

# Rauschen als Signalverstärker

Höhere Nachweisschwelle bei Detektoren / Stochastische Resonanz auch von Krebsen genutzt

Das Rauschen in der Telefonleitung oder im Radio ist normalerweise unerwünscht. Es führt nämlich dazu, daß die übertragene Information schwer zu verstehen ist. Um so überraschender sind neuere Forschungsergebnisse, wonach das Rauschen sogar nützlich sein kann. Schwache Signale, die von einem Empfänger unter gewöhnlichen Umständen nicht registriert würden, lassen sich damit verstärken. Dieser Effekt, die sogenannte stochastische Resonanz, wurde bereits vor fünfzehn Jahren entdeckt. Er gewinnt jedoch erst in jüngster Zeit praktische Bedeutung, beispielsweise in der Nachrichtentechnik und bei der Bildverarbeitung in Kameras oder Monitoren. Auch beim Aufspüren kleinster magnetischer Felder in der Medizintechnik oder Geophysik sowie bei der Erforschung von Nervenzellen kann er hilfreich sein.

Das überraschende Phänomen läßt sich am besten durch den Vergleich mit einer Murmel veranschaulichen, die in einer Mulde eines Eierkartons hin und her rollt. Wenn die Murmel durch eine schwache periodische Kraft behutsam geschaukelt wird, kann sie die Schwelle zu einer benachbarten Mulde nicht überwinden. Das ändert sich, sobald die Bewegung von einem unregelmäßigen Rütteln überlagert wird. Ein kleiner „Stoß“ im richtigen Augenblick reicht dann dazu aus, die Murmel über die Schwelle zu heben.

Ähnlich verhält es sich mit einem Signal, das zu schwach ist, die Nachweisschwelle eines Meßgerätes zu überwinden. Durch ein überlagertes Rauschen wird es unter günstigen Umständen so weit verstärkt, daß es sich registrieren läßt. Mehr Rauschen bewirkt dabei zunächst eine größere Verstärkung. Die sogenannte Signal-Rausch-Kurve steigt bis zu einem be-

stimmten Wert steil an. Sie fällt allerdings wieder ab, wenn das Signal im Rauschen untergeht. Im übrigen ist der Effekt bei schwachen Signalen mit niedriger Frequenz am stärksten ausgeprägt („Physikalische Blätter“, Bd. 47, S. 1005).

Das Phänomen ließe sich unter anderem in Detektoren für elektromagnetische Wellen nutzen. Derzeit konstruieren Ingenieure besonders empfindliche Meßinstrumente, indem sie die Nachweisschwelle so niedrig wie möglich halten und das Gerät möglichst gut gegen äußeres Rauschen abschirmen. Eine ökonomischere Lösung bestünde darin, für eine gegebene Schwelle gerade so viel Rauschen zuzulassen, daß schwache Signale bestmöglich verstärkt werden.

Auf ähnliche Weise ließe sich auch die Empfindlichkeit von Meßgeräten für kleinste magnetische Felder verbessern. Die sogenannten Squids („superconducting quantum interferometer devices“) bestehen aus einem supraleitenden Material, ihre Funktion beruht auf quantenmechanischen Effekten. Besonders einfach im Aufbau und wirtschaftlich wären Supraleiter, die man für den Zweck bei der vergleichsweise hohen Temperatur des flüssigen Stickstoffs verwenden könnte. Das dabei auftretende temperaturbedingte Rauschen galt bisher jedoch als störend. Mit der stochastischen Resonanz ließe es sich aber gerade dazu nutzen, schwache Signale aufzuspüren.

Neurobiologen beschäftigt gegenwärtig die Frage, ob die stochastische Resonanz es Lebewesen ermöglicht, schwache Signale in einer „verrauschten“ Umgebung auszufiltern. Amerikanische Wissenschaftler von der University of Missouri haben dies in ersten Experimenten an den Haarzellen

des Flußkrebse bestätigt. Dieser Zelltyp ist darauf spezialisiert, regelmäßige Wellenbewegungen – etwa durch einen nahenden Fisch – inmitten unruhiger Wasserströmungen aufzuspüren. Frank Moss und seine Mitarbeiter isolierten einzelne Zellen und regten sie in einer Salzlösung mit einem schwachen periodischen Signal an, das von Rauschen überlagert war. Die Nervenzelle zeigte eine ähnliche Signal-Rausch-Kurve wie ein elektronischer Detektor, in dem die stochastische Resonanz wirksam ist („Nature“, Bd. 365, S. 337).

Ein weitgehend unerforschtes Feld ist die Wechselwirkung zwischen stochastischen und quantenmechanischen Effekten. Erste Untersuchungen von Forschern der Universität Augsburg zeigen, daß auf diesem Gebiet noch einige Überraschungen zu erwarten sind. So fanden Milena Grifoni und Peter Hänggi durch Berechnungen auf dem Computer, daß sich quantenmechanische Prozesse bei Raumtemperatur und sogar darüber hinaus bemerkbar machen können, weil sie die stochastische Resonanz auf das Hundertfache verstärken.

Bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt verschwindet die stochastische Resonanz, es sei denn, das Signal wird durch eine statische Kraft überlagert. Dies entspricht einem Eierkarton, der in eine Schräglage gerät, so daß die beinahe eingefrorene Bewegung der Murmel nun bevorzugt in Richtung des Gefälles möglich wird. Der Effekt läßt sich dazu nutzen, quantenmechanische Prozesse, etwa die Bewegung von Atomen, zu steuern („Physical Review Letters“, Bd. 76, S. 1611). Mit weiteren ungewöhnlichen Phänomenen an der Grenze zwischen klassischer und quantenmechanischer Physik ist zu rechnen.

ANNE HARDY