

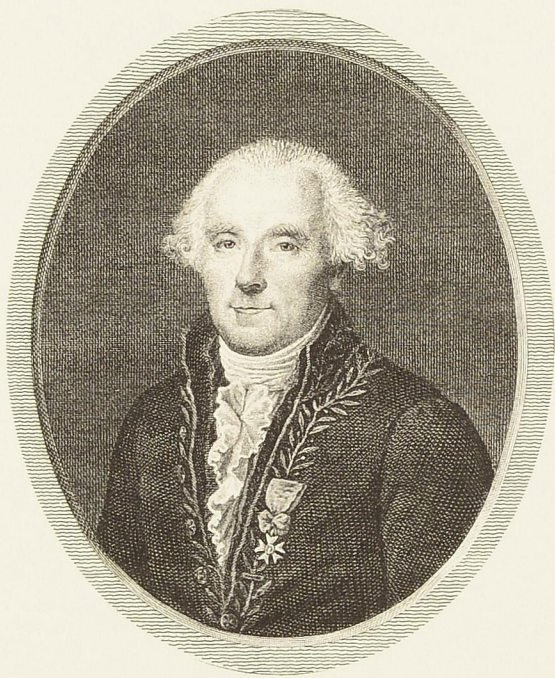
**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 301**

**Darstellung des Weltsystems
Band I**

**von
Pierre Simon de Laplace**

Verlag Harri Deutsch

OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 301



Pierre Simon de Laplace
28.3.1749–5.3.1827

**OSTWALDS KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN
Band 301**

**Darstellung des Weltsystems
Band I**

von
Pierre Simon de Laplace

Herausgegeben und
aus dem Französischen übersetzt
von
Manfred Jacobi und Franz Kerschbaum



Verlag Harri Deutsch

Frontispiz aus:
Exposition du Système du Monde;
Par M. Le Comte Laplace,
Quatrième, Édition, Paris 1813.

Fachbereichsbibliothek Astronomie, Universitätsbibliothek Wien

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-8171-3301-7

Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

© Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH,
Frankfurt am Main, 2008
1. Auflage 2008

Druck: Rosch-Buch Druckerei GmbH, Scheßlitz
Printed in Germany

Inhalt

Einleitung	5
Pierre Simon de Laplace (1749–1827) – Leben und Werk	5
Die Darstellung des Weltsystems	7
 Darstellung des Weltsystems	11
Vorwort	11
 Erstes Buch	
Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper	13
Kapitel I. Von der täglichen Bewegung des Himmels	15
Kapitel II. Von der Sonne und ihrer eigenen Bewegung	18
Kapitel III. Von der Zeit und ihrer Messung	31
Kapitel IV. Von der Bewegung des Mondes, seinen Phasen und seinen Finsternissen	38
Kapitel V. Von den Planeten und insbesondere von Merkur und Venus	53
Kapitel VI. Vom Mars	58
Kapitel VII. Von Jupiter und seinen Satelliten	60
Kapitel VIII. Von Saturn, seinen Satelliten und seinem Ring	65

Kapitel IX.	
Von Uranus und seinen Satelliten	69
Kapitel X.	
Von den Kometen.	70
Kapitel XI.	
Von den Sternen und ihren Bewegungen.	71
Kapitel XII.	
Von der Gestalt der Erde, der Veränderung der Schwerkraft auf ihrer Oberfläche und vom Dezimalsystem der Maße und Gewichte	78
Kapitel XIII.	
Von Ebbe und Flut des Meeres	106
Kapitel XIV.	
Von der Erdatmosphäre und der astronomischen Brechung	113

Zweites Buch

Von den wahren Bewegungen der Himmelskörper . . .

