

## **Ursachen periodischer Vorgänge**

Eigentlich sollte man von periodischen Erscheinungen sprechen, denn Perioden treten nicht nur im zeitlichen Ablauf auf, sondern auch im Raum; oft auch zeitlich und räumlich gemeinsam, wie etwa bei Meereswellen, die lokal einen periodischen Wechsel des Wasserstandes zeigen und in einem größeren Gebiet ein räumliches Muster. Ursprünglich sollte in diesem Aufsatz eine gemeinsame Ursache für alle periodischen Erscheinungen gesucht werden, doch stellte sich heraus, dass dieses nur unter großem Zwang möglich gewesen wäre. Darum werden verschiedene Ursachen unabhängig dargestellt.

### **1. Rotation**

#### ***1.1 Der Tag***

Ein rotierender Körper nimmt nach jedem vollen Umlauf wieder seine Ausgangslage an. Die auffälligste Erscheinung dieser Art stammt von der Rotation der Erde. Sie dreht sich in 24 Stunden einmal um ihre Achse; jeder Punkt der Oberfläche ist in diesem Rhythmus einmal der Sonne zugewandt, ein andermal abgewandt. Dieser Wechsel bewirkt Tag und Nacht, hell und dunkel, warm und kalt. Alle Lebewesen haben sich dieser Periode angepasst. Wechselblütige Tiere benötigen die Wärme des Tages für ihre aktiven Phasen, in der Kühle der Nacht fahren sie ihren Stoffwechsel und ihre Aktivitäten zurück. Die meisten höheren Tiere sind auf das Tageslicht angewiesen, um ihre Nahrung zu finden oder ihren Feinden auszuweichen. Andere machen sich das zu Nutze und können mit für die Nachtsicht besonders gut entwickelten Augen auch nachts jagen. Aber alle, ob tagaktiv oder nachtaktiv, folgen dem Tagesrhythmus, den die sich drehende Erde vorschreibt.

Auch der Mensch folgt im Großen und Ganzen dieser Periode. Er schläft einmal täglich, normalerweise in der Nacht, nimmt seine Mahlzeiten zu festen Tageszeiten ein und arbeitet zu ganz bestimmten Stunden. Das öffentliche Leben folgt diesem Rhythmus des Einzelnen; Arbeitszeiten, Öffnungszeiten der Geschäfte, Schulstunden legt man zumeist in die Tagesstunden, die öffentlichen Verkehrsmittel fahren nachts seltener. Wie

sehr wir auf den 24-stündigen Rhythmus eingestellt sind, merken wir, wenn dieser gestört wird. Bei einem schnellen Wechsel der Zeitzone, wie er heute auf langen Flugreisen ständig erfolgt, erleiden wir den danach benannten Jetlag.

Fasst man mehrere volle Perioden zusammen, so hat man wieder einen periodischen Vorgang mit der vielfachen Periodenlänge. Seit Jahrtausenden zieht sich ein Siebentagezyklus durch die Geschichte, vermutlich entstanden aus den vier Mondphasen, die jeweils ungefähr eine Woche dauern. Alle sieben Tage unterbricht ein Ruhetag den gewöhnlichen Tagesablauf. Der Stundenplan in den Schulen, die Fahrpläne der Verkehrsmittel folgen dem Wochenrhythmus. Alle aufgezählten periodischen Vorgänge sind eine Folge der täglichen Erdrotation.

