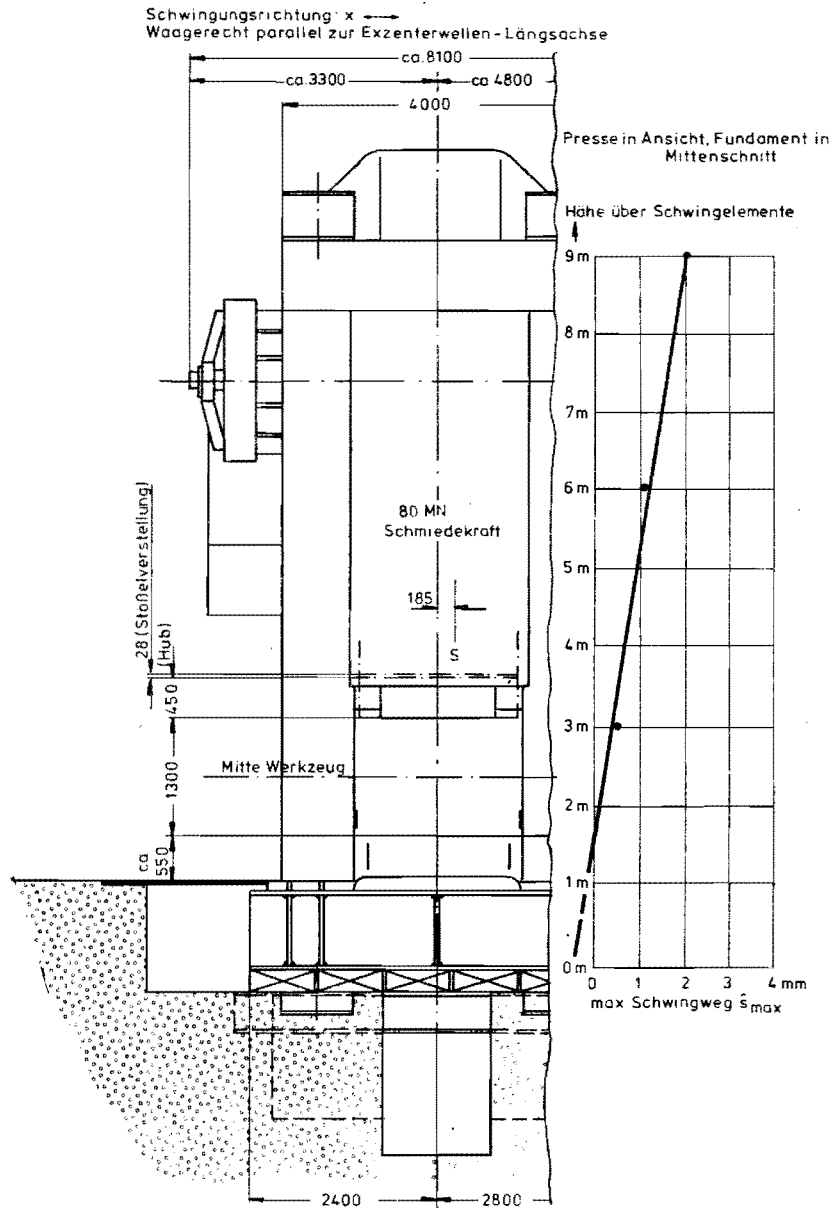


Abb. 18: Maximale Gestellbewegungen der direktabgederten 80-MN-Exzenterpresse

### 11.1.3. Bewertung dieser 1. Pressendirektabfederung

Aus der Sicht des Immissionsschutzes konnte die vorgenommene Maßnahme als voller Erfolg gewertet werden, denn auch mit dieser Direktabfederung wurde die als optimal anzusehende mittlere Isolierwirkung von etwa  $I = 80 \%$  erreicht und damit die vorgegebenen Richtwerte eingehalten.

Die Pressenhersteller und -betreiber bewerteten die vorgenommene Direktabfederung ebenfalls positiv, es wurden nämlich weder der Arbeitsablauf noch die Schmiedegenauigkeit nachteilig beeinflusst.

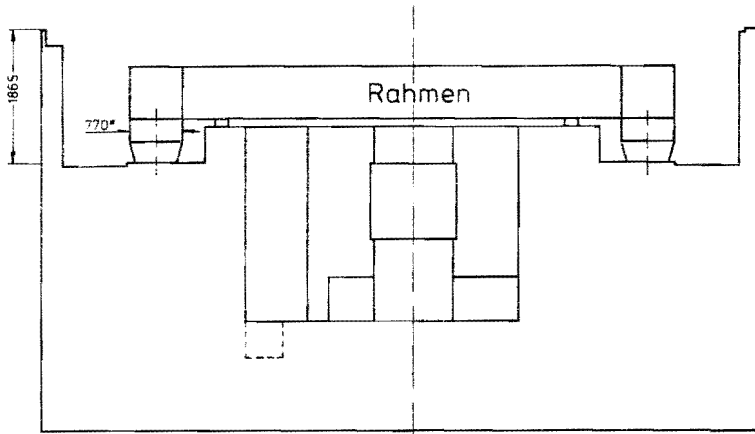
Die Pressenführer, die hier auf einem mit der Presse mitschwingenden Podest stehen, sehen den neuen Zustand bezüglich der auf den Körper einwirkenden Schwingungen nicht als störender, sondern eher als verbessert gegenüber der ursprünglich vorhandenen festen Aufstellung an.

#### Feststellungen nach längerer Laufzeit

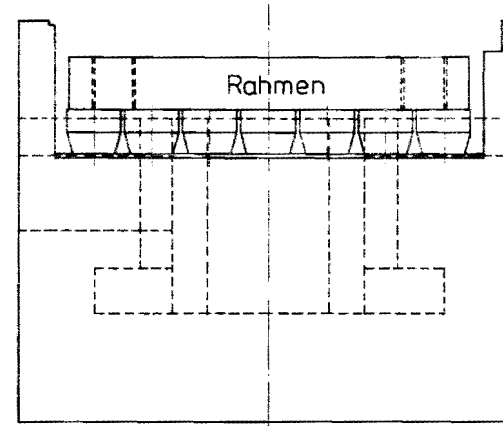
Mit zunehmender Laufzeit der gefederten Presse wurden die Gestellbewegungen sichtbar größer und erreichten nach der eingangs schon angesprochenen Erhöhung der Exzenterwellendrehzahl von von 31 auf 40 U/min aus subjektiver Sicht des Betreibers ein nicht mehr vertretbares Ausmaß. Daraufhin wurden - wie bereits aufgezeigt - außer den 48 Dämpfungselementen an den Außenkanten auch die außerdem noch vorhandenen 96 Dämpferelemente mit in die Dämpferwirkung einbezogen. Dadurch konnte der ursprünglich vorhandene Schwingungszustand wieder hergestellt werden.

Ein wesentlicher Grund für die zwischenzeitlich beobachteten größeren Gestellbewegungen dürfte in dem nicht zufriedenstellenden Langzeitverhalten der hier eingesetzten bituminösen Dämpfungsmasse zu suchen sein. Es ist zu vermuten, daß durch die relativ großen Bewegungen des Dämpfungskolbens in der bituminösen Masse das Gefüge dieser Masse langfristig so verändert wird, daß die dämpfenden Eigenschaften weitgehend verloren gehen.

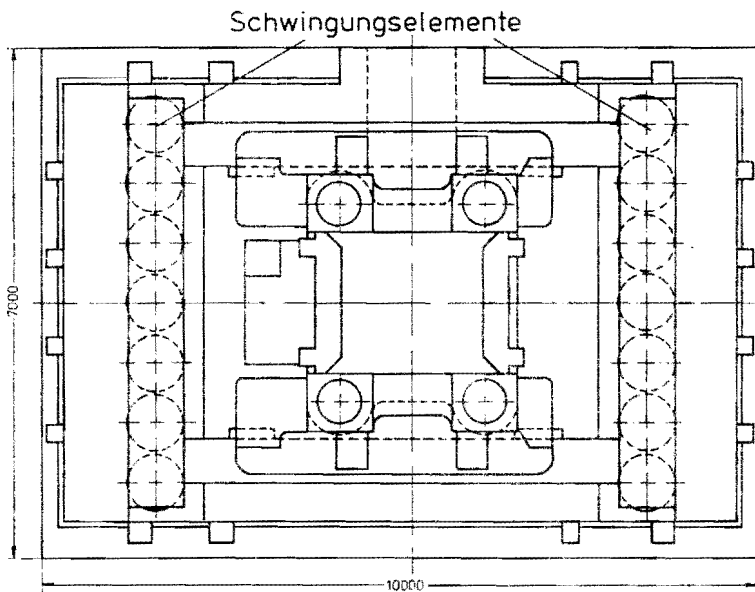
Ein weiterer Nachteil der bituminösen Masse besteht darin, daß sie im kalten Zustand (unter etwa  $+10^{\circ}\text{C}$ ) sehr spröde ist und daher die Dämpfungseinrichtungen zur Winterzeit beim Anfahren von betriebskalten Anlagen infolge großer Dämpferkräfte mechanisch gefährdet sind. Hier wurden 1984 mehrere mechanische Schäden in den Dämpfungseinrichtungen festgestellt, die vermutlich auf den v.g. Zustand zurückzuführen waren. Der Betreiber wärmt seitdem die Dämpfungseinrichtungen zur Winterzeit beim Stillstand der Presse auf etwa  $+15^{\circ}\text{C}$  auf.



Schnitt Querachse Y



Schnitt Längsachse X



Draufsicht

Abb. 19: Schwingungsisolierte Gründung der 63-MN-Schmiedepresse



## 11.2. Presse Nr. 2

## 11.2.1. Gründung

Diese zunächst starr gegründete 63-MN-Exzenterpresse wurde 1984 direktabgefедert, da die von der Presse ausgehenden Erschütterungen in einem ca. 100 m entfernt stehenden Wohnhaus zu Wahrnehmungsstärken von etwa  $KB = 1$  und damit auch nachweisbar zu erheblichen Belästigungen der Anwohner führten.

Abb. 19 zeigt den konstruktiven Aufbau der Direktabfederung dieser Presse. Für das Anheben der Presse um ca. 1 m, für die Abspitz-, Ausschacht- und Betonarbeiten zur Auflage der Feder-Dämpfungselemente, für den Einbau der Elemente und des zusätzlich benötigten Rahmens, sowie für die Montage der Presse auf den Rahmen wurden 6 Wochen benötigt. Da der Umbau in den Betriebsferien erfolgte, entstanden somit keine zusätzlichen Ausfallzeiten. Die Gesamtkosten für die Minderungsmaßnahme betragen ca. DM 390.000,-. Zum Einbau der Elemente wurden erhebliche Vorarbeiten benötigt; der Einbau des Zusatzrahmens war mit großen Schwierigkeiten verbunden.

Die Feder-Dämpfungs-Elemente sind hier mit einer Bauhöhe von 58 cm etwa doppelt so hoch wie diejenigen unterhalb der Presse 1. Der Aufbau dieser höheren Feder-Dämpfungs-Elemente ist aus Abb. 20 ersichtlich.

Auch hier sind Federkörper und Dämpfer in einem Element kombiniert; jedes Element ist jedoch nur mit einem, dafür aber größeren Dämpfungselement ausgerüstet. Bei der Wahl der Dämpfungsmasse sind hier bereits die Erfahrungen von mehreren anderen direktabgefедerten Pressen eingeflossen, statt der anfänglich benutzten bituminösen Masse ist die Dämpfungsmasse auf Silikonölbasis aufgebaut. Silikonöl besitzt im Vergleich zur bituminösen Masse zwar eine geringere Viskosität, ist dafür aber temperaturbeständiger und nicht spröde. Über das Langzeitverhalten von Silikonöl bei großer Durchwalkung kann noch keine Aussage gemacht werden.

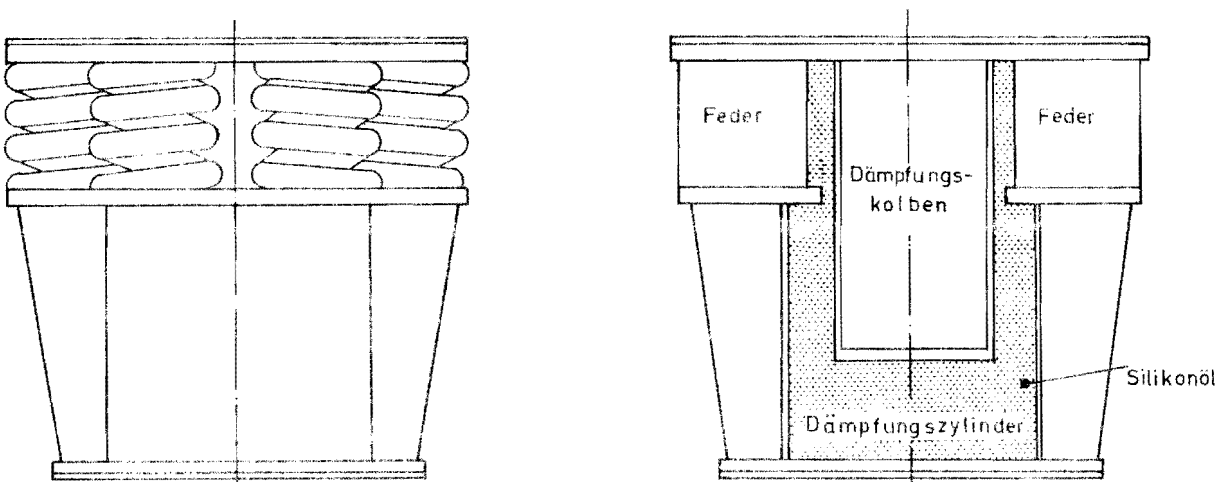
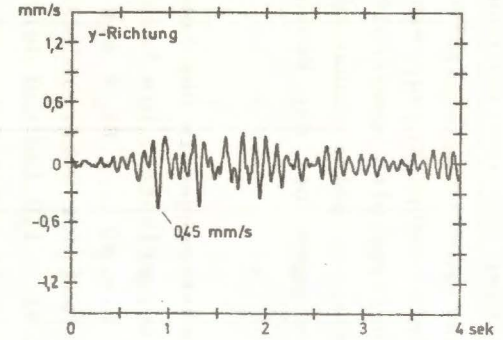
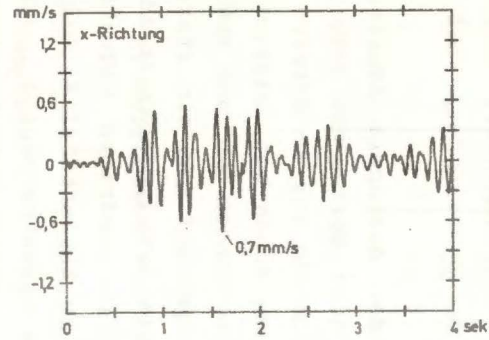
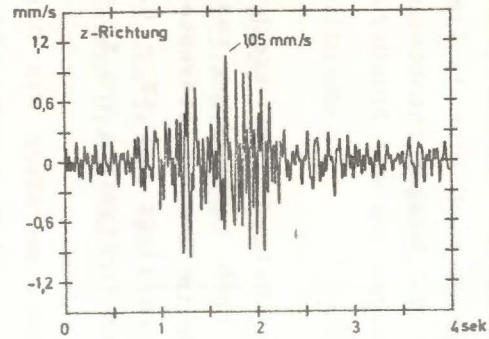