Kapitel I.	
Von der Rotationsbewegung der Erde	131
Kapitel II.	
Von der Bewegung der Planeten um die Sonne.	134
Kapitel III.	
Von der Bewegung der Erde um die Sonne	137
Kapitel IV.	
Von den von der Bewegung der Erde verursachten Erscheinungen	145
Kapitel VI.	
Von der Gestalt der Planetenbahnen und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne	150
Kapitel VI.	
Von der Gestalt der Kometenbahnen und den Gesetzen ihrer Bewegung um die Sonne	160

Kapitel VII.	
Von den Bewegungsgesetzen der Satelliten um ihre Planeten	168
Drittes Buch	
Von den Bewegungsgesetzen	179
Kapitel I.	
Von den Kräften und ihrer Zusammensetzung	181
Kapitel II.	
Von der Bewegung eines Materiepunktes	184
Kapitel III.	
Vom Gleichgewicht eines Systems von Körpern	203
Kapitel IV.	
Vom Gleichgewicht der Fluida	214
Kapitel V.	
Von der Bewegung eines Systems von Körpern	220
Fachbegriffe	235

Einleitung

Pierre Simon de Laplace (1749–1827) – Leben und Werk

Pierre Simon de Laplace wurde am 28. März 1749 in Beaumont-en-Auge als Sohn eines Kleinbauern geboren. Er besuchte ab 1766 die Universität von Caen, um zwei Jahre später nach Paris zu wechseln, wo er in J. B. d'Alembert einen bedeutenden Förderer fand. Mit dessen Hilfe gelang es ihm, eine Professur an der Ecole Militaire zu erlangen. Sein bemerkenswerter Aufstieg in der wissenschaftlichen Fachwelt lässt sich nicht zuletzt daran erkennen, dass er bereits 1773 in die Pariser Akademie der Wissenschaften aufgenommen wurde.

Schon in seinen ersten Arbeiten steckte er die Eckpunkte seiner wissenschaftlichen Interessen ab, die sein gesamtes Leben prägen sollten. Dazu gehören die Theorie der Planetenbewegung und der Mondbahn, Extremwertprobleme, Differentialgleichungen und die Wahrscheinlichkeitstheorie.

So gelang es Laplace unter anderem, die unter seinen Zeitgenossen verbreitete Unsicherheit über die Zukunft des Sonnensystems zu zerstreuen, indem er dessen Stabilität bewies.

In seiner 1796 in erster Auflage erschienenen *Exposition du Système du Monde* wendet er sich an ein breites, an astronomischen und physikalischen Fragen interessiertes Publikum. Darin spekuliert er auch kurz über den Ursprung des Sonnensystems, ohne sich jedoch in allzu ausufernden Hypothesen zu ergen, wie dies in Immanuel Kants 40 Jahre zuvor erschienener *Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels*

gelegentlich der Fall ist. Im Übrigen scheint der Franzose das Werk des Deutschen nicht gekannt zu haben.

Wenig später begann er mit der Veröffentlichung seines fünfbandigen *Traité de Mécanique Céleste* (1799–1825), worin er den Stand der Astronomie an der Wende vom 18. zum 19. Jahrhundert behandelt und sich an das Fachpublikum richtet. Er entwickelte eine Theorie der Gezeiten, die es ihm erlaubte, zukünftige Springfluten vorauszusagen.

Seine Arbeiten zur Wahrscheinlichkeitsrechnung gipfelten in zwei Büchern, die dieser Thematik gewidmet sind, der *Théorie analytique des probabilités* (1812) und dem *Essai philosophique sur les probabilités* (1814). In letzterem findet sich das Laplacesche Konzept des Weltgeistes, der allein aufgrund seiner Kenntnis der Kräfte und Bewegungen aller materiellen Körper des Universums den gesamten vergangenen und zukünftigen Weltlauf zu berechnen in der Lage ist.

Auch auf dem Gebiet der Experimentalphysik war Laplace aktiv. So veröffentlichte er zusammen mit A. L. Lavoisier zwei Abhandlungen über die Wärme, in deren einer über das Wesen der Wärme spekuliert wird. Die Autoren neigten dabei eher einer stofflichen Interpretation der Wärmephänomene (im Gegensatz zu deren mechanischer Deutung) zu. Neben diesen Überlegungen spielen in erster Linie Untersuchungen über die bei Verbrennungen entstehenden Wärmemengen eine Rolle. Auch wurde darin ein Verfahren zur Bestimmung der spezifischen Wärme von Gasen entwickelt.

