

10. Regenwetter

- 10.1 Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck
- 10.2 Kondensation
- 10.3 Regentropfen fallen
- 10.4 Regenbogen
- 10.5 Biographie: Blaise Pascal

Während Wetter schon immer ein beliebtes Gesprächsthema war, jedenfalls in unseren Breiten, hat heute das Klima die Schlagzeilen der Zeitungen, erreicht, und die Wettervoraussagen sind in den hinteren Teil der Zeitungen verbannt, bei der FAZ z.B. in den Wirtschaftsteil. Hinter beiden Phänomenen, hinter dem sich schnell veränderlichen Wetter und hinter den über längere Zeiträume gemittelten Wettererscheinungen, die man Klima nennt, stehen physikalische Gesetze, über die wir hier an Beispielen reden wollen.

10.1 Luftfeuchtigkeit und Dampfdruck

Die Atmosphäre oder Luft, die uns in Bodennähe umgibt, besteht aus einem Gemisch von verschiedenen Gasen (Angaben in Volumenprozenten): Stickstoff (78%), Sauerstoff (21%), Argon (0,9%), Kohlenstoffdioxid (0,04%) und kleinere Mengen weiterer Gase. Hinzu kommt ein Wasseranteil, dessen Größe sehr stark von der Temperatur und vom Ort abhängt. Der lokale Wassergehalt wird durch ein Wechselspiel aus Verdunstung und Niederschlägen bestimmt. Den Wassergehalt der Luft nennt man auch die Luftfeuchte oder Luftfeuchtigkeit. Im zeitlichen und örtlichen Mittel beträgt der Wasserdampfanteil 1,3% des Luftvolumens.

Jedes Gas, das in einem Behälter eingesperrt ist, übt auf die Wände des Behälters einen Druck aus, der dadurch entsteht, dass die Moleküle des Gases an den Wänden reflektiert werden. Wenn ein Gas, wie z.B. die Luft, aus verschiedenen Komponenten besteht, dann trägt jede Molekülsorte seinen Beitrag, seinen „Partialdruck“, zum Gesamtdruck bei. Der Gesamtdruck ist gleich der Summe der Partialdrucke. Dieses Gesetz geht auf Dalton zurück. Wie man aus der anschaulichen Deutung des Druckes sogleich versteht, ist der Wert des Partialdruckes einer bestimmten Molekülsorte unabhängig von den Beiträgen der anderen Molekülsorten im Gas. Im Folgenden wird der Partialdruck des Wasserdampfes kurz Dampfdruck genannt.

Versuch: Reflexion von Teilchen an der Oberfläche einer Waage

Durch den Aufprall von Kügelchen auf eine Waagschale wird eine Kraft und damit ein Druck auf die Fläche der Schale ausgeübt.

Man gibt den Wassergehalt in der Atmosphäre nicht in Gewichts- oder Volumenprozenten an, sondern als Druck. Der Grund dafür liegt sicherlich darin, dass der Druck relativ einfach zu messen ist. Bevor wir eine Messmethode angeben, wollen wir noch den Verdunstungsprozess erklären, der wesentlich den Wassergehalt in der Luft bestimmt. Bei einer bestimmten Temperatur haben die Moleküle im flüssigem Wasser keine einheitliche Energie; sie besitzen vielmehr eine Energieverteilung, wobei manche schneller und manche langsamer sind. Das gilt auch für die Moleküle an der Wasseroberfläche. Den energiereichsten Molekülen gelingt es, die Bindungskräfte an

die Nachbarmoleküle in der Flüssigkeit zu überwinden und damit in die Gasphase überzutreten. Je höher die Temperatur des Wassers ist, desto mehr Moleküle verdunsten. Natürlich können auch Wassermoleküle, die aus der Gasphase wieder auf die Wasseroberfläche treffen, von der Flüssigkeit aufgenommen werden. Die Zahl der Moleküle im Wasserdampf über der Flüssigkeit bestimmt sich also aus einem dynamischen Gleichgewicht, das sehr stark von der Temperatur abhängt. Den Dampfdruck, der sich über einer Flüssigkeitsoberfläche im Gleichgewicht einstellt, nennt man auch den Sättigungsdampfdruck. Wenn bei einer bestimmten Temperatur alles Wasser verdampft, dann wird der Wasserdampf nicht den Sättigungsdruck erreichen, sondern darunter bleiben. Dann gibt man den bei dieser Temperatur gemessenen Dampfdruck als Prozent des Sättigungsdampfdrucks an. Man spricht auch von relativer Luftfeuchtigkeit. Ein Wert von 50% für die Luftfeuchtigkeit wird als angenehm empfunden, 70 bis 80% eher als schwül und eine relative Luftfeuchtigkeit von 100%, die im Sommer in Meeresnähe vorkommen kann, wird als schwer erträglich empfunden und führt häufig zu Regen.

Versuch: Messung des Dampfdrucks von Wasser und einer organischen Flüssigkeit.