Abb. 20: Aufbau der Feder-Dämpfungs-Elemente

vor der Abfederung



nach der Abfederung

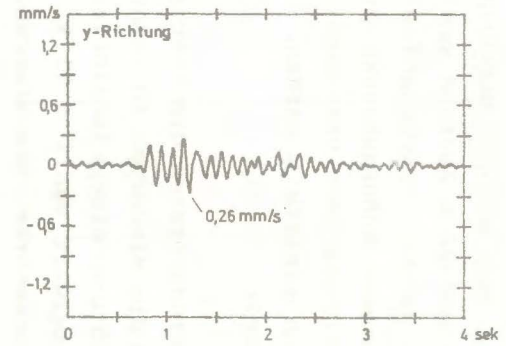
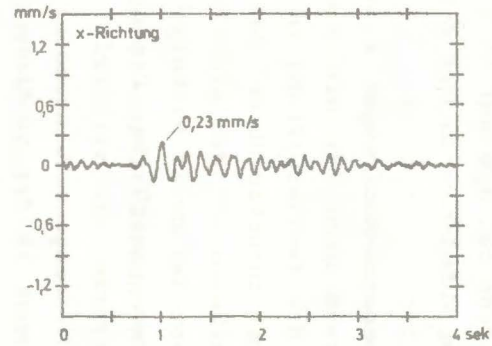
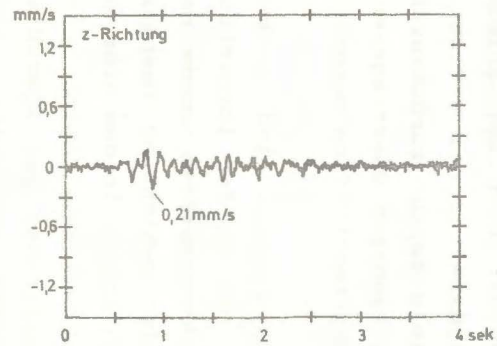


Abb. 21: Ausschnitte aus der Schwingungsaufzeichnung auf einer Wohnraumdecke

### 11.2.2. Meßergebnisse

#### a) Isolierwirkung

Abweichend von den übrigen Messungen wurde hier auf dem Baugrund aus Platzgründen in 10 und 20 m Abstand von der Presse gemessen. In Zahlentafel 3 sind die für diese beiden Punkte und einen weiteren Meßpunkt auf einer ca. 100 m entfernt liegenden Wohnraumdecke aus 10 Arbeitsspielen gemittelten Werte zusammengestellt, die vor und nach der Abfederung unter sonst vergleichbaren Randbedingungen ermittelt wurden. Die Presse wurde bei den Messungen zu etwa 55 % ausgelastet.

Vor der Abfederung traten die stärksten Erschütterungen in der Lotrichtung auf; hierauf wurde die Minderung im wesentlichen ausgerichtet. Die Messungen ergaben für diese Richtung einen Isolierfaktor von  $I = 80 \dots 84 \%$  mit einem arithmetischen Mittelwert von  $I = 82 \%$ , der sich auf der Wohnraumdecke einstellte. Die Wahrnehmungsstärke, die ursprünglich bei  $KB = 1,0$  lag und durch Herabsetzen der Preßkraft von ca. 100 auf 55 % auf  $KB = 0,75$  gemindert wurde, verringerte sich durch die Abfederung in der z-Richtung der Wohnraumdecke auf  $KB = 0,12$ .

Für die Waagrecht-Richtungen x und y wurden geringere Isolierfaktoren ermittelt. Während sich für die x-Richtung noch Werte von etwa 70 ... 80 % ergaben, lag die Isolierwirkung in der y-Richtung nur im Bereich 40 ... 50 %. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Presse schon bei "starrer" Aufstellung nicht formschlüssig mit dem Blockfundament verbunden war und somit die Presse schon zu diesem Zeitpunkt Nickeigenschwingungen auf dem als starr zu betrachtenden Fundament ausführte. Dieser abnormale Schwingungszustand einer festgegründeten Presse war verknüpft mit relativ niedrigen Eigenfrequenzen der auftretenden Nickeigenschwingungen; siehe dazu Zahlentafel 4. Die zu den Nickeigenschwingungen in der yz-Ebene gehörende Eigenfrequenz  $f_{yz}$  von 2 Hz fällt praktisch mit der nach der Abfederung gemessenen Eigenfrequenz von 2,1 Hz zusammen. Daß dabei in der y-Richtung überhaupt noch eine Isolierwirkung auftrat, ist allein darauf zurückzuführen, daß die Waagrechtanteile der von der Presse in den Baugrund übertragenen Schwingungen vor der Abfederung im wesentlichen durch Lotrechtkräfte verursacht wurden.

Im derzeitigen Zustand sind in der Nachbarschaft die Waagrecht-Schwingungen etwas größer als in der Lotrichtung. Die noch verbliebene max. bauwerksbezogene Wahrnehmungsstärke wurde daher auch in dem am stärksten betroffenen Wohnhaus in der y-Richtung festgestellt; sie liegt bei  $KB = 0,17$  und damit aber auch noch unterhalb des hier angesetzten Richtwertes von  $KB = 0,3$ .

Zur Veranschaulichung der Erschütterungsminderung durch die Direktabfederung der 63-MN-Exzenterpresse dient Abb. 21. Hier sind Ausschnitte aus den Aufzeichnungen wiedergegeben, die in dem am stärksten betroffenen Wohnhaus auf dem Fußboden eines Wohnraumes unter gleichen Meßbedingungen ermittelt wurden.

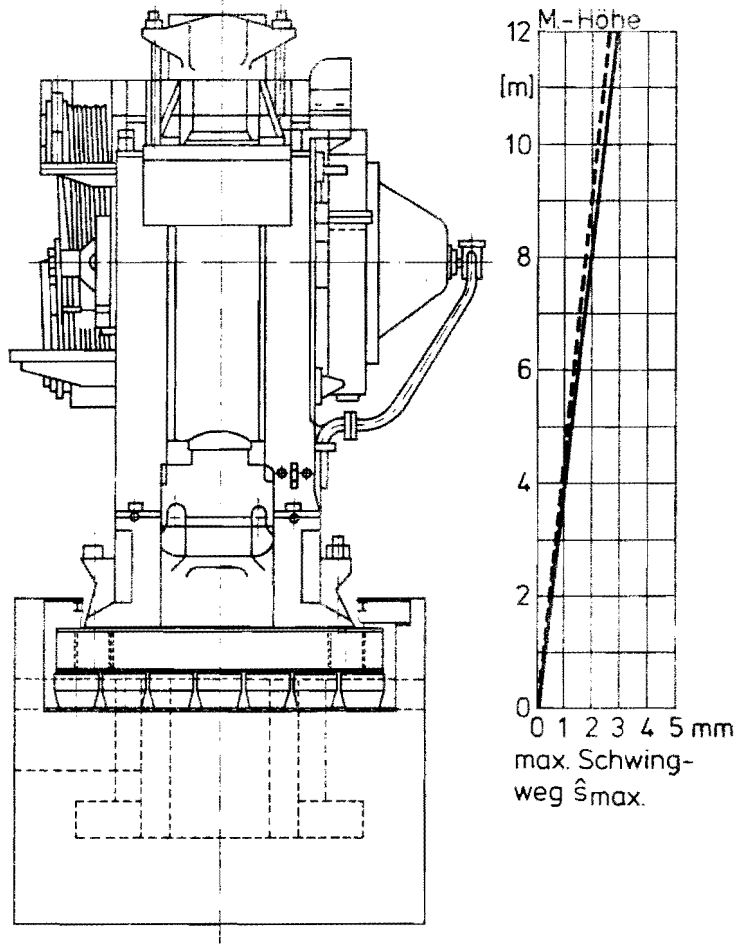
Zahlentafel 3: Gegenüberstellung der vor und nach der Abfederung ermittelten Baugrund- und Deckenerschütterungen und daraus errechnete Isolierfaktoren

Meßpunkt	Schwing- richtung	vor der Abfederung		nach der Abfederung		mittlerer Isolier- faktor
		f Hz	$\bar{v}_{\max}$ mm/s	f Hz	$\bar{v}_{\max}$ mm/s	
Baugrund 10 m Abstand	z	14	13,5	8,5	2,1	84 %
	x	16	2,6	7,5	0,63	76 %
	y	12	2,2	8,0	1,12	50 %
Baugrund 20 m Abstand	z	14	6,2	8,5	1,24	80 %
	x	14	2,3	8,5	0,45	80 %
	y	14	1,0	7,5	0,6	40 %
Wohnraumdecke ca. 100 m Abstand	z	25	1,1	7,5	0,2	82 %
	x	10	0,96	7,5	0,28	71 %
	y	10	0,55	9,0	0,24	51 %

Zahlentafel 4: Eigenfrequenz und Dämpfung der Pressenschwingungen

Art der Eigenschwingung	"starre" Aufstellung zugehörige Eigenfre- quenz	abgefederte Aufstellung	
		zugehörige Eigenfreq.	Dämpfung
Lotrechteigenschwingung	f = 15 Hz	f = 4,5 Hz	D < 0,1
Nickeigenschwingung in der yz- Ebene um die untere Drehachse	f = 2 Hz	f = 2,1 Hz	D < 0,05
Nickeigenschwingung in der xz- Ebene um die untere Drehachse	f = 2 Hz	f = 1 Hz	D < 0,08

feste Aufstellung —  
 Schwingungsrichtung X  
 Waagrecht parallel zur Exzenterwellen-Längsachse



gefederte Aufstellung ---  
 Schwingungsrichtung Y  
 Waagrecht rechtwinklig zur Exzenterwellen-Längsachse

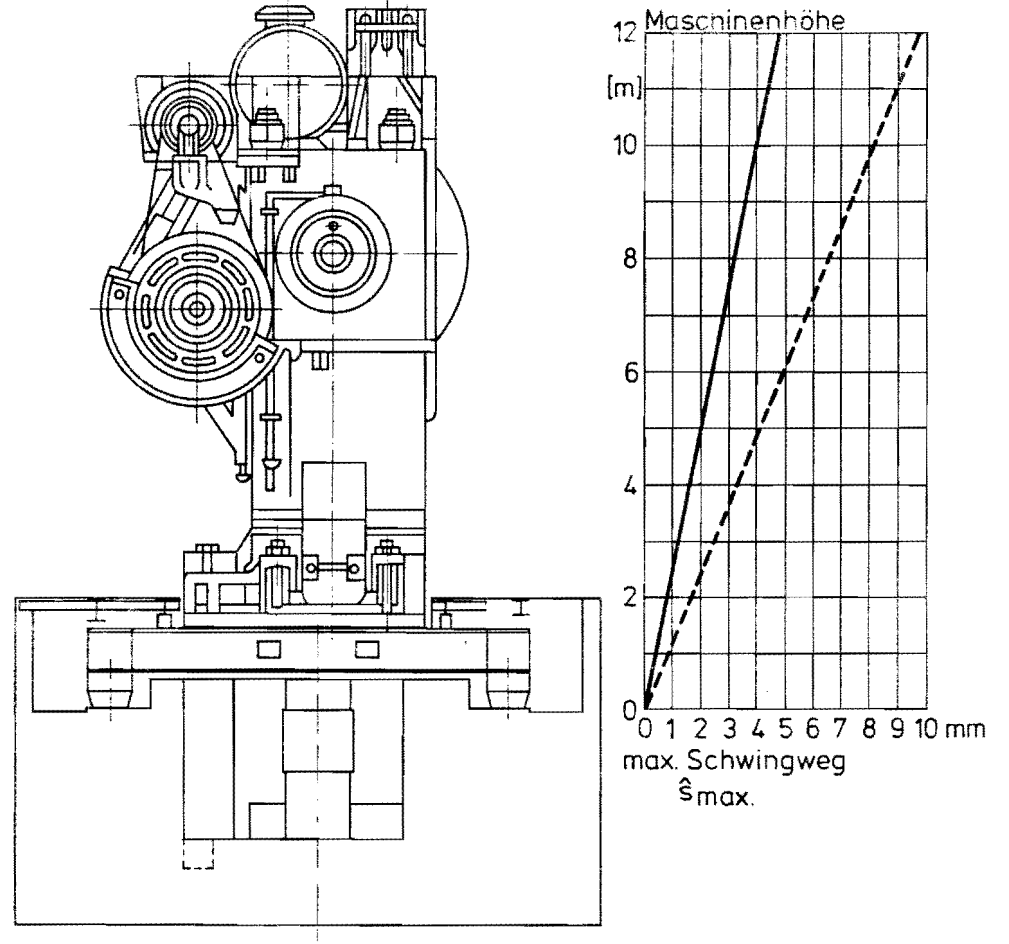


Abb. 22: Aufbau und maximale Gestellbewegungen der 63-MN-Press

## b) Gestellschwingungen.

In Abb. 22 sind die Maximalwerte der Waagrecht-Schwingungen wiedergegeben, die in unterschiedlichen Höhen an dem Pressengestell der 63-MN-Pressen bei "starrer" und abgefederter Aufstellung ermittelt wurden. In der schwingungsmäßig bedeutenden y-Richtung sind die Ausschläge an der Oberkante von ursprünglich  $s_{\max} = 5$  mm auf  $s_{\max} = 10$  mm angehoben worden. In der x-Richtung sind die Ausschläge mit max. etwa  $s_{\max} = 2$  mm unverändert geblieben. Im jetzigen Zustand klingen die bei jedem Arbeitsspiel angeregten Eigenschwingungen relativ schwach gedämpft aus. Die 14 hier eingebauten Dämpfungsvorrichtungen bewirken in der y-Richtung eine Dämpfung von nur  $D = 0,05$  und in der x-Richtung mit  $D = 0,08$  auch nicht viel mehr. Infolgedessen klingen die Schwingungen zwischen den in etwa 5 Sekunden aufeinanderfolgenden Preßvorgängen nicht vollständig ab, so daß eine gewisse Aufschaukelung stattfindet. In Tischhöhe liegen die Ausschläge trotzdem noch in dem hier vorgegebenen Bereich von etwa  $s_{\max} = 3$  mm.