Laplace nutzte seinen zunehmenden wissenschaftlichen Einfluss auch bei der Einführung des metrischen Maßsystems, für das er sich vorbehaltlos einsetzte. Nach der französischen Revolution wurde er Professor für Mathematik an der Ecole Normale. Er verbesserte auch Newtons Formel für die Schallgeschwindigkeit, indem er sie um das Verhältnis der spezifi-

schen Wärmekapazitäten bei konstantem Druck und konstantem Volumen cp/cv erweiterte.

Laplace durchlebte nicht nur in wissenschaftlicher Hinsicht aufregende Zeiten, sondern auch in politischer. Sein Leben umspannte nichts weniger als die Zeit des Königtums, die französische Revolution, das Regime Napoleons sowie die Phase der Restauration. Für einen Menschen seiner gesellschaftlichen Bedeutung setzte dies ein hohes Maß an Anpassungsfähigkeit voraus, woraus ihm gelegentlich Vorwürfe erwuchsen. Laplace starb am 5. März 1827 in Paris.

Die Darstellung des Weltsystems

Die vorliegende Übersetzung verwendet die 1796 in Paris erschienene, zweibändige erste Auflage von *Exposition du Système du Monde*. Die letzte von Laplace noch überarbeitete sechste Auflage erschien 1836 in Paris.

Weiters standen uns die deutsche Gesamtübersetzung *Darstellung des Weltsystems* von Johann Karl Friedrich Hauff aus dem Jahr 1797 (Frankfurt) sowie die 1925 in Leipzig erschienenen, durch Heinrich Schmidt übersetzten Abschnitte aus dem 5. Buch zur Kosmogonie zur Verfügung. Letztere waren Teil eines Bandes zur Kant-Laplaceschen Theorie mit einem Nachwort von Anton Lampa.

Im ersten Buch behandelt Laplace die scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper, also Sonne, Mond, Planeten, Kometen und Fixsterne, so wie sie sich dem auf der Erde angesiedelten Beobachter darstellen. Dazu kommen Überlegungen zur Zeit und ihrer Messung sowie zur Gestalt der Erde und den auf ihrer Oberfläche beobachtbaren Erscheinungen. Sein Engagement für die Einführung des metrischen Maßsystems manifestiert sich deutlich in seiner Exposition. Nicht nur die Längen- und Winkelmaße, sondern insbesondere auch die

Zeitmessung wird konsequent metrisiert. Dies beachte man beim Vergleich mit heute gängigen Zahlenwerten bei Zeiten, Geschwindigkeiten oder etwa Winkeln.

Das zweite Buch handelt sodann von den wahren Bewegungen der Himmelskörper, d.h. also aus der Sicht eines außerhalb des Planetensystems befindlichen Beobachters. Durch diese Darstellungsweise gelingt es ihm, den Unterschied zwischen den auf der Erde beobachtbaren Erscheinungen und den tatsächlichen Verhältnissen im Sonnensystem herauszuarbeiten.

Das dritte Buch gibt einen Abriss über die Bewegungsgesetze der Newtonschen Physik mit dem Ziel, die Bewegung eines Systems von Körpern (Planetensystem) beschreiben zu können.

Das vierte und umfangreichste Buch (Band II) widmet sich der Theorie der universellen Schwerkraft, wie sie von Newton aufgestellt wurde. Insbesondere geht es um die Anwendung dieser Theorie auf die Behandlung der Planetenbewegung und deren Störungen. Hinzu kommen Betrachtungen über Ebbe und Flut des Meeres sowie über das Gesetz der Gravitation.

Im letzten Buch (Band II) schließlich gibt Laplace einen Abriss über die Geschichte der Astronomie von ihren Anfängen bis zur Zeit der Entstehung der Darstellung des Weltsystems. Am Ende dieses Buches finden sich auch jene berühmten Überlegungen über den Ursprung des Sonnensystems. Manche Interpretationen bzw. Vermutungen von Laplace nehmen Erkenntnisse des späten 19., ja manchmal sogar des frühen 20. Jahrhunderts vorweg.