## **1.2 Das Jahr**

Ein zweiter Vorgang mit einer erheblich längeren Periode fällt auf im Wechsel der Jahreszeiten. Die Sonne steigt am Himmel auf und ab. Im Winter erreicht sie mittags im Süden nur eine geringe Höhe, ihr Tagesbogen ist darum kurz, sie geht spät auf, früh unter und strahlt nur wenig Licht und Wärme auf uns. Es wird kalt, Pflanzen drosseln ihr Wachstum, Tiere ihre Aktivitäten, zum Teil bis zum Winterschlaf. Steigt die Sonne dann höher, so werden die Tage länger, heller und wärmer. Die Natur belebt sich wieder. Im Juni erreicht die Sonne auf der nördlichen Halbkugel ihre höchste Stellung, die größte Hitze tritt aber erst später ein, weil die Erde die gespeicherte Wärme oder Kälte mit Verzögerung abgibt. Trotzdem folgt der Temperaturwechsel über lange Zeiträume genau dem Auf und Ab der Sonne, auch wenn in einem einzelnen Jahr Abweichungen auftreten. Der Steigen und Fallen der Sonne entsteht durch den jährlichen Umlauf der Erde um die Sonne auf einer elliptischen Bahn. Allerdings ist nicht entscheidend, wo die Erde auf dieser Ellipse steht, denn der Unterschied zwischen Sonnennähe und Sonnenferne ist gering, den kleinsten Abstand haben wir sogar, wenn bei uns Winter herrscht. Das Auf und Ab entsteht dadurch, dass die Erdachse gegen die Erdbahn geneigt ist. In unserem Sommer ist die nördliche Erdhälfte der Sonne zugeneigt und, da die Achse im Raum nahezu feststeht, im Winterhalbjahr von ihr abgewandt. Bezogen auf die Fixsterne steht die Erdachse nicht still im Raum; sie bewegt sich auf einem Kegelmantel und vollzieht einen Umlauf in 25800 Jahren. Daher kann der Polarstern nur einige hundert Jahre als Kompaß dienen. Die Zeit zwischen zwei Sommersonnenwenden heißt das tropische Jahr (griechisch tropos = Wendepunkt) und ist etwas kürzer als das siderische Jahr, nach welchem die

Sonne wieder vor dem gleichen Stern steht. Das tropische Jahr ist die Basis unseres Kalenders, es ist maßgebend für die Zeit von Saat und Ernte, für das Hochwasser des Nils, für das Eintreten des Monsuns, für die günstigen Winde beim Seehandel. Mit ihm mißt man das Lebensalter, datiert historische Ereignisse und unterteilt länger dauernde Abläufe etwa in Regierungsjahre, Schuljahre, Lehrjahre, Geschäftsjahre und viele mehr. Erst seit Copernicus weiß man vom Umlauf der Erde, aber er hat schon seit Jahrtausenden der Menschheit den zeitlichen Rahmen aufgeprägt.

### **1.3 Der Monat**

Noch eine Periode ist durch eine Rotation am Himmel vorgegeben. Der Mond umrundet die Erde in etwa dreißig Tagen und ändert dabei auffällig Form und Helligkeit. Dieser Rhythmus beeinflusst uns weniger als der tägliche oder jährliche Zyklus. Er ist aber sehr wichtig in Wüstenregionen, wenn Karawanen die Tageshitze meiden müssen und in hellen Mondnächten ihres Weges ziehen. So ist es zu erklären, dass in solchen Gegenden Kalender auf der Basis der Mondphasen entwickelt wurden. Da der Mondumlauf keine volle Zahl von Tagen umfaßt und ein Jahr auch nicht aus genau zwölf Umläufen, ergeben sich Diskrepanzen. Bei uns ist das Jahr in zwölf Monate eingeteilt; sie haben zwar ungefähr die Dauer eines Mondumlaufs, sind aber sonst vom Mond unabhängig. In Geldverkehr ist der Monat eine vielbenutzte Periode für Zahlungen wie Gehalt, Mieten und Raten.

Ebbe und Flut an den Meeresküsten sind eine Folge des Mondumlaufs. Die Massenanziehung des Mondes bewegt das Meerwasser und da sich der Mond an einem Tag weiterbewegt, treten Hochwasser und Niedrigwasser täglich um etwa fünfzig Minuten später ein. Durch die Trägheit der Wassermassen, durch Reibung und durch die Form der Küsten folgt die Flut dem Mond verzögert. Doch wie kompliziert die Berechnung der genauen Hochwasserzeiten auch sein mag, die zugrundeliegende Periode ist die Differenz zwischen der täglichen Erdrotation und dem Mondumlauf.