## 11.3. Presse Nr. 3

## 11.3.1. Gründung

Die 40-MN-Exzenterpresse ist Ende 1982 als Neuanlage direktabgefedert aufgestellt worden. Der mit der Schwingungsisolierung beauftragten Firma wurde zur Auflage gemacht, daß die max. Waagrecht-Gestellbewegungen in Pressentischhöhe  $s_{\max} = 3$  mm nicht übersteigen und außerdem eine möglichst optimale Isolierwirkung erzielt werden soll.

Die Presse wurde auf einem aus Abb. 23 ersichtlichen Rahmen aufgestellt, der in der y-Richtung eine Länge von 7,1 und der x-Richtung eine Breite von 4,3 m hat. Dieser Rahmen stützt sich in einer begehbaren Wanne über insgesamt 14 Feder-Dämpfungs-Elemente auf der als Unterlage dienenden Grundplatte ab.

Der konstruktive Aufbau der Feder-Dämpfungs-Elemente entspricht der in Abb. 20 dargestellten Ausführung; als Dämpfungsmasse wurde hier jedoch noch Bitumen benutzt.

Die zur meßtechnischen Ermittlung des Isolierfaktors notwendige starre Pressenaufstellung wurde hergestellt, indem man die Feder-Dämpfungs-Elemente durch parallel geschaltete Distanzblöcke ausschaltete. Dieser Bezugszustand muß bei dieser großen Presse als Behelf angesehen werden, trotzdem ist davon auszugehen, daß zumindest die Lotrechtkräfte dabei ungemindert in den Baugrund eingeleitet wurden und somit auch der so ermittelte Isolierfaktor für diese Richtung die tatsächliche Minderung zwischen starrer und gefederter Aufstellung wiedergibt. Für die beiden Waagrecht-Richtungen könnten die ermittelten Isolierfaktoren geringfügig unter den tatsächlich erzielten Werten liegen, weil schon bei der simulierten starren Aufstellung die festgestellten Nickeigenfrequenzen mit  $f_{yz} = 3,9$  Hz und  $f_{xz} = 3,3$  Hz relativ niedrig liegen, wodurch schon eine geringfügige Minderung der in den Baugrund eingeleiteten Waagrecht-

Zahlentafel 5: Baugrundmeßwerte bei fester und gefederter Pressenaufstellung und Angabe des jeweils erreichten Isolierfaktors

Meßpunkt	Schwing- richtung	Gründung der Presse	vorherr- schende Frequenz f [Hz]	* mittl. max. Schei- telwert $\bar{v}$ max [mm/s]	mittlerer Isolier- faktor  %
Baugrund in 6,3 m Abstand vom Mittelpunkt der Presse	z	fest	50	1,24	63
		gefedert	50	0,46	
	x	fest	17	0,96	69
		gefedert	17	0,3	
	y	fest	25	0,81	78
		gefedert	100	0,18	
10 m Abstand	z	fest	50	0,86	53
		gefedert	50	0,4	
	x	fest	17	0,53	64
		gefedert	17	0,19	
	y	fest	29	0,21	57
		gefedert	100	0,09	
Fußboden des Büro- raumes in ca. 35 m Abstand	z	fest	50	0,78	62
		gefedert	50	0,29	
	x	fest	50	0,39	67
		gefedert	60	0,13	
	y	fest	50	0,21	65
		gefedert	60	0,07	

\* Arithmetischer Mittelwert aus zehn Einzelwerten, die sich als Maximalwerte bei 10 Arbeitsspielen ergaben.

Die Büroraumdecke hat eine Lotrecht-Eigenfrequenz von  $f = 9$  Hz und ist damit relativ biegeweich.

kräfte gegenüber einer festen Blockgründung entstanden sein könnte.

Für die Direktabfederung einschließlich Rahmen, Federkörper und Bauarbeiten fielen 1982 Kosten von DM 385.000,- an, das sind etwa 9 % der Pressenkosten.

Im Vergleich dazu hätte eine starre Blockgründung etwa DM 200.000,- gekostet und die früher übliche Blockabfederung dieser Presse etwa DM 400.000,-.

### 11.3.2. Meßergebnisse

#### a) Isolierwirkung

In Zahlentafel 5 sind die bei "starrer" und gefederter Pressenaufstellung auf dem Baugrund und auf einer in ca. 35 m entfernten Büroraumdecke ermittelten Meßwerte zusammengestellt.

Die ermittelten mittleren Isolierfaktoren liegen in der z-Richtung zwischen 53 und 63 % mit einem arithmetischen Mittelwert von ca. 60 %. In den beiden Waagrecht-Richtungen, die auch hier vom Schwingungsausmaß her weniger interessant sind als die Lotrichtung, lagen die Isolierfaktoren zwischen 57 und 78 % mit einem arithmetischen Mittelwert von ca. 67 %.

Die relativ geringe Minderung der Lotrechtsschwingungen durch die vorgenommene Direktabfederung ist auf folgende Fakten zurückzuführen:

1. Bei der festen Gründung lag mit  $f_z = 15$  Hz eine relativ niedrige Lotrechteigenfrequenz des Gesamtsystems vor; im allgemeinen ist von etwa  $f_z = 20$  Hz auszugehen.
2. Die Lotrechteigenfrequenz des gefederten Systems liegt mit  $f_z = 5,5$  Hz höher als allgemein üblich.

Infolgedessen mußte nach Gl.-(4) mit einer relativ geringen Isolierwirkung von etwa

$$I = \left(1 - \frac{5,5}{15}\right) \cdot 100 = 63 \%$$

gerechnet werden.



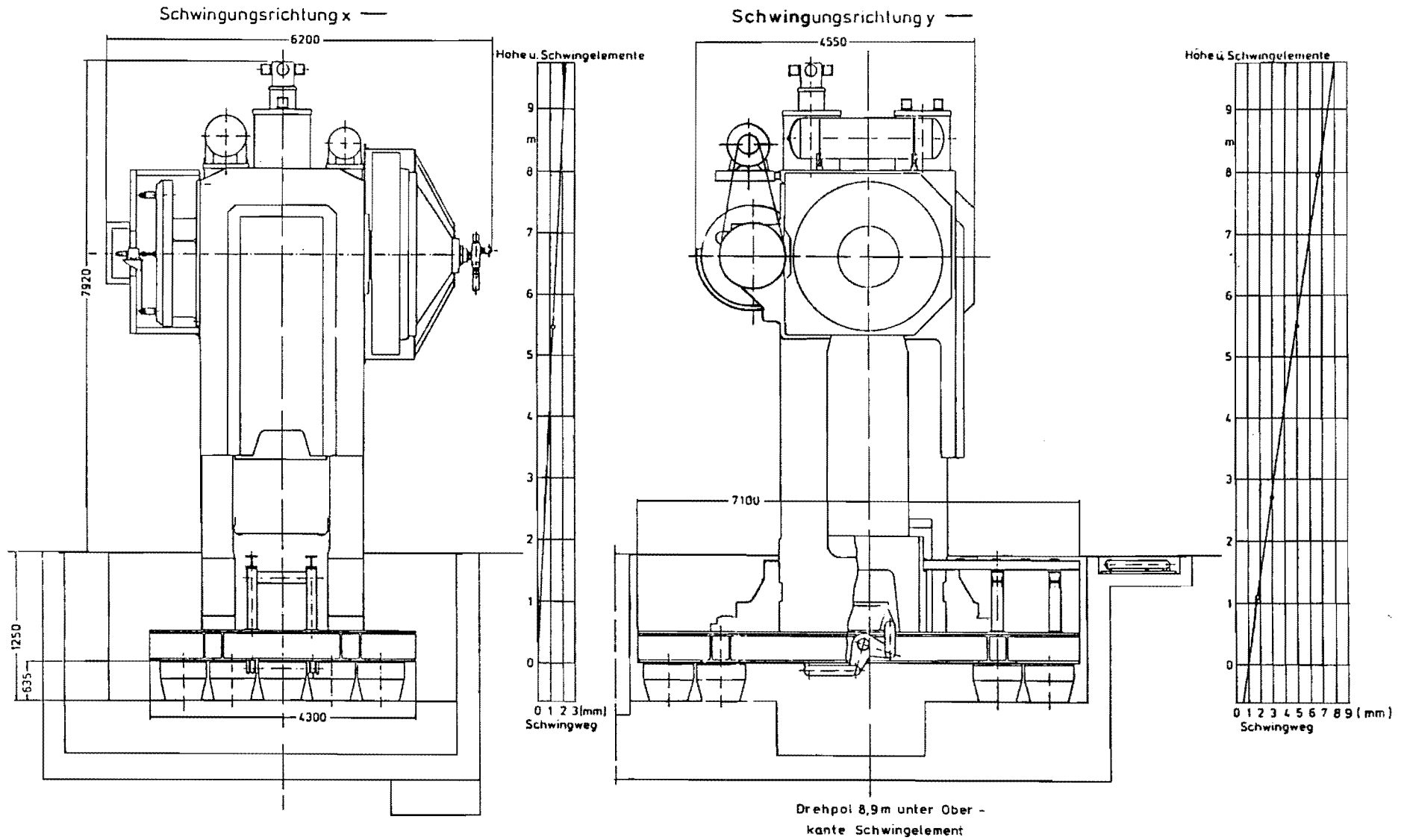


Abb. 23: Maximale Gestellbewegungen beim Betrieb der 40-MN-Exzentrerschmiedepresse

## b) Gestellschwingungen

Die bei gefederter Pressenaufstellung durch Messung ermittelten Eigenfrequenzen der drei hier wesentlichen Eigenschwingungen sind in Zahlentafel 6 aufgeführt.

In Abb. 23 sind die unmittelbar nach der Aufstellung bei betriebswarm gefahrener Anlage ermittelten max. Gestellbewegungen wiedergegeben. Der in Tischhöhe für die  $y$ -Richtung vorgegebene Maximalausschlag von etwa  $s_{\max} = 3$  mm wurde zu diesem Zeitpunkt gerade eingehalten.

Die hier nicht dargestellten Lotrechtbewegungen der Presse betragen etwa  $s_{\max} = 2$  mm und sind damit ebenso wie die Waagrecht-Schwingungen des Gestells in der  $x$ -Richtung mit max. Werten von  $s_{\max} = 2,5$  mm an der Pressenoberkante für den Pressenbetrieb vernachlässigbar gering.

Die Messungen zur Ermittlung der Gestellbewegungen wurden bei einer Schlagzahl der Presse von etwa 12/min vorgenommen. Dabei war sichergestellt, daß jeder Schlag erst nach dem Abklingen der vom vorausgehenden Schlag herrührenden Gestellbewegung erfolgte. Um festzuhalten, wie sich sehr schnelle Schlagfolgen auf das Bewegungsverhalten der Presse auswirken, sind die Waagrecht-Bewegungen  $s_y$  in Tischhöhe zusätzlich als Funktion der praktisch zu verwirklichenden Schlagzahlen ermittelt worden. In Abb. 24 sind die so ermittelten Maximalausschläge  $s_{y\max}$  in Abhängigkeit von der eingestellten Pressen-Schlagfolge dargestellt.

Der Kurvenverlauf zeigt, daß zwischen der maximal möglichen Taktfolge von etwa 1,6 s und einem Wert von etwa 2,8 s die Maximalausschläge des Gestells in etwa Tischhöhe zwischen 2,7 mm und 3,5 mm schwanken, wobei der Höchstwert von 3,5 mm einer Taktfolge von etwa 1,9 s zuzuordnen ist.

Oberhalb einer Taktfolge von ca. 2,9 s sind die Maximalausschläge konstant. Der Streubereich bei geringer Taktfolge ist darauf zurückzuführen, daß die Schläge zu Zeitpunkten erfolgen, in denen die vom vorhergehenden Schlag herrührenden Gestellbewegungen noch nicht genügend weit abgeklungen sind und unterschiedliche Phasenlagen zwischen den ausklingenden Bewegungen und dem erneuten Schlag auftreten.

Obwohl der Betrieb die Taktfolge von etwa 2,3 Sekunden nicht unterschritt, stiegen die Gestellbewegungen mit zunehmender Betriebszeit der Presse monoton an. Nach etwa 1/2-jähriger Betriebszeit vergrößerten sich die hier besonders interessierenden Ausschläge in der  $y$ -Richtung in Tischhöhe von ursprünglich  $s_{\max} = 3$  mm um ca. 65 % auf  $s_{\max} = 5$  mm und nach einem weiteren Betriebsjahr auf  $s_{\max} = 8$  mm. Wobei die Dämpfung von ursprünglich  $D = 0,12$  über  $D = 0,08$  auf  $D = 0,005$  abfiel. Von der Isolierfirma wurden daraufhin die Dämpfungseinrichtungen Mitte 1985 von Bitumenfüllung auf Silikonölfüllung umgestellt, wodurch der Ausgangszustand in etwa wieder hergestellt wurde.