Laplace verzichtete (auch in späteren Auflagen) darauf, seine Erläuterungen mit bildlichen Darstellungen zu versehen. Dies führt dazu, dass selbst komplexe geometrische Sachverhalte ausschließlich in Worten geschildert werden, was beim Leser ein hohes Maß an Abstraktionsvermögen voraussetzt.

An mehreren Stellen des Textes spricht Laplace ausdrücklich von Molekülen. Diese Übersetzung hat in den meisten Fällen diese Terminologie übernommen, sofern nicht an einzelnen Stellen eine adäquatere Form der Wiedergabe zweckmäßiger schien. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass sich dieser Molekülbegriff deutlich von dem der modernen Chemie unterscheidet. Laplace hat dabei immer die Vorstellung vom korpuskularen Aufbau der Materie im Blick. Jedes materielle Objekt wird als aus kleinsten Teilchen aufgebaut gedacht, die eben die Moleküle im Laplaceschen Sinne darstellen. Der Autor setzt diesen Molekülbegriff als selbstverständlich und intuitiv voraus und macht nirgendwo den Versuch, diesen genauer zu definieren.

Die in eckigen Klammern erscheinenden Textpassagen ergänzen bzw. korrigieren den ursprünglichen Text und dienen der leichteren Lesbarkeit oder dem besseren Verständnis. Längere Bemerkungen wurden als Fußnote den entsprechenden Textstellen angefügt. Im Sinne der Nähe zum Originaltext wurden die teilweise sehr komplizierten Satzkonstruktionen beibehalten.

Manfred Jacobi, Franz Kerschbaum
Brüssel und Wien, im Juni 2008

Darstellung des Weltsystems

Vorwort

Ich werde in diesem Werk die dezimale Einteilung des rechten Winkels und des Tages verwenden¹. Ich werde die linearen Maße auf die Länge des Meters, festgelegt durch die Bogenlänge des Erdmeridians zwischen Dünkirchen und Barcelona, beziehen und die Temperaturen auf das Quecksilberthermometer, eingeteilt in hundert Grad, von der Temperatur des schmelzenden Eises bis zu der des kochenden Wassers bei einem Luftdruck, entsprechend dem Gewicht einer Quecksilbersäule mit einer Höhe von 76 cm.

Von allen Naturwissenschaften ist die Astronomie diejenige, die die längste Aufeinanderfolge von Entdeckungen aufweist. Von den ältesten Zeiten, vom ersten Anblick des Himmels bis zur allgemeinen Auffassung, durch die man heute die vergangenen und zukünftigen Zustände des Weltsystems erfasst, ist es ein weiter Weg. Um dies zu erreichen, musste man die Gestirne über eine große Zahl von Jahrhunderten beobachten, in ihren Erscheinungen die tatsächlichen Bewegungen der Erde erkennen, sich emporarbeiten zu den planetarischen Bewegungsgesetzen, und von diesen Gesetzen zum

-
1. Diese heute unüblichen Darstellungen bedeuten für den Vollwinkel 400 Grad, unterteilt in 100 Minuten zu 100 Sekunden. Der Tag teilt sich dementsprechend in 10 Stunden zu 100 Minuten von je 100 Sekunden. Alle entsprechenden Angaben sind in Folge also mit den heute üblichen nicht direkt zu vergleichen! Die dezimale Winkelunterteilung hat sich im technischen Vermessungswesen als Neugrad oder Gon erhalten.

Prinzip der universellen Schwerkraft, schließlich wieder von diesem Prinzip herabsteigen zur vollständigen Erklärung aller Himmelsphänomene bis zu den kleinsten Details. Das ist es also, was der menschliche Geist in der Astronomie macht. Die Darlegung dieser Entdeckungen, und zwar auf die einfachste Weise, in der die einen aus den anderen hervorgehen konnten, hat den zweifachen Vorteil, eine große Zusammenstellung wichtiger Wahrheiten zu bieten und die wahre Methode, die es bei der Suche nach den Gesetzen der Natur anzuwenden gilt darzustellen. Das ist es, was ich mir in diesem Werk zum Ziel gesetzt habe.

