

Vibrationsuntersuchungen für NMR-Spektrometer

Dr. M. Ringger, Gysin & Ehram AG, Basel

Vibrationsuntersuchungen für NMR-Spektrometer

Dr. M. Ringger
Gysin & Ehram AG, Basel

Allgemeines

NMR (Nuclear Magnetic Resonance) spielt in der chemischen Forschung eine immer grössere Rolle. Das Prinzip dazu wurde bereits vor über 50 Jahren entdeckt: Atomkerne minimieren ihre Energie und richten sich mit ihrem Spin in einem Magnetfeld aus. Durch das Einstrahlen von elektromagnetischen Wellen können nun die Spins dazu gebracht werden, höhere Energieniveaus einzunehmen. Die Frequenz der absorbierten Wellen ist dabei charakteristisch für die Art der Atome bez. für die Stärke des lokalen Magnetfeldes, das der Summe des äusseren Magnetfeldes und des durch die Nachbaratome erzeugten Magnetfeldes entspricht. Nach dem Einstrahlen fallen die Spins wieder unter Abgabe von elektromagnetischer Strahlung in ihre ursprüngliche Lage zurück. Die Methode wird heute dazu verwendet, chemische Strukturanalysen durchzuführen, aber auch durch hohe räumliche Auflösung in einem lebenden Organismus chemische Vorgänge bildlich darzustellen. Im letzteren Fall redet man auch von NMI (Nuclear Magnetic Imaging). Im ersten Fall wird, um die Signale von einzelnen Atomen herauslesen zu können, eine Messung, die ein paar Sekunden dauert, mehrmals wiederholt und aufsummiert, um ein gutes Signal-Rauschverhältnis zu erreichen. (Das Signal wächst mit N , während das Rauschen nur mit $\text{SQRT}(N)$ zunimmt). Diese Messungen können dann Tage dauern. Im zweiten Fall ist eine gute räumliche Konstanz des Magnetfeldes notwendig.

Um die hohen Anforderungen zu erreichen, ist der Einsatz von grossen und starken Magneten unumgänglich. Dies ist nur mit supraleitenden Spulen möglich. Da wie oben erläutert, das Signal vom Magnetfeld abhängig ist, muss die Probe so ruhig wie möglich im Magnetfeld positioniert werden. Deshalb werden die Anlagen vibrationsdämpfend gelagert, bez. es bestehen gewisse Anforderungen an den Standort bezüglich Vibrationen.

Fall 1: Vibrationen durch eine Lüftungszentrale

Im Dachgeschoss eines Forschungsgebäudes befindet sich eine Lüftungszentrale mit 100 Abluftventilatoren. Diese entlüften die Kapellen der Labors. Die Achsen sind längs des Baus angeordnet. Die Läufer sind direkt auf der Achse der Motoren aufgeflanscht. Bei den Motoren handelt es sich um Synchronmotoren mit einer Umdrehungszahl von 930 Umin^{-1} .