Zahlentafel 6: Eigenfrequenzen und Dämpfung des gefederten Systems der Neu-  
anlage

Art der Eigenschwingungen	zugehörige Eigenfrequenz	zugehörige Dämpfung
Lotrechteigenschwingung	5,5 Hz	0,13
Nickeigenschwingung in der yz-Ebene	1,8 Hz	0,12
Nickeigenschwingung in der xz-Ebene	1,5 Hz	0,15

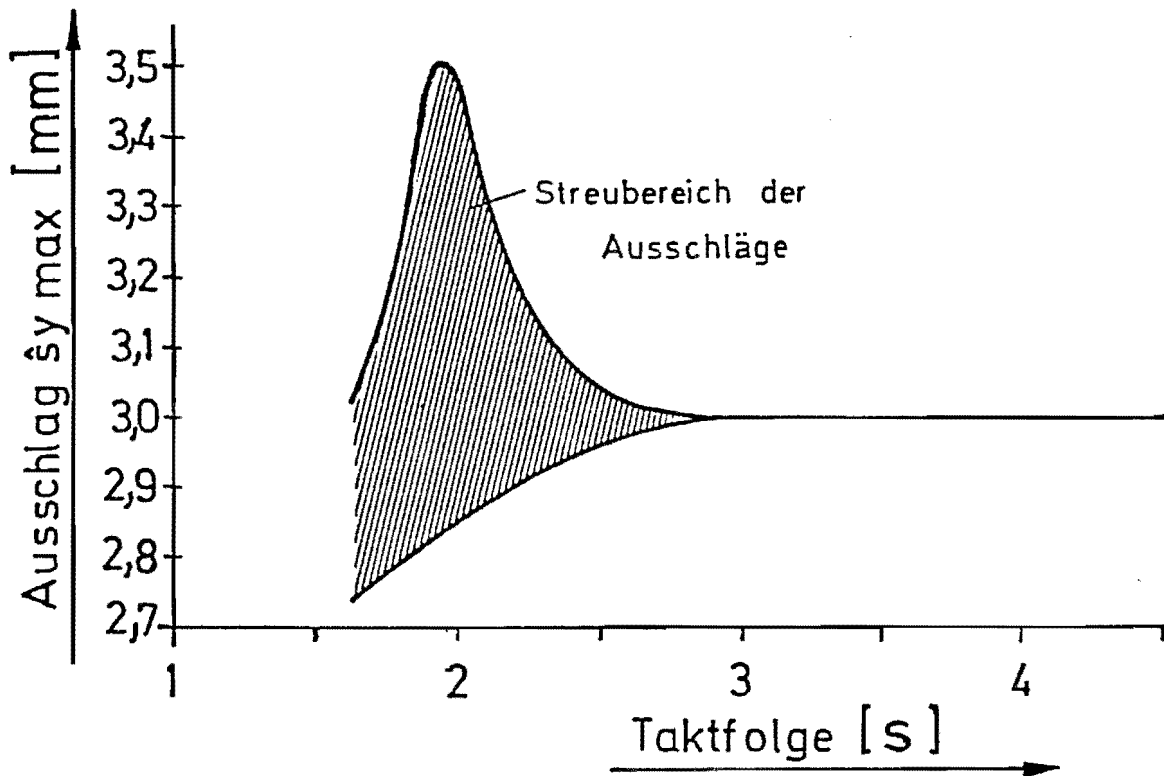


Abb. 24: Tischbewegungen der 40-MN-Pressen  $s_{y \max}$  in Abhängigkeit der Taktfolge

#### 11.4. Presse Nr. 4

##### 11.4.1. Gründung

Die 20-MN-Exzenterpresse wurde 1979 gebaut und nach der 1978 umgestellten Presse 1 als erste neue Schmiedepresse sofort direktabgefedert aufgestellt. Die für die Direktabfederung erforderliche größere Grundplatten-Länge von ca. 4 m in der y-Richtung wurde bereits beim Bau der 20-MN-Presse eingeplant. Die vier Eckpunkte des Grundrahmens stützen sich über je ein Feder-Dämpfungs-Element gegen die Sohlplatte einer relativ kleinen Wanne ab.

Die hier zunächst installierten Elemente entsprechen in ihrem Aufbau denjenigen, die unter der Presse 1 (Abb. 15) eingesetzt sind. Die Bauhöhe der Elemente betrug somit auch hier ca. 30 cm und die in alle 12 Dämpfungszyindern eingefüllte Masse bestand aus Bitumen. Der Aufbau der direktabgefederten 20-MN-Exzenterpresse ist aus Abb. 25 ersichtlich.

Die ersten Schwingungsuntersuchungen an dieser Presse wurden von der LIS auf dem Prüfstand des Pressenherstellers durchgeführt. Hier wurde die Presse nacheinander fest und elastisch gegründet und mit maximaler Auslastung der Präßkraft betrieben.

Weitere Schwingungsmessungen an dieser Presse erfolgten später beim Betreiber unter betriebsüblichen Bedingungen.

##### 11.4.2. Meßergebnisse

###### a) Isolierwirkung

Die dazu erforderlichen Messungen fanden auf dem Prüfstand statt. In Zahlen-  
tafel 7 sind die auf dem Baugrund und auf einer ca. 80 m entfernten Wohnraum-  
decke ermittelten Meßwerte aufgeführt.

Die aus den arithmetischen Mittelwerten der Schwinggeschwindigkeiten ermittelten mittleren Isolierfaktoren liegen in der besonders interessierenden Lotrichtung bei etwa 80 % und in der beiden Waagrecht-Richtungen bei etwa 70 %.

Die gute Isolierwirkung ist auf die relativ niedrige Lotrechteigenfrequenz von  $f_z = 4$  Hz der abgefederten Presse zurückzuführen. Die beiden Nickeigenfrequenzen wurden zu  $f_{yz} = 1,7$  Hz und  $f_{xz} = 1,4$  Hz festgestellt.

###### b) Gestellschwingungen

Die Gestellbewegungen wurden zunächst auf dem Prüfstand und später mehrfach wiederholt unter betriebsüblichen Bedingungen beim Betreiber gemessen. Abb. 25 zeigt die wesentlichen Ergebnisse dieser Messungen; dargestellt sind die Waagrecht-Bewegungen des Pressengestells.

— Prüfstandsmessung  
Schwingungsrichtung: x ↔  
Waagrecht parallel zur Exzenterwellen-Längsachse

--- Betriebsmessung

(Dämpfer gegenüber Prüfstandsmessung geändert)  
Schwingungsrichtung: y ↔  
Waagrecht rechtwinklig zur Exzenterwellen-Längsachse

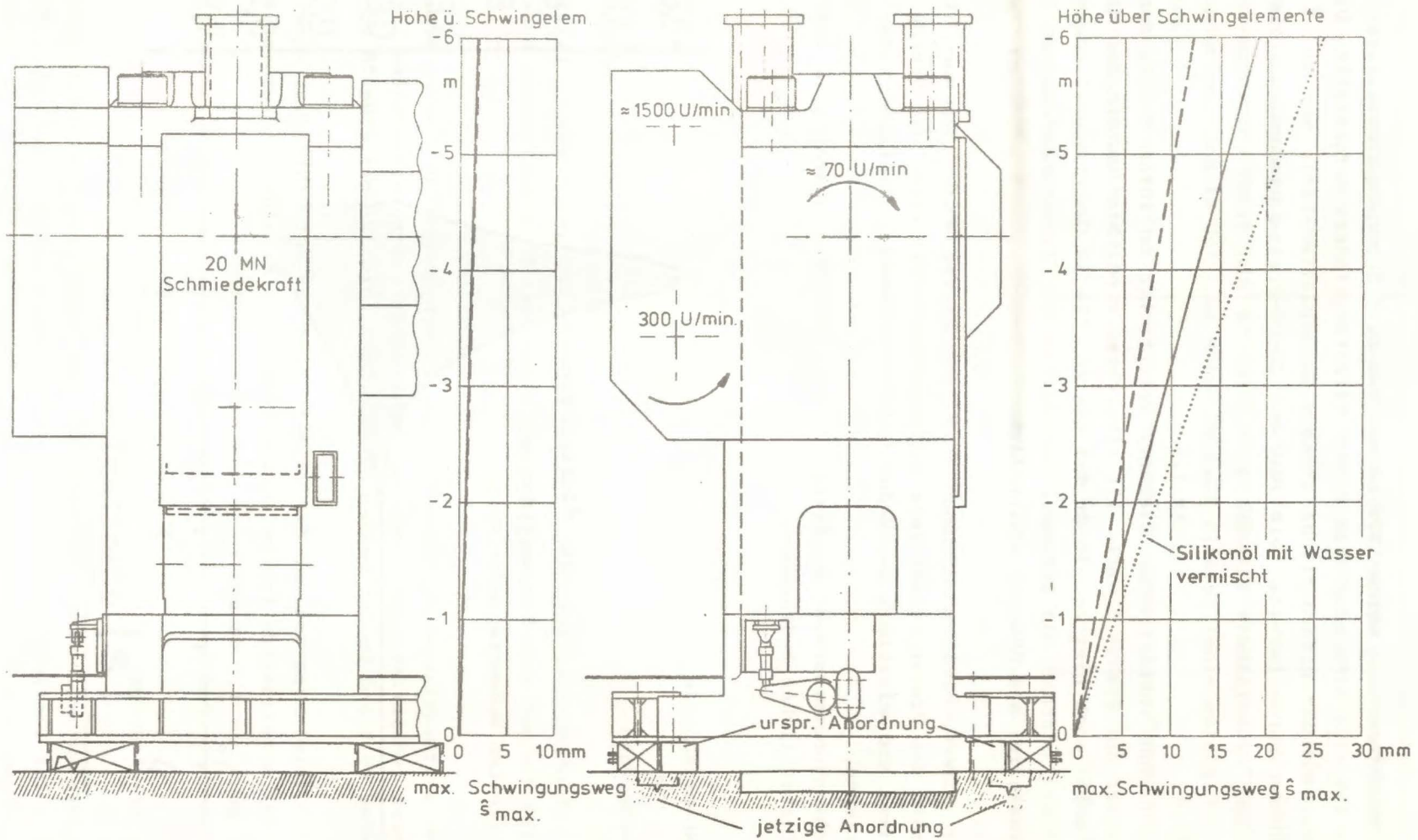


Abb. 25: Maximale Gestellbewegungen der auf 4 Feder/Dämpfungselementen aufgestellten 20-MN-Exzentrerschmiedepresse bei max. Auslastung

Zahlentafel 7: Gegenüberstellung der bei "fester" und "direktabgefeilter" Aufstellung der Presse ermittelten Erschütterungswerte und Angabe der Isolierwirkung

Meßpunkt	Schwing- Richtung	feste Aufstellung		direktabgef. Aufstellung		mittlerer Isolier- faktor [mm/s]
		vorherrschende Frequenz f [Hz]	$\bar{v}_{\max}$	vorherrschende Frequenz f [Hz]	$\bar{v}_{\max}$	
Baugrund 6,3 m Abstand	z	14	9,16	29	1,78	81 %
	x	17	3,81	57	1,07	72 %
	y	22	2,50	58	0,83	67 %
Baugrund 10 m Abstand	z	14	5,80	32	1,22	79 %
	x	16	4,76	54	1,28	73 %
	y	29	2,34	49	0,72	69 %
Wohnraum- decke 80 m Abstand	z	12	0,62	16	0,12	81 %

$\bar{v}_{\max}$  = arithmetischer Mittelwert aus 10 Preßvorgängen

#### 1) Prüfstandsmessung

Die Ergebnisse sind durch die ausgezogenen Linien gekennzeichnet. Wie bei allen bislang vorgestellten Pressen traten auch hier relativ geringe Ausschläge in der x-Richtung auf. Dies gilt auch für die hier nicht wiedergegebenen Lotrecht-Schwingungen mit max. Schwingweiten von etwa  $s_{\max} = 3$  mm. In der y-Richtung traten jedoch schon auf dem Prüfstand an der Pressenoberkante Schwingwege von  $s_{\max} = 19$  mm auf. Der zeitliche Verlauf dieser großen Gestellbewegungen ist in Abb. 26 dargestellt.

Der Maximalausschlag erfolgt etwa 1 Sekunde nach dem Einkuppeln und damit bereits nach Abschluß des Arbeitsspiels, das bei der hier eingestellten Exzenterwellendrehzahl von 70 U/min nach etwa 0,85 Sekunden beendet ist. Der Einschwingvorgang wird allein durch die dynamischen Maschinenkräfte gesteuert. Der Preßschlag, dessen Größe und Zeitpunkt in Abb. 26 mit aufgetragen ist, hat praktisch keinen Einfluß auf die Gestellbewegungen. Dies gilt übrigens auch für alle untersuchten Pressen. Nach Beendigung des Einschwingvorganges, d.h. etwa 1 Sekunde nach dem Beginn eines Arbeitsspiels, schwingt die Presse frei aus und kommt erst nach etwa weiteren 5 Sekunden wieder zur Ruhe. Diese relativ lange Ausklingzeit ist auf das niedrige Dämpfungsmaß von nur etwa  $D = 0,08$  zurückzuführen.

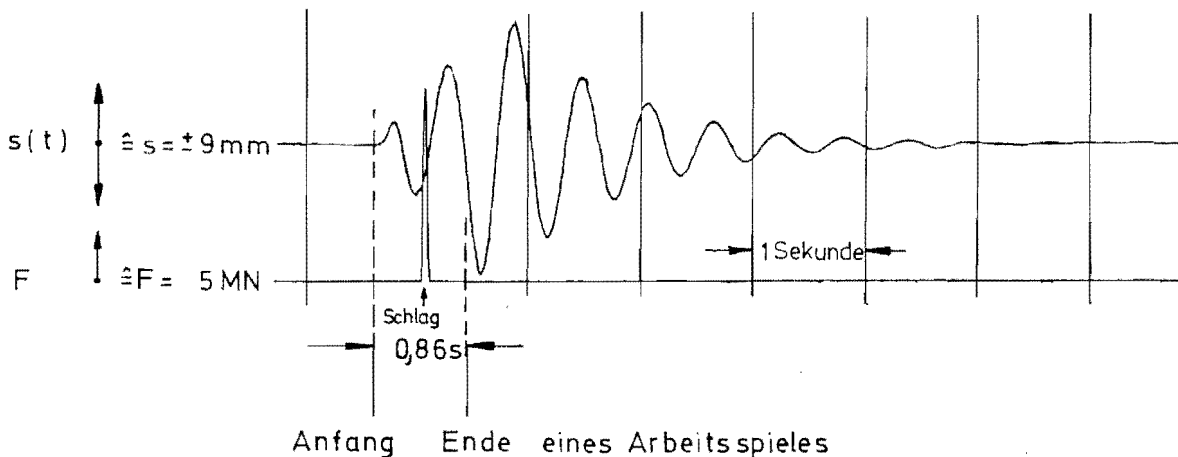


Abb. 26: Waagrecht-Schwingungen  $s(t)$  der Pressenoberkante und Schlagkraft ( $F$ )

Infolge dieser langen Nachschwingzeit war zu erwarten, daß es beim normalen Betriebsablauf infolge von Aufschaukelungen zu noch größeren Gestellschwingungen als auf dem Prüfstand festgestellt kommen würde. Dies war dann auch der Fall. Die bituminöse Masse wurde, als mit Schlagfolgen in ca. 3 Sekunden Abständen gepreßt wurde, so heißt, daß sie ihre dämpfenden Eigenschaften praktisch völlig verlor. Es traten nach subjektiven Feststellungen derart große Gestellbewegungen auf, daß ein weiterer Betrieb unmöglich erschien. Meßergebnisse über diesen Zustand liegen nicht vor.

Zur Verbesserung der Situation wurden folgende Änderungen im Feder-Dämpfungs-system vorgenommen:

1. Die Dämpfungseinrichtungen mit der bituminösen Masse wurden aus allen vier Feder-Dämpfungs-Elementen ausgebaut.
2. Neben jedem der vier verbliebenen reinen Feder-Elemente wurde in etwas größerem Abstand von der Schwerachse zusätzlich je ein Dämpfungs-Element installiert; siehe dazu Abb. 25.
3. Die größeren Dämpfungszyylinder in den neuen Dämpfern wurden anstelle des ursprünglich benutzten Bitumens mit Silikonöl aufgefüllt.