Erstes Buch

Von den scheinbaren Bewegungen der Himmelskörper

Kapitel I. Von der täglichen Bewegung des Himmels

Wenn man in einer klaren Nacht und an einem Ort, wo der Horizont frei ist, dem Himmelsschauspiel mit Aufmerksamkeit folgt, dann sieht man es sich in jedem Augenblick verändern. Die Sterne erheben oder senken sich am Horizont; einige beginnen gegen Osten zu erscheinen, andere verschwinden gegen Westen; mehrere, wie etwa der Polarstern und die Sterne des großen Bären, erreichen niemals den Horizont. Bei diesen unterschiedlichen Bewegungen verändern sie nie ihre jeweilige Lage zueinander: sie beschreiben umso kleinere Kreisbögen, je näher sie an jenem Punkt liegen, den man als unbeweglich wahrnimmt. Der Himmel scheint also um zwei feste Punkte zu rotieren, die man aus diesem Grund als *Welt-pole* bezeichnet; und bei dieser Bewegung nimmt er das gesamte System der Sterne mit. Der Pol, der sich über unserem Horizont erhebt, ist der nördliche oder septentrionale Pol: der entgegen gesetzte Pol, den man sich unterhalb des Horizonts vorstellen muss, wird als der südliche oder meridionale Pol bezeichnet.

Schon hier gibt es mehrere interessante Fragen zu lösen: Was wird während des Tages aus den Sternen, die wir während der Nacht sehen? Woher kommen die, die gerade aufgehen?

Wohin gehen die, die verschwinden? Die aufmerksame Untersuchung der Phänomene liefert einfache Antworten auf diese Fragen. Morgens wird das Licht der Sterne in dem Maße schwächer, indem die Morgendämmerung zunimmt; abends werden sie umso leuchtstärker, je schwächer die Abenddämmerung wird; wir hören also nicht deshalb auf sie wahrzunehmen, weil sie zu leuchten aufhörten, sondern weil das kräftige

Licht der Dämmerung und der Sonne sie bei weitem übertrifft. Die glückliche Erfindung des Teleskops hat uns in die Lage versetzt, diese Erklärung zu verifizieren, indem es uns erlaubte, die Sterne selbst in dem Moment zu sehen, wo die Sonne am höchsten steht. Jene, die nahe genug am Pol sind, um niemals den Horizont zu erreichen, sind ständig sichtbar. Was die Sterne betrifft, die gerade im Osten aufgehen, um schließlich wieder im Westen zu verschwinden, ist es natürlich zu denken, dass sie unterhalb des Horizonts die Kreisbahn weiter beschreiben, die sie oberhalb zu durchlaufen begonnen haben, und deren unteren Abschnitt uns der Horizont verbirgt. Diese Wahrheit wird deutlich, wenn wir uns nach Norden wenden: Die Kreisbahnen der Sterne in diesem Teil des Weltgebäudes lösen sich immer weiter vom Horizont; diese Sterne hören endlich auf zu verschwinden, während andere Sterne im Süden für immer unsichtbar werden. Man beobachtet das Gegenteil, wenn man sich nach Süden wendet: die Sterne, die sich ständig über dem Horizont aufhielten, gehen abwechselnd auf und unter, und neue, zuvor unsichtbare Sterne beginnen zu erscheinen. Die Oberfläche der Erde ist also nicht so, wie sie uns erscheint, eine Ebene, auf der sich der Himmel in Form eines abgeflachten Gewölbes erhebt. Es ist dies eine Illusion, die die ersten Beobachter nicht durch analoge Überlegungen zu dem oben Gesagten zu berichtigen zögerten: sie erkannten bald, dass der Himmel die Erde von allen Seiten umschließt, dass die Sterne dort ununterbrochen funkeln und jeden Tag ihre verschiedenen Kreisbögen beschreiben. Wir werden im Folgenden sehen, dass die Astronomie oft damit beschäftigt ist, derartige Illusionen zu korrigieren und die Realität der Gegenstände in ihren trügerischen Erscheinungsformen aufzuklären.