## **2. Pendel**

Einfacher als eine Rotation ist die Bewegung eines Pendels, ein periodischer Vorgang in nur einer Dimension. Ein Gewicht hängt an einem befestigten Faden, man zieht es ein wenig aus der Ruhelage und läßt es los. Die Erdmasse zieht es nach unten, der Faden aber läßt nur eine Bewegung in

Richtung auf die Ruhelage zu. Die Bewegung wird immer schneller. Erreicht das Gewicht den tiefsten Punkt senkrecht unter der Aufhängung, dann wirkt keine Kraft mehr in der Bewegungsrichtung. Der Schwung aber setzt die Bewegung fort und mit der Entfernung von der Mitte wirkt die Schwerkraft bremsend auf das Pendel, bis es zum Stehen kommt und anschließend in der Gegenrichtung den ganzen Vorgang wiederholt. Die Kraft, die das Pendel in die Ruhelage zurück zwingen will, ist eine Komponente der Schwerkraft, die mit dem Winkel zwischen Faden und Ruhelage wächst. Verständlicher ist es, das Gewicht an einer Feder aufzuhängen. Es stellt sich eine Ruhelage ein, bei der sich Federkraft und Schwere aufheben. Zieht man das Gewicht nach oben oder unten, dann stellt sich eine Kraft ein proportional zur Entfernung aus der Ruhelage. Läßt man das Gewicht los, dann beginnt es um die Ruhelage zu schwingen. Es gehen ständig zwei Zustände in einander über. In den extremen Stellungen ist die Feder gespannt und der Körper ist in Ruhe, in der Mittellage ist die Feder entspannt und der Körper hat maximale Geschwindigkeit. Es handelt sich um einen Wechsel zwischen zwei Energieformen, der potentiellen Energie der gespannten Feder und der kinetischen Energie der Bewegung. Entscheidend für das Schwingen ist die Verzögerung: Wenn die rücktreibende Kraft am stärksten ist, dann ist nicht sofort die Geschwindigkeit maximal, sondern es dauert eine gewisse Zeit bis zur Höchstgeschwindigkeit.

Wenn die zurücktreibende Kraft proportional zum Abstand von der Ruhelage ist, dann entspricht die Pendelbewegung exakt dem senkrechten Abstand eines Punktes auf einem gleichmäßig rotierenden Rad vom Drehpunkt. Diese Schwingungsform nennt man eine harmonische Oszillation und sie ist die Grundform aller periodischen Vorgänge.

### **3. Schwingungen und Wellen**

Eine eingespannte Saite eines Klaviers oder einer Geige läßt sich als eine Aneinanderreihung vieler Pendel interpretieren. Wird die Saite durch Anschlagen oder Streichen aus der Ruhelage gebracht, dann wird sie gestreckt und wie bei der Feder entsteht eine zurücktreibende Kraft, die umso stärker ist, je größer die Auslenkung an einer Stelle ist. Jedes Teilstück der Saite führt eine Pendelbewegung um die Ruhelage aus. Dabei sorgt wieder die Massenträgheit dafür, dass die Bewegung über das Ziel hinauschießt, erst verzögert zur Ruhe kommt, umkehrt und einen neuen Zyklus beginnt. Die Amplitude der Schwingung ist an den einzelnen Stellen

unterschiedlich, an den eingespannten Enden gibt es keine Schwingung. Das schränkt die möglichen Schwingungsformen ein, in den Grundmustern existieren in regelmäßigen Abständen schwingungsfreie Stellen, sogenannte Knoten, zwischen denen Stellen mit großer Auslenkung, sog. Schwingungsbäuche, liegen. Es stellt sich also eine räumliche Periode ein.