Danach wurden die in Abb. 25 gestrichelt eingetragenen Verformungslinien ermittelt. Während die auf dem Prüfstand ermittelten Waagrecht-Schwingungen in



der x-Richtung und auch die hier nicht wiedergegebenen Lotrecht-Schwingungen davon praktisch unbeeinflusst blieben, verringerten sich die Waagrecht-Bewegungen in der y-Richtung erheblich. Statt  $s_{\max} = 19$  mm an der Pressenoberkante waren es noch etwa  $s_{\max} = 12$  mm. Das Dämpfungsmaß wurde von ursprünglich  $D = 0,08$  um etwa den Faktor 2 auf  $D = 0,15$  angehoben. Kam die Presse früher erst etwa 6 Sekunden nach dem Einkuppeln zur Ruhe, waren es nach der Änderung nur noch 3 Sekunden. Damit konnte aus der Sicht der Gestellschwingungen unbedenklich in einem zeitlichen Abstand von 3 Sekunden gepreßt werden.

Bei dieser Presse kam es später nochmals zu großen Pressenbewegungen. Von der LIS wurde festgestellt, daß sich die Ausschläge in der y-Richtung gegenüber dem Zustand nach dem Umbau um etwa den Faktor 2 vergrößert hatten und die Schwingungen noch bis zu 10 Sekunden nach jedem Schlag deutlich sichtbar blieben. In Abb. 25 ist die aus diesen großen Meßwerten ermittelte Verformungslinie punktiert eingetragen. Man erkennt, daß an der Pressenoberkante Ausschläge bis zu etwa  $s_{\max} = 30$  mm auftraten.

Ursache dafür war, daß sich im Laufe der Zeit Grundwasser mit dem Silikonöl zu einer dünnflüssigen "Emulsion" vermischt hatte und die dämpfende Wirkung dadurch praktisch ausgeschaltet worden war. Nach dem Austausch der Dämpfer stand die Presse wieder so ruhig wie nach dem Umbau. Dieser Zustand war auch etwa 2 Jahre später erhalten, so daß von dem Silikonöl hinsichtlich seiner dämpfenden Eigenschaften gute Langzeiteigenschaften zu erwarten sind.

Der v.g. Zwischenfall verdeutlicht, wie wichtig es ist, Dämpfungseinrichtungen vor eindringendem Wasser zu schützen. Im allgemeinen geschieht dies durch automatisch arbeitende Pumpen, die aufsteigendes Grundwasser frühzeitig absaugen.

Der Zwischenfall lieferte auch ein positives Ergebnis, und zwar im Hinblick auf den mechanisierten Betrieb direktabgefederter Pressen. Die Presse mit der defekten Dämpfungseinrichtung wurde über mehrere Monate einwandfrei von einem Manipulator beschickt, obwohl die Waagrecht-Tischbewegungen bis zu  $s_{\max} = 7$  mm betrug. Die Pressenbewegungen direktabgefederter Pressen scheinen somit durchaus nicht so kritisch für einen mechanisierten Betrieb zu sein, wie vielfach von den Betreibern angenommen.

## 11.5. Presse Nr. 5

### 11.5.1. Gründung

Diese 15-MN-Exzenterpresse wurde Ende 1980 als neue Maschine direktabgefедert aufgestellt, wobei für die Wahl dieser Maßnahme allein betriebliche Gründe ausschlaggebend waren. Wegen fehlender Nachbarschaft war der Immissionsschutz nicht ausschlaggebend. Die Presse wurde zunächst an den vier Eckpunkten des Maschinengrundrahmens auf je ein Feder-Dämpfungs-Element gestellt.



Wegen zu großer Gestellbewegungen wurden dann noch vier weitere Elemente hinzugefügt. Der endgültige Zustand ist aus Abb. 27 ersichtlich.

Die Feder-Dämpfungs-Elemente gehören vom Aufbau her zu dem in Abb. 20 vorgestellten Typ. Die vier zunächst eingebauten Elemente sind mit "Bitumen-Dämpfer" und die zusätzlich eingebauten mit "Silikon-Dämpfer" kombiniert.

Die Messungen wurden beim Betrieb dieser Presse mit den acht untergebauten Elementen durchgeführt und zum Vergleich an einer unmittelbar benachbarten festaufgestellten Presse gleichen Typs.

#### 11.5.2. Meßergebnisse

##### a) Isolierwirkung

In Zahlentafel 8 sind die bei fester und gefederter Pressenaufstellung auf dem Baugrund ermittelten Meßwerte aufgeführt.

Die mittleren Isolierfaktoren liegen zwischen 89 und 91 %; d.h. im Mittel bei etwa 90 %. Diese relativ hohe Isolierwirkung einer Direktabfederung dürfte im wesentlichen auf die vorliegenden dynamischen Baugrundeigenschaften zurückzuführen sein, die bei fester Gründung zu hohen Eigenfrequenzen des Systems führen; siehe Zahlentafel 9.

Mit 30 Hz vorher und 4,7 Hz nachher ergibt sich ohne Berücksichtigung der hier relativ hohen Dämpfung nach Gl. (4) ein Isolierfaktor von:

$$I = \left( 1 - \frac{4,7}{30} \right) \cdot 100 = 85 \%$$

Berücksichtigt man eine Erhöhung durch die Dämpfung von etwa 3 %, so besteht praktisch Übereinstimmung zwischen Rechen- und Meßwert.

##### b) Gestellschwingungen

In Abb. 27 sind die max. Waagrecht-Bewegungen der fest und gefedert aufgestellten Pressen wiedergegeben.

In der x-Richtung sind die Ausschläge bei beiden Aufstellungsarten mit Maximalwerten an der Pressenoberkante unterhalb  $s_{\max} = 0,5$  mm vernachlässigbar gering. Ebenso verhält es sich mit den hier nicht wiedergegebenen Lotrechtbewegungen; sie betragen bei fester Gründung  $s_{\max} = 0,5$  mm und bei gefederter Aufstellung  $s_{\max} = 1,5$  mm.

Zahlentafel 8: Baugrunderschütterungen bei fester und gefederter Pressenaufstellung und Angabe des jeweils erreichten Isolierfaktors

Meßpunkt	Schwingrichtung	Gründung der Presse	vorherrschende Frequenz $f$ [Hz]	*mittlerer max. Scheitelwert $\bar{v}_{\max}$ [mm/s]	mittlerer Isolierfaktor $I$ %
Baugrund in 6,3 m Abstand vom Mittelpunkt der Presse	z	fest	33	1,96	87
		gededert	10	0,25	
	x	fest	28	1,34	90
	y	fest	28	1,42	87
		gededert	14	0,18	
10 m Abstand	z	fest	28	1,44	89
		gededert	10	0,165	
	x	fest	28	0,64	91
	y	fest	13	0,06	88
		gededert	13	0,09	

\* Arithmetischer Mittelwert aus jeweils zehn Einzelwerten, die sich als Maximalwerte bei 10 Arbeitsspielen ergaben.

Zahlentafel 9: Eigenfrequenzen der unterschiedlich aufgestellten 15-MN-Pressen

Art der Eigenschwingung	feste Gründung zugehörige Eigenfrequenzen $f$ [Hz]	abgedederte Gründung zugeh. Eigenfr.		Dämpfung $D$
		$f$	[Hz]	
Lotrechteigenschwingung	30	4,7		0,15
Nickeigenschwingung in der yz-Ebene	5,7	2,3		0,12
Nickeigenschwingung in der xz-Ebene	3,9	1,5		0,15

Schwingungsrichtung X ←

Schwingungsrichtung Y ←

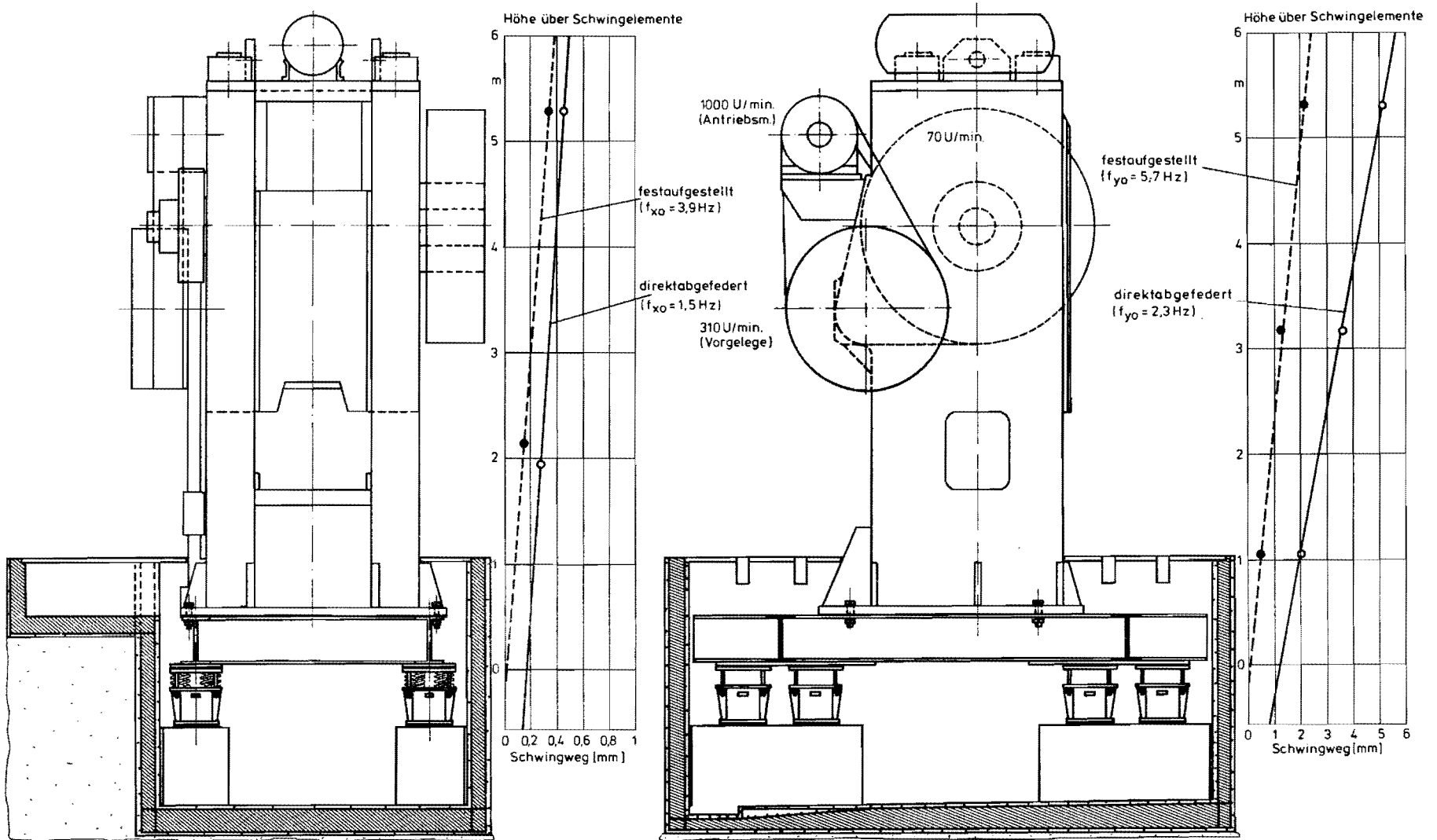


Abb. 27: Aufstellung und maximale Gestellbewegungen der 15-MN-Exzentrerschmiedepresse

In der y-Richtung, in der aufgrund der Krafteinleitung die größten Bewegungen auftreten, wurden an der Pressenoberkante im abgefederten Zustand Maximalausschläge bis zu etwa  $s_{\max} = 6$  mm festgestellt und bei fester Aufstellung bis zu etwa 2 mm, d.h. um etwa den Faktor 3 kleinere Werte.

Die Gegenüberstellung der max. Gestellbewegungen bei fester und gefederter Aufstellung verdeutlicht, daß durch den optischen Eindruck der wahre Sachverhalt im allgemeinen nicht richtig eingeordnet wird. Subjektiv werden die gut sichtbaren Gestellbewegungen vielfach um den Faktor 10 gegenüber den wahren Größen überbewertet. Die kleineren Ausschläge bei fester Aufstellung fallen auch wegen der höheren Frequenz weniger auf, und es entsteht der Eindruck, daß sich nur die gefederte Presse bewegt.

Abb. 28 veranschaulicht die bei fester und gefederter Aufstellung während eines Arbeitsspiels auftretenden Gestellbewegungen  $s(t)$ .

Bei der hier untersuchten Presse mit einer Exzenterwellendrehzahl von ca.  $n = 70$  U/min läuft ein Bewegungsablauf in  $t = 60 : 70 = 0,86$  s ab; er wird begrenzt durch das Einkuppeln und das Abbremsen.

Man erkennt aus Abb. 28, daß in beiden Fällen etwa 0,9 s nach der 1. Schwingungseinleitung, d.h. zum Zeitpunkt des Exzenterwellenstillstandes, ein 2. Stoß erfolgt und die Presse dann frei ausschwingt.

Etwa 2 Jahre nach der Ausgangsmessung erfolgte von der LIS eine weitere Messung unter vergleichbaren Betriebsbedingungen. Dabei wurden um ca. 50 % größere Gestellbewegungen festgestellt. Vermutlich ist dies auf ein Nachlassen der Dämpfungswirkung in den mit bituminöser Masse gefüllten Dämpfungseinrichtungen zurückzuführen.

## 11.6. Presse Nr. 6

### 11.6.1. Gründung

Diese kleinste Presse der Versuchsreihe mit einer Leistung von 12,5 MN wurde 1981 ebenfalls als neue Maschine direktabgefedert aufgestellt; sie stammt aus der gleichen Baureihe wie die Pressen 1 und 4.

Als Fundament für diese Presse dient eine etwa 1 m unter dem Maschinenflur liegende Fundamentplatte; siehe dazu Abb. 32. An den vier Ecken stützt sich der Pressenrahmen über je ein Feder-Dämpfungs-Element auf dieser Fundamentplatte ab.

Die eingesetzten vier Feder-Dämpfungs-Elemente mit einer Bauhöhe von nur etwa 25 cm sind als eine Weiterentwicklung der unter der Presse 4 eingebauten Feder-Dämpfungs-Kombination anzusehen; Abb. 29 zeigt den Aufbau.