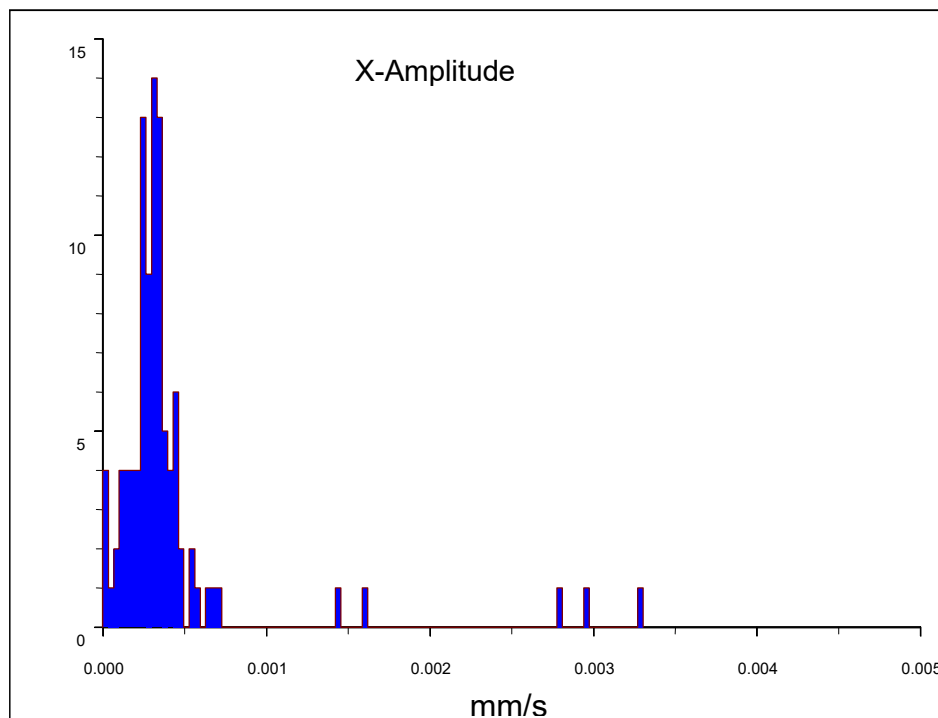
Auf dem Dach wurde ein NMR-Labor in einem Holzaufbau errichtet. Die dort installierten NMR-Spektrometer sind auf luftgefederten Isolationstischen montiert. Nach einiger Zeit zeigten sich bei den NMR-Messungen Störungen im Bereich von 16 Hz, d.h. spektrale Linien zeigten Seitenlinien in einem Abstand von 16 Hz. Vibrationsmessungen ergaben, dass vor allem die Schwingungen zur Gebäude-Querachse gross sind. Andererseits zeigte sich auch, dass die Isolationstische transversale Schwingungen schlecht dämpfen. Durch Ausschalten der Ventilatoren konnte bestätigt werden, dass diese die Quelle der Störungen sind.

Durch Messungen unsererseits sollte eruiert werden, ob alle Ventilatoren zu diesen übermässigen Schwingungen beitragen, oder ob nur vereinzelte Ventilatoren zu grosse Schwingungen verursachen und somit saniert werden müssen.

An einem Samstag führten wir die Messungen durch. Es konnten die einzelnen Ventilatoren individuell an- und abgestellt werden. Da die zu erwartenden Schwingungen von einzelnen Ventilatoren sehr klein sein können, wurden für die Messungen Schnelleaufnehmer verwendet.

Der Sensor MS 2003, bestehend aus drei Aufnehmern in den drei Raumrichtungen, wurde unten an der Decke, unmittelbar unter einem NMR-Spektrometer, befestigt. Die X-Achse war quer zur Gebäudelängsachse und die Y-Achse war nach Oben angeordnet. Für die Messung verwendeten wir das Mess-System MR 2002.

Gemessen wurden jeweils die Schwingungen der Decke während 10". Durch Fouriertransformation wurde dann die Schwingungsamplituden zwischen 15 Hz und 17 Hz aufsummiert. Da es sich um sehr viele Messungen handelte, führten wir die Transformation und die Auswertung mit eigenen Pascal- und Maple V - Programmen automatisiert durch. Als Resultat ergab sich folgendes Histogramm der Amplituden in X-Richtung:



Neben der normalen Verteilung der Ventilatoren um 0.0005 mm/sec sieht man auch "Ausreisser" nach oben bis zu 0.003 mm/sec. Es handelt sich dabei um die 11 schlechtesten Ventilatoren.

Wichtig ist nun die Frage: Welche Amplitude resultiert im Mittel bei einem solchen Histogramm? Wenn man davon ausgeht, dass die Phasen der Synchronmotoren gleich verteilt sind, dann ergibt sich, wenn alle Ventilatoren laufen, die mittlere Schnelleamplitude $\langle p \rangle$

und die wahrscheinlichste Schnelleamplitude p_M aus dem Mittelwert p_0 und der Varianz σ_0^2 der Verteilung zu:

$$p_M = \sqrt{\frac{N}{2} \cdot (p_0^2 + \sigma_0^2)}$$

$$\langle p \rangle = \sqrt{\frac{N \cdot \pi}{4} \cdot (p_0^2 + \sigma_0^2)}$$

Wir erhalten nun damit folgende Ergebnisse aus den gemessenen Werten, unterteilt nach „guten“ und „schlechten“ Ventilatoren:

| | "Gute" | "Schlechte" |
|---------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| N | 89 | 11 |
| p_0 | $2.76 \cdot 10^{-4}$ mm/sec | $1.44 \cdot 10^{-3}$ mm/sec |
| σ_0 | $1.26 \cdot 10^{-8}$ mm/sec | $1.17 \cdot 10^{-6}$ mm/sec |
| $\langle p \rangle$ | $2.49 \cdot 10^{-3}$ mm/sec | $5.29 \cdot 10^{-3}$ mm/sec |
| p_M | $1.99 \cdot 10^{-3}$ mm/sec | $4.22 \cdot 10^{-3}$ mm/sec |

Vergleicht man den wahrscheinlichsten Wert für die Gesamtamplitude für alle schlechten Ventilatoren dann stimmt dieser Wert gut mit der gemessenen Gesamtamplitude von $4.09 \cdot 10^{-3}$ mm/sec überein. Weiter zeigt sich, dass wenn die 11 schlechtesten Ventilatoren saniert werden, sich die resultierende Amplitude im Bereich von $1.99 \cdot 10^{-3}$ mm/sec bewegen dürfte.

Nur die 11 schlechtesten Ventilatoren wurden saniert und anschliessend nochmals die gesamte Amplitude gemessen. Die gemessene Gesamtamplitude betrug nach der Sanierung tatsächlich $2.05 \cdot 10^{-3}$ mm/sec.

Durch die Halbierung der Amplitude konnte aber ein optimales Funktionieren des NMR erreicht werden.

Fall 2: Standortsuche für ein NMI

Um den optimalen Standort für ein NMI-Spektrometer zu finden, hatten wir den Auftrag, an 4 verschiedenen Standorten in einem Fabrikareal während 24 h Messungen durchzuführen. Die Anforderungen des Lieferanten waren so, dass in keinem Frequenzband grössere Amplituden als 2.0 mm/sec^2 auftreten durften.

Das Messgerät MR 2002 erlaubt keine kontinuierliche Messung der Vibrationen. Die anfallende Datenmenge wäre zu gross. Deshalb wurde folgendes Vorgehen vereinbart:

- Zwischen 06.00 und 18.00 Messung jede volle Viertelstunde
- Zwischen 18.00 und 06.00 Messung jede volle Stunde