Das wird sehr deutlich, wenn man einen Stein ins Wasser wirft. Das verdrängte Wasser will zurück auf das Niveau des Spiegels fließen, durch seine Trägheit staut es sich und türmt sich ein Stück weiter wieder auf, wo das Spiel von Neuem beginnt. Lokal erscheint ein zeitliches Auf und Ab und im Ganzen sieht man ein räumliches periodisches Muster. Dabei dehnt sich ein Ring von Wellen aus und klingt langsam ab.

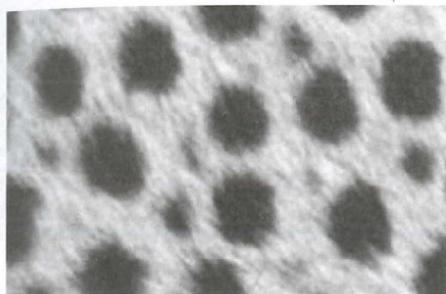
#### **4. Rückkopplung**

Ein einfaches Modell für die Entstehung einer Welle ist eine Reihe von Menschen mit der Anweisung, aufzustehen oder sich zu setzen, wenn es der linke Nachbar tut. Erhebt sich eine Person kurz, dann sieht man einen Impuls durch die Kette laufen, denn wegen der Verzögerung durch die Reaktionszeit erheben sich nicht alle gleichzeitig. Schließt man die Kette, so wird der Initiator nach einer Weile wieder zum Aufstehen angeregt und die Welle läuft weiter. In Sportstadien ist dieser Effekt als "la Ola", die Welle, bekannt. Löst ein erzeugter Impuls nach einer gewissen Laufzeit einen neuen Impuls aus, so spricht man von Rückkopplung, man hört sie etwa, wenn ein Mikrofon nahe bei einem Lautsprecher steht, der ein einmaliges Störgeräusch wieder und wieder in das Mikrofon einspeist. In Blasinstrumenten sorgt die am offenen Ende reflektierte Druckwelle für eine neue Anregung am Mundstück, die Tonhöhe ergibt sich aus der Laufzeit der Druckwelle und damit aus der Länge des Instruments.

Rückkopplung steuert auch wirtschaftliche Abläufe. Als erstes wurde der sogenannte Schweinezyklus untersucht. Bei hohen Preisen für Schweinefleisch beginnen Züchter mehr Schweine aufzuziehen, die dann mit einigen Monaten Verzögerung zu einem Überangebot führen und zu einem Verfall des Fleischpreises. Weniger Schweine werden aufgezogen, die Preise steigen wieder und der Zyklus beginnt von Neuem. Dieser Zyklus ist auch bei der Herstellung von Computerchips zu beobachten oder bei der Zahl der Studienanfänger für bestimmte Fachrichtungen.

## 5. Musterbildung

Regelmäßige Strukturen sieht man überall in der Natur, z.B. in den Streifen im Fell des Tigers und des Zebras, in den Punkten des Leopardenfells (Abb. 1 und 2).