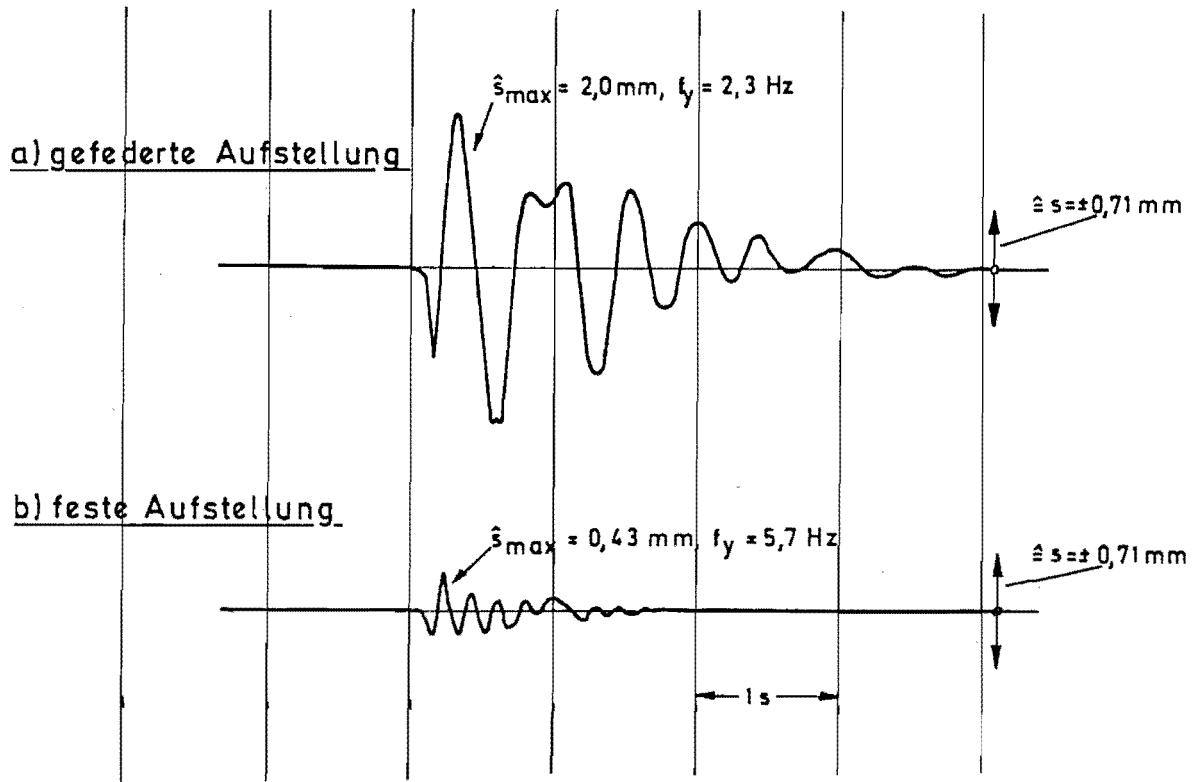


Abb. 28: Ausschnitte aus den Schwingungsaufzeichnungen des Pressengestells in Höhe des Maschinenflures in y-Richtung

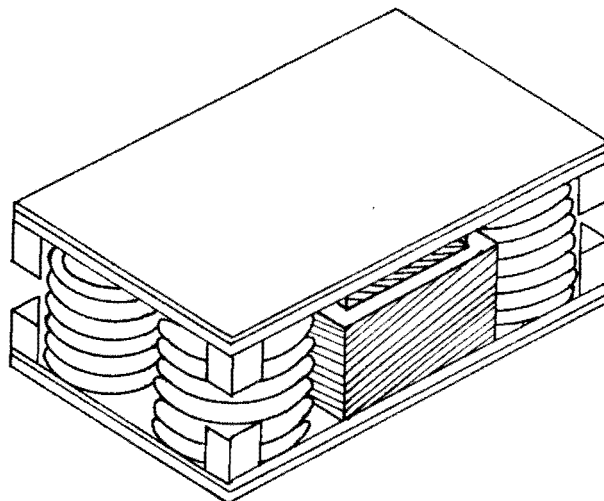


Abb. 29: Feder-Dämpfungs-Element niedriger Bauweise mit Silikonöl-Füllung

Federelemente und "Silikon-Dämpfer" sind in einem Gehäuse integriert. Die Dämpfer sind wegen des relativ großen Platzbedarfs nicht mehr innerhalb der Federn untergebracht, sondern neben den Federn eingebaut. Die Dämpferkolben sind in der Lotrichtung und in derjenigen Waagrecht-Richtung, die unter Pressen der y-Richtung entspricht, frei beweglich.

### 11.6.2. Meßergebnisse

#### a) Isolierwirkung

Auch in diesem Fall wurde die zur Ermittlung der Isolierwirkung notwendige feste Aufstellung durch Ausschalten der Federwirkung simuliert. In Abb. 30 ist die am 10-m-Baugrundmeßpunkt erzielte Minderung veranschaulicht.

Zahlentafel 10 gibt die vor und nach der Abfederung ermittelten Meßwerte und die daraus errechneten Isolierfaktoren wieder (hier wurde nur am 10-m-Meßpunkt gemessen).

Die Isolierwirkung der Direktabfederung liegt je nach Schwingungsrichtung zwischen 71 und 84 %. Der hohe Wert von 84 % ist dabei der Schwingungsrichtung y zugeordnet, in der hier die größten Schwingungen auftraten. Damit wurde erreicht, daß die Baugrundschwingungen im abgefederten Zustand in allen drei Richtungen z, x und y praktisch gleich groß sind.

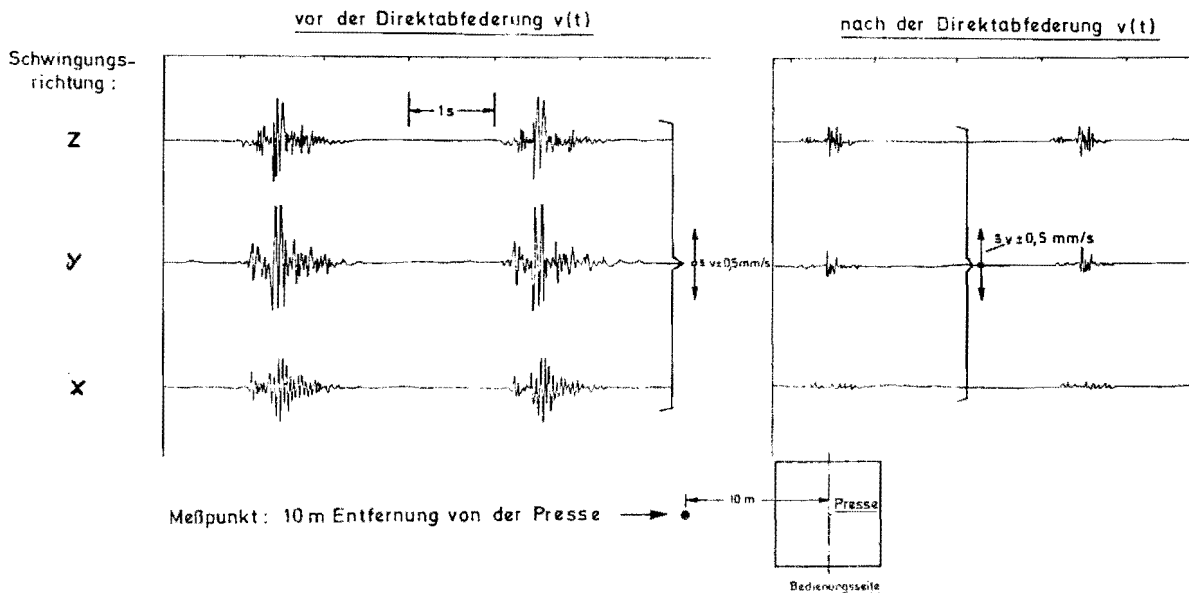


Abb. 30: Gegenüberstellung der Baugrunderschütterungen beim Betrieb der fest und abgefedert aufgestellten 12,5-MN-Pressen

Zahlentafel 10: Baugrunderschütterungen bei fester und gefederter Aufstellung der 12,5-MN-Pressen und Angabe der erreichten Isolierfaktoren

Meßpunkt	Schwing- Richtung	Gründung der Presse	vorherrschende		mittlerer max. Schei- telwert $\bar{v}_{\max}$ [mm/s]	mittlerer Isolier- faktor  I %
			Frequenz  Hz			
Baugrund in 10 m Abstand vom Mittelpunkt der Presse	z	fest	24		0,61	71
		gefedert	33		0,18	
	x	fest	24		0,5	72
		gefedert	16		0,14	
	y	fest	24		0,94	84
		gefedert	34		0,15	

$\bar{v}_{\max}$  = Arithmetischer Mittelwert aus jeweils zehn Einzelwerten, die sich als Maximalwerte bei 10 Arbeitsspielen ergaben

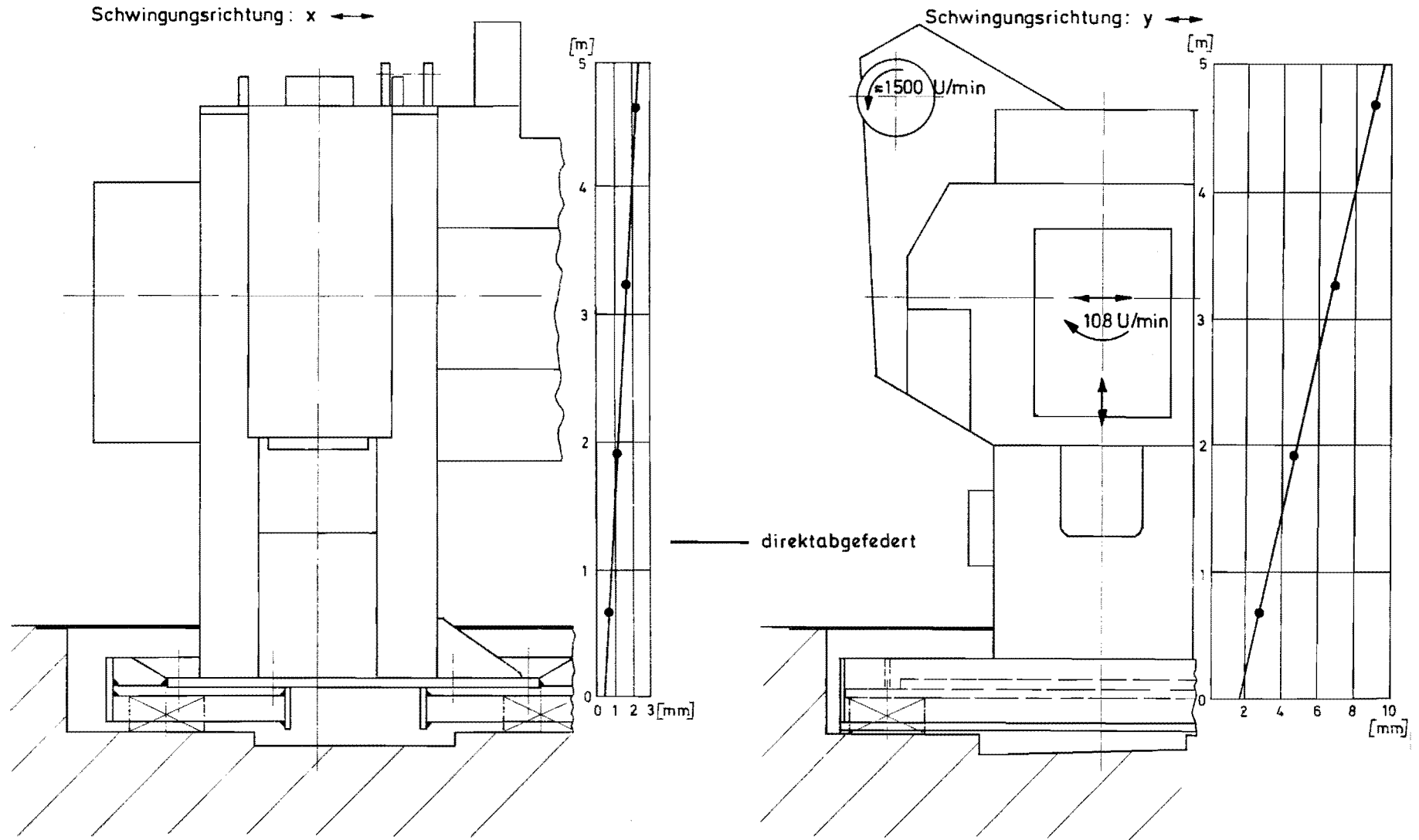


Abb. 32: Maximale Gestellbewegungen der direktabgefederten 12,5-MN-Exzentrerschmiedepresse



## b) Gestellschwingungen

Bei der gefederten Aufstellung wurden folgende Eigenfrequenzen und Dämpfungen für die drei wesentlichen Eigenschwingungen ermittelt:

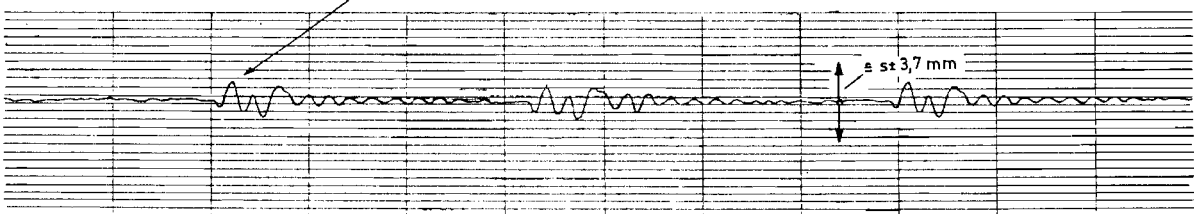
$f_z$	= 3,9 Hz	Dämpfung D	= 0,2
$f_{yz}$	= 1,9 Hz	Dämpfung D	= 0,13
$f_{xz}$	= 1,6 Hz	Dämpfung D	= 0,15

Den zeitlichen Verlauf der Gestellschwingungen in y-Richtung kennzeichnet Abb. 31; hier sind die an der Pressenoberkante bei drei aufeinanderfolgenden Arbeitsspielen aufgetretenen Schwingungen bei fester und gefedeter Aufstellung veranschaulicht.

Die Arbeitsspiele erfolgen in einem Rhythmus von etwa 3 Sekunden. Bei Beginn jedes Arbeitsspieles, d.h. zum Zeitpunkt der Kupplungsvorgänge, sind die Schwingungen des vorgehenden Arbeitsspieles praktisch auf Null abgeklungen, so daß hier keine Aufschaukelung auftrat.