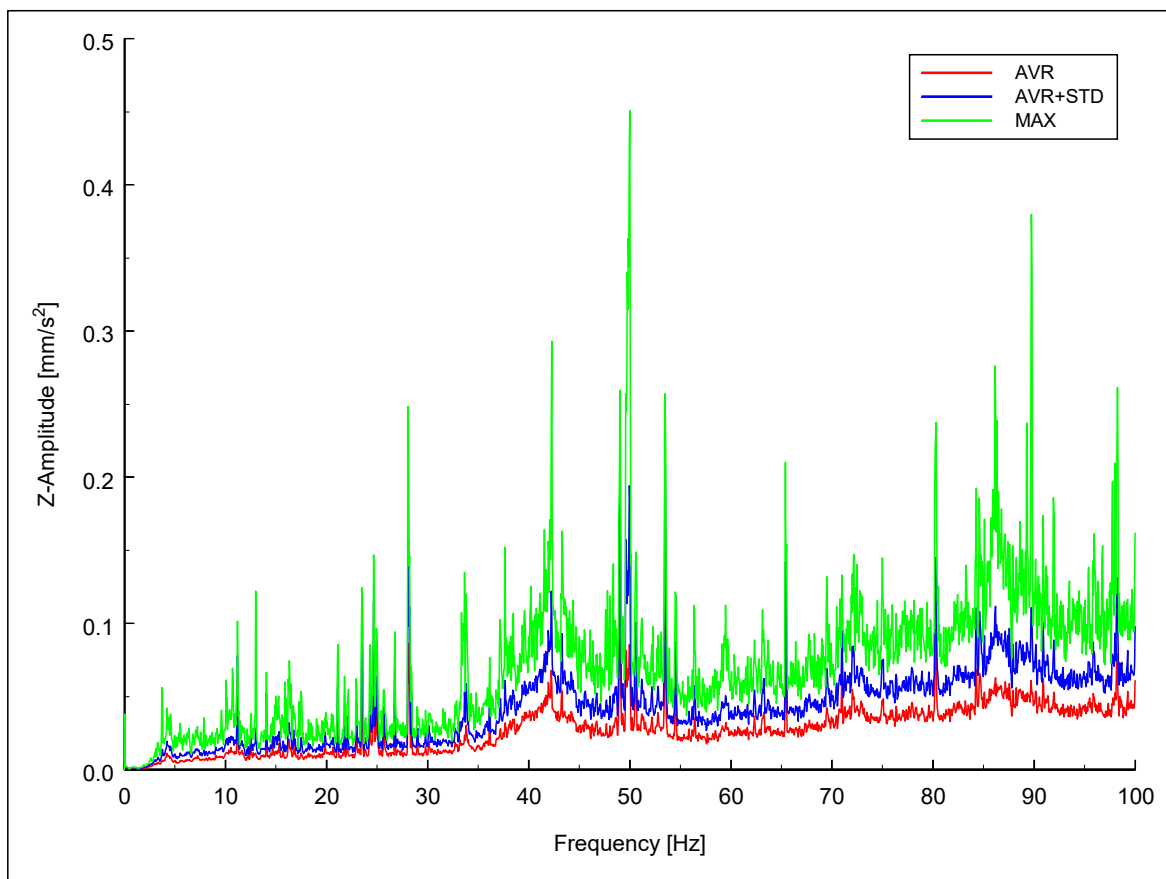
Gemessen wurde jeweils in den drei Raumrichtungen X, Y, Z, wobei die Z-Richtung immer nach oben zeigte und das Koordinatensystem ein Rechtssystem ist. Die Messdauer betrug jeweils 20". Aus den gemessenen Daten wurde anschliessend die Beschleunigung und daraus das Amplituden-Spektrum im Bereich von 0 - 150 Hz berechnet.

Folgende Geräte gelangten zum Einsatz:

- 4 Datenlogger MR 2002
- 4 Sensor MS 2003

Da das Gerät jeweils einen Ein- und einen Ausschalt-Impuls benötigte, wir aber über eine Zeitschaltuhr das Gerät triggern und nicht zu viel Arbeit mit dem Programmieren der Zeitschaltuhr vertun wollten, bauten wir eine kleine Schaltung, die jeweils nach einem Einschaltimpuls nach ca. 1" den Ausschaltimpuls generiert. Diese schlossen wir an den Triggereingang des Gerätes an. Die Stromversorgung für die Schaltung entnahmen wir der RS 232 Schnittstelle, indem wir 12 V auf einen Pin der Triggerbuchse legten.

Aus diesen unzähligen Spektren berechneten wir für jeden Standort das durchschnittliche, das maximale und die Summe des durchschnittlichen Spektrums und einer Standardabweichung. Um diese Spektren zu erzeugen, wurde die Statistik in jedem einzelnen Frequenzband berechnet. D.h. Korrelationen zwischen den Bändern wurden nicht berücksichtigt. Ein typisches Resultat für einen Standort sieht wie folgt aus:



Nachdem durch diese stichprobenartige Messung ein Standort ausgewählt wurde, wobei die Vibrationen nicht das einzige Kriterium waren, galt es über eine längere Zeit, die Vibrationen zu überwachen.