Um sich eine genaue Vorstellung von der Bewegung der Sterne zu machen, stellt man sich eine Gerade durch den Mit-

telpunkt der Erde und durch die beiden Pole der Welt vor, die man als *Weltachse* bezeichnet und um die herum die Himmelsphäre rotiert. Der Großkreis dieser Sphäre, senkrecht zu dieser Achse gelegen, wird *Äquator* genannt.

Die kleinen Kreise, die die Sterne aufgrund ihrer täglichen Bewegung parallel zum Äquator beschreiben, heißen einfach nur *Parallelen*; der *Zenit* eines Beobachters ist jener Punkt des Himmels, den seine [des Beobachters] Vertikale trifft; der *Nadir* ist der dazu direkt gegenüberliegende Punkt. Der Großkreis, der durch den Zenit und die Pole verläuft, ist der *Meridian*; er teilt den von den Sternen über dem Horizont beschriebenen Kreisbogen in zwei gleiche Teile, und sobald sie [die Sterne] ihn erreichen, befinden sie sich auf ihrem höchsten oder niedrigsten Punkt. Der *Horizont* ist schließlich der Großkreis senkrecht zur Vertikalen oder parallel zur Ebene, die die Oberfläche des stehenden Wassers am Ort des Beobachters berührt.

Die Polhöhe stellt die Mitte zwischen der größten und der kleinsten Höhe eines jener Sterne, die niemals untergehen dar, was ihre Bestimmung einfach macht; folglich sieht man, wenn man direkt gegen den Pol fortschreitet, ihn sich ziemlich genau proportional zur durchlaufenen Strecke erheben: Die Oberfläche der Erde ist also konvex und ihre Gestalt kaum von der einer Kugel verschieden. Die Krümmung der Erdkugel wird deutlich an der Oberfläche der Meere: der Seefahrer, der sich der Küste nähert, nimmt zuerst ihre höchsten Punkte wahr und entdeckt im Folgenden nach und nach die unteren Teile, die ihm die Konvexität der Erde verbirgt. Auch wegen dieser Krümmung vergoldet die Sonne beim Aufgehen zuerst den Gipfel der Berge, bevor sie die Ebenen beleuchtet.

Kapitel II.

Von der Sonne und ihrer eigenen Bewegung

Alle Sterne nehmen an der täglichen Bewegung der Himmelsphäre teil; aber einige besitzen eigene Bewegungen, denen man mit Interesse folgt, weil sie allein uns zur Kenntnis des Weltsystems führen können. Ebenso wie bei der Messung der Entfernung eines Objekts beobachtet man es von zwei verschiedenen Positionen aus; folglich muss man, um die Gesetze der Natur zu entdecken, sie unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten und die Entwicklung dieser Gesetze im Wechsel des Schauspiels, das sie uns bietet, beobachten. Auf der Erde variieren wir die Phänomene mittels Experimenten; am Himmel bestimmen wir sorgfältig alle jene, die uns die Himmelsbewegungen bieten. Wenn man folglich die Natur befragt und ihre Antworten der Analyse unterzieht, können wir uns durch eine Reihe sorgfältig ausgeführter induktiver Schlüsse zu den Ursachen der Phänomene emporarbeiten, d.h. sie auf allgemeine Gesetze zurückführen, aus denen sich alle einzelnen Phänomene herleiten. Darauf, diese Gesetze zu entdecken und sie auf die kleinstmögliche Anzahl zu reduzieren, müssen sich unsere Anstrengungen richten; denn die ersten Ursachen und die innerste Natur des Seins werden uns ewig unbekannt bleiben.

Von allen Gestirnen, die uns eigentümliche Bewegungen zu besitzen scheinen, ist die Sonne das bemerkenswerteste. Ihre Eigenbewegung, gegenläufig zur täglichen Bewegung, also von West nach Ost gerichtet, erkennt man leicht durch das Himmelsschauspiel während der Nacht, ein Schauspiel, das sich mit den Jahreszeiten verändert und erneuert. Die auf der Bahn der Sonne gelegenen Sterne, die kurz nach ihr untergehen, verschwinden bald in ihrem Licht und erscheinen in der