In Abb. 32 sind die max. Gestellbewegungen aufgetragen, die 1981 kurz nach der Inbetriebnahme der Maschine im betriebswarm gefahrenen Zustand ermittelt wurden. Die praktisch allein interessierenden Bewegungen in der y-Richtung betragen an der Oberkante  $s_{\max} = 9$  mm und in Tischhöhe etwa  $s_{\max} = 3$  mm. Dieser Zustand lag auch noch bei einer ca. 3 Jahre später erfolgten Nachmessung vor. Infolgedessen ist davon auszugehen, daß innerhalb dieser rund dreijährigen Betriebszeit die dämpfenden Eigenschaften des Silikonöls in den Dämpfern unverändert blieben.

a) feste Aufstellung ( $\dot{s}_{\max} = 1,5$  mm,  $f_y = 4,4$  Hz)



b) gefederte Aufstellung ( $\dot{s}_{\max} = 9,1$  mm,  $f_y = 1,9$  Hz)

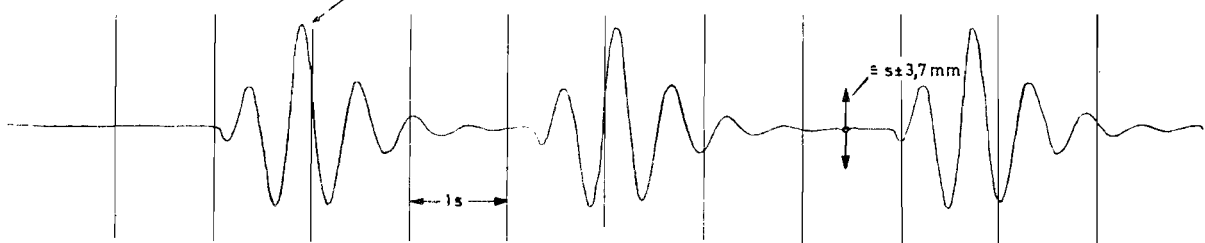


Abb. 31: Schwingungen der Pressenoberkante in y-Richtung

Schwingungsrichtung : x ↔  
 Waagrecht parallel zur Exzenterwellen - Längsachse

Schwingungsrichtung : y ↔  
 Waagrecht rechtwinklig zur Exzenterwellen - Längsachse

● Leerlauf  
 ○ 25 % Belastung  
 + 80 % Belastung

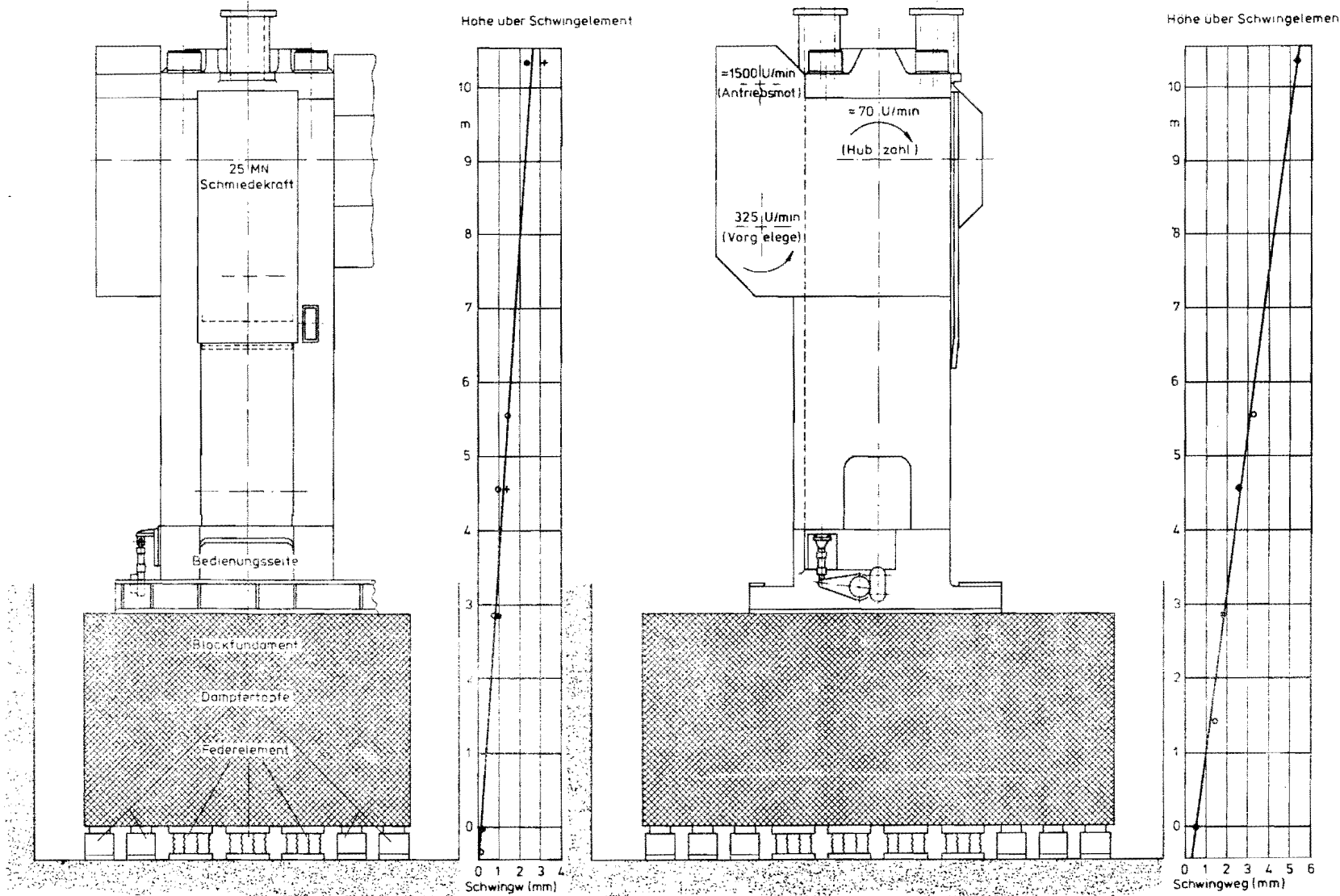


Abb. 33: Maximale Gestellbewegungen der auf einem abgefederten Fundamentblock aufgestellten 25-MN-Exzentrerschmiedepresse

## 11.7. Blockgefederte Presse Nr. 7

### 11.7.1. Gründung

Diese 25-MN-Exzentrerschmiedepresse, die etwa 2 Jahre vor der 1. Direktabfederung einer Presse in damals üblicher Art blockgefedert aufgestellt wurde, ist in etwa mit der Presse 4 zu vergleichen. Somit ist es möglich, die Auswirkungen der beiden unterschiedlichen Aufstellungsarten - Blockfederung und Direktabfederung - miteinander zu vergleichen.

Abb. 33 zeigt den Aufbau der 25-MN-Presse. Die Masse des Fundamentblocks mit  $195 \cdot 10^3$  kg übersteigt die Maschinenmasse noch um ca. 20 %. Dieser schwere Block mit der darauf installierten Presse steht auf insgesamt 14 Federpaketen und 16 Dämpfertöpfen mit Bitumenmasse. Die damit erzielten Eigenfrequenzen und Dämpfungen der drei als wesentlich anzusehenden Eigenschwingungen betragen:

$f_z$	=	3	Hz	Dämpfung $D_z$	=	0,25
$f_{yz}$	=	1,7	Hz	Dämpfung $D_{yz}$	=	0,2
$f_{xz}$	=	1,4	Hz	Dämpfung $D_{xz}$	=	0,2

Die erreichte Isolierwirkung, die hier meßtechnisch nicht ermittelt wurde, dürfte erfahrungsgemäß in dem als optimal anzusehenden Bereich um  $I = 80$  % liegen.

### 11.7.2. Schwingungen des abgefederten Systems

Die in Abb. 33 wiedergegebenen max. Gestellbewegungen, die wie in allen Fällen lastunabhängig waren, betragen bis zu etwa  $s_{\max} = 5$  mm an der Pressenoberkante und erreichten damit etwa 50 % derjenigen Werte, die an der Oberkante der direktabgefederten 20-MN-Presse bei optimaler Dämpferwirkung festgestellt wurden. Vergleicht man dagegen die Maximalausschläge in Höhe der Pressentische miteinander, die von vielen Betreibern als ein für die Schmiedegüte aussagefähiges Maß angesehen werden, so ergibt sich praktisch kein Unterschied. Dies ist auf die unterschiedlich tief liegenden Drehpole der Nickeigenschwingungen zurückzuführen.

Die hier nicht wiedergegebenen Lotrecht-Schwingungen der blockgefederten Presse lagen infolge der wesentlich größeren mitschwingenden Masse nur bei 1/10 der Werte, die sich bei der zum Vergleich herangezogenen Presse 4 ergaben. Für den Betrieb ist dies jedoch völlig unbedeutend.

Über einen Zeitraum von 4 Jahren hat sich der Schwingungszustand der Presse praktisch nicht verändert. Es ist somit anzunehmen, daß Bitumen bei kleinen Bewegungen des Kolbens die dämpfenden Eigenschaften auch längerfristig nicht verliert.

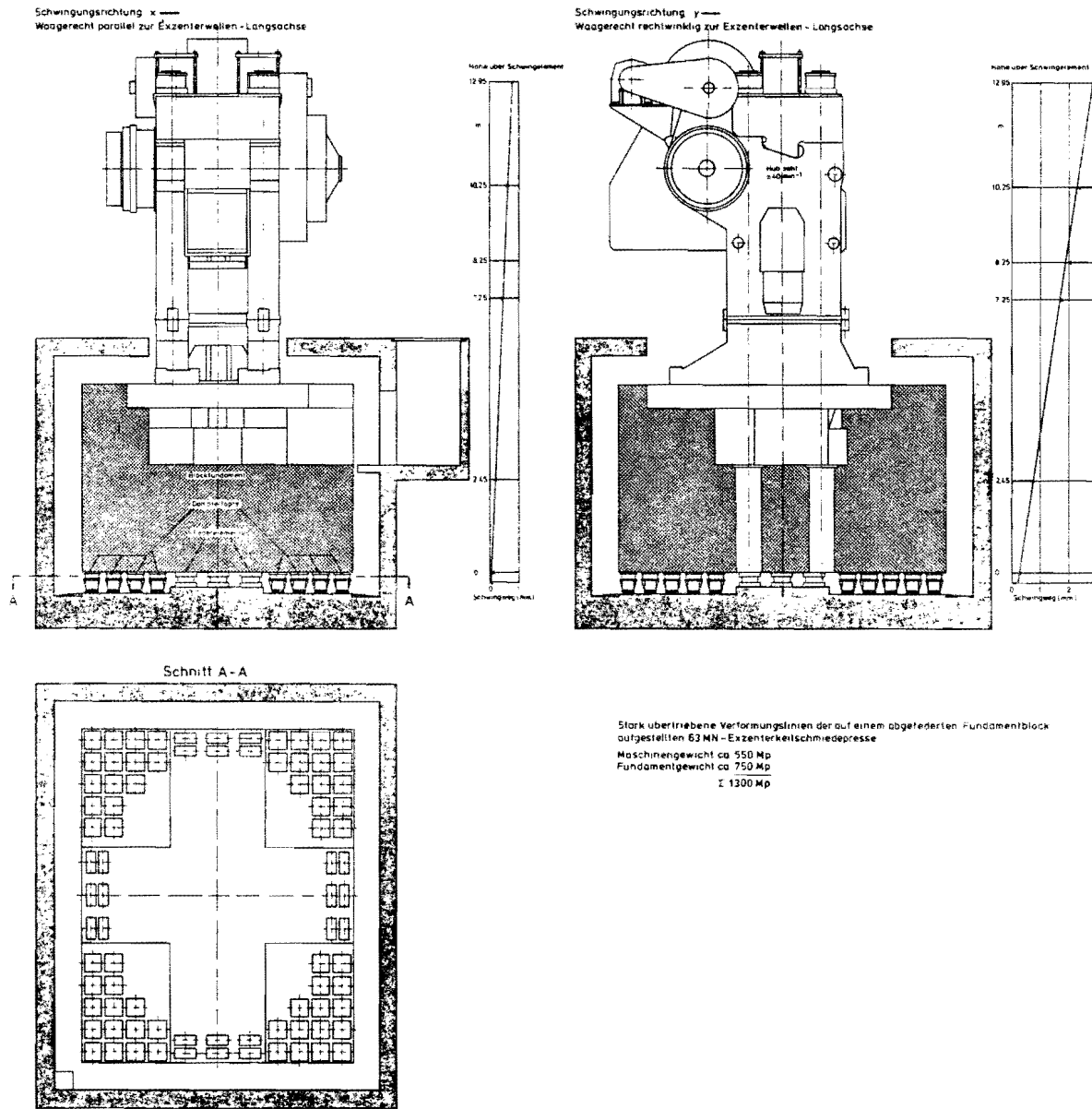


Abb. 34: Aufbau und maximale Gestellbewegungen einer blockgefederten 63-MN-Keilpresse

## 11.8. Blockgefederte Presse Nr. 8

## 11.8.1. Gründung

Diese 63-MN-Keilschmiedepresse wurde 1972 einschließlich Block abgefedert aufgestellt. Abb. 34 kennzeichnet den Aufbau der Abfederung. Die zur Schwingungsisolierung eingebrachte Zusatzmasse überschreitet die Maschinenmasse um etwa 35 %. Der als Zusatzmasse dienende Block befindet sich in einer begehbaren Wanne, auf deren Grundplatte die Feder- und Dämpfungselemente stehen. Insgesamt sind es 24 Federpakete und 60 mit Bitumen gefüllte Dämpfungseinrichtungen. Die damit eingestellten Eigenfrequenzen und Dämpfungen betragen:

$$\begin{array}{ll}
 f_z & = 2 \quad \text{Hz} & \text{Dämpfung } D_z & = 0,23 \\
 f_{yz} & = 0,8 \quad \text{Hz} & \text{Dämpfung } D_{yz} & = 0,2 \\
 f_{xz} & = 0,7 \quad \text{Hz} & \text{Dämpfung } D_{xz} & = 0,2
 \end{array}$$

Auch bei dieser Aufstellung dürfte von einer erzielten Isolierwirkung von etwa  $I = 80 \%$  auszugehen sein.

## 11.8.2. Meßergebnisse

## a) Resterschütterungen

Auf dem Baugrund in 10 m Abstand von der Presse wurden folgende Werte ermittelt:

$$\begin{array}{ll}
 v_{z\max} & = 0,41 \text{ mm/s;} & f_z & = 10 \text{ Hz} \\
 v_{x\max} & = 0,11 \text{ mm/s;} & f_x & = 12 \text{ Hz} \\
 v_{y\max} & = 0,14 \text{ mm/s;} & f_y & = 12 \text{ Hz.}
 \end{array}$$

## b) Gestellbewegungen

Abb. 34 zeigt, daß die max. Gestellbewegungen dieser Presse selbst an der Oberkante unter  $s_{\max} = 3 \text{ mm}$  lagen. Wegen des von den übrigen Exzenterpressen abweichenden Arbeitsprinzips dieser Keilpresse ist ein direkter Vergleich dieser blockgefederten 63-MN-Presse mit der direktabgefederten Presse 2, die ebenfalls eine Preßkraft von 63-MN besitzt, nur näherungsweise möglich. Festzustellen ist jedoch, daß auch bei diesen beiden unterschiedlich aufgestellten Pressen die in Tischhöhe ermittelten max. Gestellbewegungen nur geringfügig voneinander abweichen.