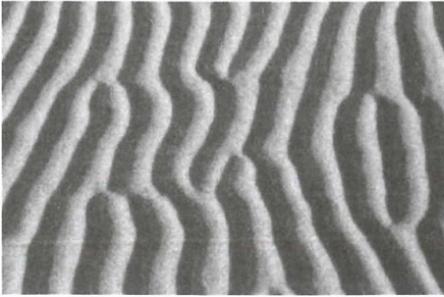
**Abb.1: Leopardenfell**



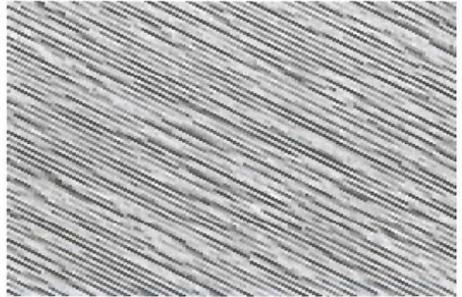
**Abb.2: Zebrastreifen**

An den Bäumen wiederholen sich gleichgeformte Blätter. Auch die unbelebte Natur zeigt Muster, die aus vielen gleichartigen Teilen aufgebaut sind. So ähnelt etwa das vom Wind erzeugte Wellenmuster auf Sanddünen den Streifen des Zebras (Abb. 3); es liegt nahe, eine gemeinsame Ursache zu suchen. Nun gibt es keine höhere Instanz, die dem Sand vorschreibt, wo er sich zu Wällen anhäufen soll und wo nicht, der Prozess muß sich lokal selbst regeln. Das geschieht, indem der Wind auf einer ursprünglich glatten Fläche Sandkörnchen bewegt. Bleiben dabei an einer Stelle ein paar von ihnen liegen oder gab es irgendwo ein kleines Hindernis, so entsteht dahinter Windschatten, in dessen Schutz neu herangewehte Körner häufiger und länger liegenbleiben. Seitlich herumgewehte Körner lagern sich dort an und lassen das Hindernis quer zur Windrichtung wachsen. Der Windschatten reicht nicht sehr weit und danach erzeugt der gleiche Prozess einen weiteren Wall und so fort. Überragt eine Erhebung seine nähere Umgebung, dann trägt der Wind die Spitze leichter ab und gleicht somit die Höhen der einzelnen Wälle an. Das Ganze ist ein Spiel des Zufalls, kleine Störungen bewirken, dass die Wellen nicht so perfekt werden wie ein Wellblechdach, doch entsteht immer die spezifische Struktur. In einer Computersimulation wurde dieser Vorgang nachempfunden. Zahlen in einer wabenförmigen Anordnung stellten die Sandhöhe an jeder Stelle dar. Eine Windrichtung wurde vorgegeben und dann immer wieder zufällig eine Wabe ausgewählt. Die Wahrscheinlichkeit, die Zahl dort zu erhöhen oder zu erniedrigen, hing allein von der ausgewählten Wabe und ihren sechs Nachbarn ab; die

Entscheidung war also sehr lokal, trotzdem entstanden global Wälle quer – genau wie in der Wirklichkeit (Abb. 4).



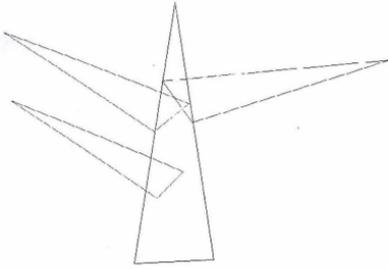
**Abb. 3: Sanddünen**



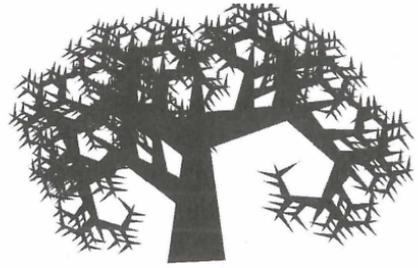
**Abb. 4: Simulierte Düne**

Zwei gegenläufige Prozesse bewirken diesen Vorgang, der erste verstärkt sich selbst, indem eine kleine Erhebung durch ihren eigenen Windschatten das Wachstum fördert, während nach einer Weile ein zweiter Prozess einsetzt, der große Erhebungen abträgt. Bei den Streifen des Zebras finden sich diese beiden Prozesse in chemischen Reaktionen wieder. Ein lokal wirksamer Stoff, der Aktivator, verstärkt seine eigene Produktion. Gleichzeitig erzeugt er einen hemmenden Stoff, den Inhibitor, der sich schneller ausbreitet und damit das lokale Wachstum des Aktivators nicht stoppen kann, wohl aber seine weitere Ausbreitung. Wenn etwa der Aktivator einen dunklen Fleck im Fell bewirkt, dann kann der nächste Fleck erst in einer gewissen Entfernung entstehen, wo der Inhibitor seine Stärke verloren hat. Je nach Art der Substanzen, Reaktionsgeschwindigkeit und Diffusionsrichtung entstehen die unterschiedlichsten Muster.