Dazu wurden während 4 Tagen die Vibrationen stichprobenartig gemessen. Gleichzeitig wurden vom Auftraggeber die Betriebszeiten der wichtigsten Emittenten in der Nähe des geplanten Standortes erfasst. Diese umfassten u.a.:

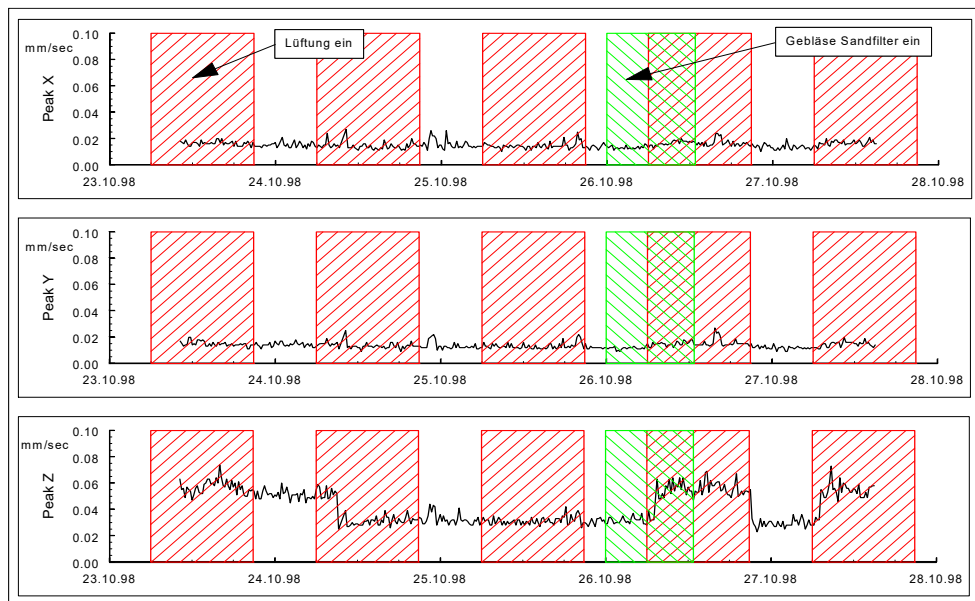
- Abwasserpumpen
- 9 Kühlwasserpumpen à 100l/s
- Gebläse für Sandfilteranlagen
- Lüftungs- und Klimaanlage

Für die Messung der Vibrationen ist folgendes Messkonzept verwendet worden:

- Erfassen der Vibrationen alle 15', und zwar eine Stichprobe von je 16" Dauer
- Falls Vibrationen auftraten, die eine Schnelle von 0.5 mm/sec überschreiten, wurde ebenfalls eine Messung von 16" Dauer ausgelöst.

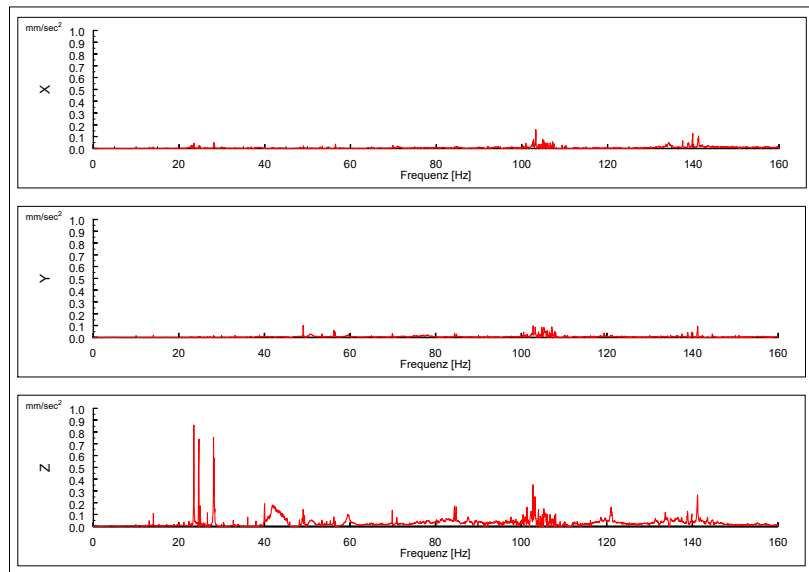
Gemessen wurde wiederum mit einem Messsystem MR 2002 mit Geschwindigkeitssensor.