### c) Langzeitverhalten der "Bitumendämpfer"

Für ein gutes Langzeitverhalten der hier eingesetzten Dämpfer sprechen zwei Gründe:

1. Nach subjektiven Feststellungen des Betriebes hat sich der Schwingungszustand der Presse über die relativ lange Betriebszeit von mehr als 10 Jahren praktisch nicht verändert.
2. Durch eine meßtechnische Überprüfung der LIS, die etwa 4 Jahre nach der 1. Messung stattfand, wurde ebenfalls kein Unterschied gegenüber den Ausgangswerten festgestellt.

Das bislang stabile Langzeitverhalten dürfte im wesentlichen auf die geringen Relativbewegungen zwischen Dämpfungszylinder und -kolben zurückzuführen sein. Einen nicht zu unterschätzenden Einfluß dürfte dabei aber auch die hier bislang niedrig gehaltene Schlagzahl von nur etwa sieben Schlägen in der Minute gehabt haben. Bei jedem Folgeschlag befand sich die Presse in völligem Ruhezustand, so daß jegliche Aufschaukelung der Gestellbewegungen durch Folgestöße ausgeschlossen war. Hinzu kommt die im Vergleich zur Direktabfederung enorm hohe Anzahl von Dämpfungseinrichtungen unter der hier beschriebenen 63-MN-Keilpresse.

### 12. R ü c k s c h l ü s s e   a u s   d e n   M e ß e r g e b n i s s e n

Durch die Direktabfederung von Exzenter-Schmiedepressen kann die allgemein unter gleichzeitiger Berücksichtigung der erreichten Minderung, der auftretenden Gestellbewegungen und des wirtschaftlichen Aufwandes, als optimal anzusehende Isolierwirkung stoßartiger Erschütterungen von etwa  $I = 80 \%$  gegenüber der festen Gründung erreicht werden, ohne daß Gestellbewegungen den Schmiedeablauf und die Schmiedegeräte nachteilig beeinflussen. Voraussetzung ist jedoch, daß die zum schnellen Abbau der Gestellschwingungen notwendigen Dämpfungseinrichtungen den jeweiligen Erfordernissen in geeigneter Weise angepaßt werden. So werden insbesondere bei den leistungsmäßig kleineren Exzenterpressen mit ihren relativ hohen Taktfolgen Dämpfungseinrichtungen benötigt, die einerseits ein schnelles Abklingen der Gestelleigenschwingungen gewährleisten und die andererseits auch über ein gutes Langzeitvermögen hinsichtlich ihrer dämpfenden Eigenschaften verfügen. Dazu sind aufgrund der Untersuchungen Dämpfer mit "Bitumen-Füllung" ungeeignet. Zu wesentlich günstigeren Ergebnissen haben hier Dämpfer mit "Silikonöl-Füllung" geführt. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, daß Dämpfungseinrichtungen mit Silikonöl wegen der geringeren Viskosität dieses Materials gegenüber der bituminösen Masse mit größeren Dämpfungszylindern ausgerüstet werden sollten.

Über das Langzeitverhalten von Dämpfungseinrichtungen mit Silikonöl kann quantitativ von hier aus noch keine endgültige Aussage gemacht werden. Es ist nicht ausgeschlossen, daß sich auch an diesen Einrichtungen nach mehrjährigem

Einsatz unter den Pressen Verschleißerscheinungen einstellen, die sich optisch durch größere Gestellbewegungen zeigen. Zur Klärung dieses Sachverhaltes wären Langzeituntersuchungen mit etwa 1/2-jährlich durchzuführenden Wiederholmessungen an einigen auszuwählenden Pressen geeignet; beispielsweise an den relativ schnell schlagenden Pressen 3 und 4 dieser Versuchsreihe, die mit unterschiedlichen Dämpfertypen versehen und beide mit Silikonöl gefüllt sind.

Unabhängig von der noch ausstehenden Aussage über das Langzeitverhalten der Dämpfungseinrichtungen kann die Direktabfederung von Exzenter-Schmiedepressen nach den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sowohl aus der Sicht des Immissions-schutzes als auch aus betrieblicher Sicht als eine technisch akzeptable Lösung angesehen werden, die auch der bislang üblichen Blockfederung von Schmiedepressen nicht nachteilig gegenübersteht. Dies wird durch folgende Feststellung belegt:

1. Die unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte als optimal anzusehende Isolierwirkung von etwa 80 % kann bei der Direktabfederung ebenso erreicht werden wie bei der Blockfederung.
2. Die bei der Direktabfederung in Tischhöhe auftretenden max. Gestellbewegungen können auf etwa  $s_{\max} = 2 \dots 3$  mm begrenzt werden und liegen damit in diesem Pressenbereich in gleicher Größenordnung wie die bei blockgefederten Pressen.
3. Die Schmiedegüte und die Umformkraft wurde nach Aussagen aller Betreiber von direktabgefederten Pressen trotz der größeren Beweglichkeit der Pressen nicht nachteilig verändert.
4. Das Bedienungspersonal bewertete nach kurzer Eingewöhnungszeit die Arbeitsbedingungen an einer direktabgefederten Presse positiv; die kurzzeitig auftretenden Relativbewegungen zwischen Körper und Presse stören nicht, die erhebliche Minderung der auf den Körper einwirkenden Erschütterungen wird dagegen als sehr angenehm empfunden.
5. Die Kosten für eine Direktabfederung sind - wie am Beispiel der Presse 3 aufgezeigt - niedriger als die einer Blockfederung und auf die Gesamtkosten bezogen auch nicht nennenswert höher als für eine feste Gründung.
6. Über die zulässige Größe der im oberen Bereich der direktabgefederten Pressen auftretenden tieffrequenten Gestellbewegungen gibt es bislang noch keine abgesicherten Aussagen, die möglichen Einwirkungen auf einzelne Maschinenteile dürften jedoch aufgrund des optischen Eindrucks überschätzt werden. Erfahrungsgemäß ist davon auszugehen, daß die Einwirkungen auf Maschinenteile im wesentlichen von den auftretenden Schwingbeschleunigungen abhängen dürften. Diese sind jedoch bei der gefederten Presse nicht größer als bei der fest gegründeten Presse. Betrachtet man beispielsweise das Gestell der Presse 5 in Höhe des Pressentisches in der schwingungsmäßig herausragenden y-Richtung, so wurden hier max. Schwingbeschleunigungsscheitelwerte von etwa  $a = 1,5$  g

bei fester Aufstellung und von etwa  $a = 1,1 \text{ g}$  bei der direktabgefederten Aufstellung mit vorherrschenden Frequenzen von jeweils etwa 90 Hz festgestellt. Der Anteil an der Schwingeschleunigung, der den tieffrequenten Nickeigenschwingungen zuzuordnen ist, beträgt nur ein Bruchteil der vorgenannten Werte. Aus den Gestellbewegungen der Presse 5 errechnet sich dieser Anteil nach der Beziehung

$$a = s \cdot (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \quad (11)$$

für den Pressentisch in y-Richtung zu

$$a_{\max} = 1,2 \text{ m/s}^2 \text{ bzw. } 0,12 \text{ g für die feste Gründung und von}$$

$$a_{\max} = 0,6 \text{ m/s}^2 \text{ bzw. } 0,06 \text{ g für die gefederte Aufstellung.}$$

Man erkennt, daß bei der abgefederten Aufstellung sowohl die aus den tieffrequenten Nickschwingungen herrührenden Schwingbeschleunigungen als auch die insgesamt auftretenden Beschleunigungswerte geringer sind als bei fester Aufstellung und somit eine Gefährdung von Maschinenteilen infolge der Direktabfederung als unwahrscheinlich anzusehen ist.

7. Der Einsatz von Robotern in Kombination mit direktabgefederten Pressen ist ebenso möglich wie bei blockgefederten Pressen, denn als wesentliches Kriterium für einen solchen Betriebsablauf dürften die max. Tischbewegungen anzusehen sein, die nachweislich bei beiden Aufstellungsarten in gleicher Größenordnung liegen. In diesem Zusammenhang sei auf die Erfahrungen bei der Presse 4 hingewiesen, wo ein mit der Presse verbundener Manipulator das Werkstück ins Gesenk einlegte. Hier traten trotz eines zwischenzeitlichen Defekts, der zu Tischbewegungen von ca.  $s_{\max} = 7 \text{ mm}$  führte, über einen Zeitraum von mehreren Monaten keinerlei Schwierigkeiten auf.

Nach den beim Betrieb direktabgefederter Exzenter-Schmiedepressen gesammelten Erfahrungen dürfte diese Art der "Aufstellung" für die vorgestellte Maschinen-Gruppe als "Stand der Technik" anzusehen sein. Da es sich hierbei um nicht-genehmigungsbedürftige Anlagen handelt [10], sollten sich die Hersteller mit dieser Aufstellungsart vertraut machen und schon in den Angeboten auf die Notwendigkeit der Direktabfederung hinweisen. Damit könnte zumindest in Zukunft vermieden werden, daß Pressen nachträglich aus Immissionsschutzgründen - wie bei den Pressen 1 und 2 geschehen - mit großem Aufwand erschütterungsarm umgestellt werden müssen.

Für bestehende festgegründete Exzenter-Schmiedepressen, die zu Belästigungen in der Nachbarschaft führen, dürfte hiermit der Nachweis einer technisch möglichen Minderungsmaßnahme erbracht worden sein.



## S c h r i f t t u m

- [1] WIETLAKE, K.H.:  
Erschütterungen beim Betrieb einer 80-MN-Schmiedepresse.  
Industrie-Anzeiger 101 Jg, Nr. 55 vom 11.07.1979.
- [2] WIETLAKE, K.H.:  
Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung von Schabotte-  
Schmiedehämmern".  
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW,  
Essen, H. 8 (1980), 59 S.
- [3] SCHLOSSER, D.:  
Entwicklungsrichtungen bei mechanischen und hydraulischen Pressen  
für die Umformtechnik.  
VDI-Zeitschrift 119 (1977), Nr. 23 Dezember (I).
- [4] MEYER-NOLKEMPER, H.:  
Vergleichende Untersuchungen von Gesenkschmiede-Hämmern und  
-Pressen.  
Industrieverband Deutscher Gesenkschmieden, Hagen, 1972.
- [5] HÜFFMANN, G. und TRAUTMANN, R.:  
Erschütterungsanregung durch Pressen.  
Industrie-Anzeiger Nr. 86 vom 27.10.1976.
- [6] JUNG, A.:  
Entscheidungshilfen für das richtige Lagern von Pressen.  
Zeitschrift für industrielle Fertigung, Wt-Z. ind. Fertig. 72  
(1982), Nr. 4.
- [7] RAUSCH, E.:  
Maschinenfundamente und andere dynamisch beanspruchte Bauwerke.  
Grundbau-Taschenbuch, Berlin 1955.
- [8] Vornorm DIN 4150:  
Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3.  
Einwirkungen auf bauliche Anlagen, Sept. 1975.

- [ 9] WIETLAKE, K.H.:  
Erschütterungseinwirkungen von Sägegattern.  
Industrie-Anzeiger 96, Jg. Nr. 107/108 vom 31.12.1974.
- [10] Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - "Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen" -.  
Bundesgesetzblatt, Jahrg. 1975, Teil 1.
- [11] Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge.  
Bundes-Immissionsschutzgesetz BImSchG vom 15.03.1974.
- [12] Vornorm DIN 4150:  
Erschütterungen im Bauwesen, Teil 2, Einwirkungen auf Menschen in Gebäuden (Sept. 1975).
- [13] Entwurf der VDI-Richtlinie 2057, Dez. 1983,  
Beurteilung der Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen, Bl.1, Grundlagen, Gliederung, Begriffe.
- [14] SPLITTGERBER, H.:  
Beitrag zu federnden und gedämpften Gründung von Maschinenfundamenten mit stoßartiger Anregung.  
VDI-Z., 107 (1965) Nr. 18, S. 789 - 792.
- [15] VDI-Richtlinie 2062 - Schwingisolierung -  
Bl. 1: Begriffe und Methoden (Jan. 1976).
- [16] JUNG, A.:  
Die Direktabfederung großer Exzentrerschmiedepressen.  
Industrie-Anzeiger 101 Jg. Nr. 73 vom 12.09.1979.

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Einzelexemplare werden Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:  
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITZGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITZGERBER, H.:  
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:  
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:  
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FM62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:  
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:  
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:  
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:  
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:  
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:  
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:  
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:  
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:  
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:  
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:  
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft (1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:  
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:  
Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen  
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:  
(vergriffen)  
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:  
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
(vergriffen)  
Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:  
(vergriffen)  
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:  
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:  
Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:  
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:  
(vergriffen)  
Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:  
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:  
(vergriffen)  
Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.  
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen. (1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:  
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:  
Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:  
Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:  
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:  
Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet  
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:  
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.  
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-  
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der  
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:  
Untersuchungen zu Schießlärmminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und J.  
KROCHMANN:  
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:  
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.  
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der  
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).  
Ergebnisse für die Komponenten SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:  
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Polychlorierte Dibenz-Dioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der  
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger  
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:  
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.  
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).  
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITTGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:  
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von  
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADEZKY, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖTTL und H.-K. LICHTENTHALER:  
Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).
- Berichte-Nr. 58: GIEBEL, J. und W. STRAMPLAT:  
Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers Cospec V zur  
Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid. (1986).
- Berichte-Nr. 59: PRINZ, B., D. SCHWELA, E. KOCH, S. GANSER und T. EIKMANN:  
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von  
Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen. (1986).

- Berichte-Nr. 60: MANNES, H. und H. GIES:  
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH  
(1986).
- Berichte-Nr. 61: SPLITZGERBER, H.:  
Messung und Beurteilung von Erschütterungsimmissionen - Vergleich verschiedener  
Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:  
Immissionsmessungen polychlorierter Dibenz-p-Dioxine und Dibenzofurane in  
Nordrhein-Westfalen. (1986).
- Berichte-Nr. 63: GIEBEL, J.:  
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells  
(K-Modell) für die Praxis der Immissions-Simulation. (1986)
- Berichte-Nr. 64: WINKLER, H.D.:  
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen -  
(1986).

Anmerkung:

Die LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Ausleihe bzw. Einsichtnahme zur Verfügung.