Es wird gesagt, die Form eines Baumes spiegele sich in jedem Blatt wieder. Das ist verständlich, denn alles entsteht aus wenigen Regeln. Ein Simulation zeigt, wie eine einzige Vorschrift, wieder und wieder angewandt, zu typischen Formen führt. Die Vorschrift legt fest, wie ein Dreieck in andere transformiert wird. Im Beispiel (Abb. 5) wird das senkrechte Dreieck in drei von ihm abgehende Dreiecke übergeführt. Dann wird die gleiche Transformation auf die neu erzeugten Dreiecke angewandt und das wird noch mehrmals wiederholt, jeweils für alle neu erzeugten Dreiecke. Abb. 6 zeigt das Resultat nach fünf Generationen, zur Verdeutlichung wurden die Dreiecke schwarz eingefärbt. In den Ästen und Zweigen erkennt man die Gesamtgestalt des Baumes und auch die zugrundeliegende Struktur.



**Abb. 5: Definition der Transformation**



**Abb. 6: Erscheinungsbild nach fünfmaliger Transformation**

## 6. Beschränkte Möglichkeiten

Kann ein Ablauf nur endlich viele Zustände annehmen und führt jeder Zustand immer zum gleichen Folgezustand, so ergibt sich zwangsläufig eine Periode, nach der sich alles wiederholt. Ein Beispiel sind periodische Dezimalbrüche. Um den Bruch  $1/7$  als Dezimalzahl zu schreiben, führt man die Division  $1:7$  aus: Im ersten Schritt erhält man 0 und den Rest 1. Den Rest mit 10 multipliziert ergibt 10 und die Division liefert 1 mit Rest 3. Im nächsten Schritt teilt man 30 durch 7 und erhält 4 und Rest 2. Das geht immer so weiter, aber da der Rest nie zu Null wird, gibt es nur sechs mögliche Reste, nach spätestens sechs Schritten muss sich alles wiederholen. Tatsächlich erhält man  $1/7 = 0,142857\ 142857\ \dots$  mit der Periodenlänge sechs.

## 7. Zusammenfassung

Zwischen den unterschiedlichen Ursachen periodischer Erscheinungen gibt es Gemeinsamkeiten. So kann man die Rotation als Pendelbewegung in zwei Koordinaten auffassen; die Pendelbewegung wiederum als eine Rückkopplung zwischen potentieller und kinetischer Energie, ähnlich dem Zusammenwirken von Aktivatoren und Inhibitoren bei chemischen Prozessen. Der Minutenzeiger einer Uhr kann – grob betrachtet – nur sechzig Zustände annehmen und für jeden liegt der nachfolgende fest, wodurch die Rotation auf das Prinzip zurückgeführt wird, das auch die periodischen Brüche erzeugt. Diese Gemeinsamkeiten wirken erzwungen. Deshalb wurden die verschiedenen Ursachen nur einzeln betrachtet.

## 8. Literatur

MAX PLANCK FORSCHUNG 2008/2: Fokus Mathematik. Mustermacher der Natur.

\* \* \*

### Abstract

Causes of Periodic Processes

by Dr. Klaus Nagel

Among the different causes for periodic occurrences some common ground can be found. Thus, rotation may be interpreted as the movement of a pendulum in two coordinates; the movement of the pendulum again as the feedback between potential and kinetic energy, similar to the coaction of activators and inhibitors in chemical processes. The minute hand of a clock can – superficially stated – only assume sixty positions and for each of them the following one is predetermined, whereby rotation can be traced back to the principle which creates periodic fractions. The common characteristics seem forced, wherefore the different causes were viewed separately.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Matreier Gespräche - Schriftenreihe der  
Forschungsgemeinschaft Wilheminenberg](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [2008](#)

Autor(en)/Author(s): Nagel Klaus

Artikel/Article: [Ursachen periodischer Vorgänge 30-38](#)