Zuerst eine Uebersicht über die aufgetretenen Spitzenwerte:



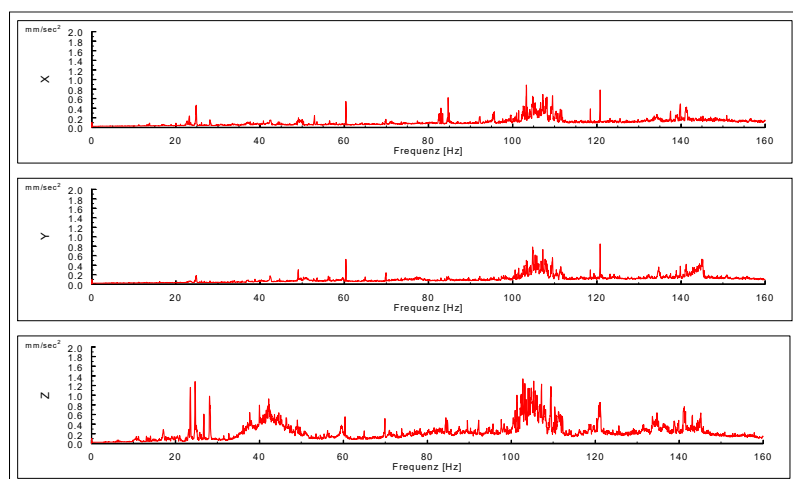
Es zeigte sich darin ganz klar, dass vor allem während der Arbeitszeit, erhöhte Werte in Z-Richtung auftraten, während die beobachteten Maschinen kaum einen Einfluss hatten.

Aufschlussreich war, wenn man das durchschnittliche Spektrum bei hohen Spitzenwerten berechnete, und von diesem das Spektrum bei tiefen Spitzenwerten abzog:

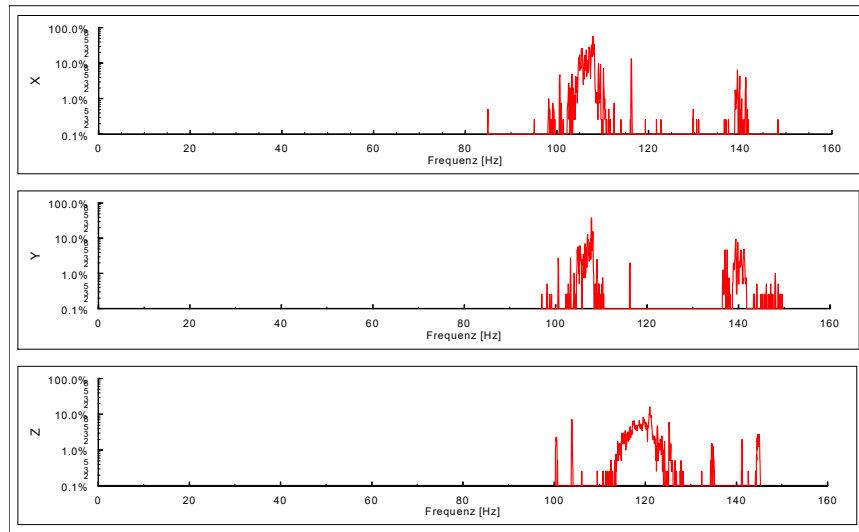


Damit kann gezeigt werden, dass die hohen Spitzenwerte vor allem aufgrund von Vibrationen bei Frequenzen zwischen 20 Hz und 30 Hz auftraten. Da aber die aufgetretenen Werte die Vorgaben des Lieferanten nicht übertrafen, war der Auftraggeber an einer weiteren Analyse nicht interessiert. Wir glauben, dass diese Spitzenwerte vor allem auf einen nahen Lift zurückzuführen sind.

Auch für diesen Fall wurde noch das maximale Spektrum berechnet:



Interessant ist auch ein Spektrum, das die prozentuale Ueberschreitung des Wertes von 0.5 mm/sec^2 in jedem einzelnen Frequenzband beschreibt:



Die Ueberwachung der Vibrationen während diesen 4 Tagen, wobei die grossen Maschinen alle während dieser Zeit liefen, hatte gezeigt, dass der Betrieb einer NMI-Spektrometers möglich ist.