Die folgende Tabelle enthält einige Werte für den Sättigungsdampfdruck in Abhängigkeit von der Temperatur. Der Druck ist in Hektopascal angegeben. Da Druck als Kraft pro Fläche definiert ist, ergibt sich im SI-System die Maßeinheit 1 N/m². Diese erhielt zu Ehren des Mathematikers, Physikers und Philosophen Blaise Pascal seinen Namen und wird mit Pa abgekürzt. Es ist: 1 Pa = 1 N/m². Für die in der Technik übliche Einheit bar gilt 1 bar = 10⁵ Pa = 10³ hPa.

Temperatur in °C	-10	0	10	20	30	40	100
Sättigungsdampfdruck in hPa	2,7	6,1	12,3	23,3	42,4	73,8	1013

Tabelle 7.1 Sättigungsdampfdruck des Wassers bei verschiedenen Temperaturen

Aus der Tabelle ersieht man, dass der Sättigungsdampfdruck sehr stark mit der Temperatur anwächst. Bei 100°C erreicht er Atmosphärennormaldruck. Das ist die Temperatur, bei der Wasser siedet. (siehe Abb. 2)

10.2 Kondensation des Dampfes zu Tropfen

Wenn Wasser in Dampfform vorliegt, bewegen sich die einzelnen Wassermoleküle unabhängig voneinander. Im Tropfen sind die Wassermoleküle aneinander gebunden und bilden eine Flüssigkeit. Warum finden sich in einem Dampf die einzelnen Moleküle unter der Wirkung der anziehenden Kräfte zwischen den Molekülen nicht spontan zusammen, um Tropfen zu bilden? Das liegt an der Temperatur- oder Wärmebewegung der Moleküle. Die Dampfmoeküle haben Bewegungsenergie, die der Anziehung entgegenwirkt. Die Tropfenbildung ist das Ergebnis dieser zwei widerstreitenden Tendenzen und damit eine Funktion der Temperatur, ganz ähnlich wie beim umgekehrten Prozess der Verdunstung.

Bei der Tropfenbildung kommt ein zweiter Effekt hinzu, der mit der kugelförmigen Form eines Tröpfchens zu tun hat. Der Sättigungsdampfdruck p_s , den wir im vorigen Abschnitt diskutiert und für den wir Werte in der Tabelle angegeben haben, bezieht sich auf eine Flüssigkeit, deren Oberfläche eben ist. Er entsteht im Gleichgewicht zwischen Temperaturbewegung und den Bindungskräften der Moleküle auf der Oberfläche der Flüssigkeit. In einem Wassertropfen ist die Oberfläche gekrümmt, und die Bindungskräfte die auf die einzelnen Moleküle wirken, sind deshalb kleiner. Bei gleicher Temperatur ist es also schwieriger, ein Wassermolekül in einem Tropfen einzufangen als in einer Flüssigkeit mit ebener Oberfläche. Physikalisch gesprochen ist der Sättigungsdampfdruck $p_s(r)$ für ein Tropfen abhängig vom Radius r des Tropfens: er wächst wie $1/r$ an. Das bedeutet, dass gerade sehr kleine Tropfen einen sehr hohen Sättigungsdampfdruck haben, der nie in der Atmosphäre zu finden ist, so dass eine Kondensation des Wasserdampfes in der Atmosphäre unmöglich erscheint. Regen ist also physikalisch unmöglich - in einer reinen Dampfatmosphäre.

Glücklicherweise enthält die Atmosphäre nicht nur die Gasmoleküle, sondern auch viele kleine „Fremdkörper“ wie Bodestaub, Pollen, kleine Salzkristalle aus Meeressgisch, insbesondere aber Teilchen, die aus der chemischen Reaktion von Verbrennungsprodukten wie CO_2 , SO_2 und anderen mit Wassermolekülen entstehen. Es handelt sich hier um Teilchen im Größenbereich von 10^{-7} bis 10^{-5} cm mit einer Häufigkeit von 100 bis 1000 Teilchen/cm³. Diese Teilchen wirken als „Kondensationskeime“. Das bedeutet, dass die Bindungsenergie der Wassermoleküle an diese Teilchen höher ist als die zwischen zwei Wassermolekülen, die einen Tropfen bilden wollen. Die Kondensationskeime bilden den Anfang der Kondensation des Wassers. Erst wenn das entstehende Tröpfchen eine gewisse Größe erreicht hat, wird es „von alleine“ weiter wachsen.

Versuch: Spuren in einer Nebelkammer

Der Prozess, nach dem der Wasserdampf der Atmosphäre zu Regentropfen kondensiert, läuft in zwei Stufen ab:

1. Im Allgemeinen ist der Wasserdampf in einer bestimmten Luftschicht bei der herrschenden Temperatur ungesättigt. Wenn die umgebende Luft kühler ist als die der betrachteten Luftschicht, steigt diese auf Grund des Auftriebs nach oben und kühlt sich dabei ab. Beim Aufsteigen ändert sich der Wasserdampfgehalt nicht, während die Temperatur sinkt, so dass bei einer bestimmten Höhe bzw. Temperatur der Sättigungsdampfdruck erreicht oder sogar überschritten wird.
2. An den Kondensationskeimen beginnen sich Tropfen zu bilden. Solange diese klein sind (siehe nächsten Abschnitt) unterliegen sie nur unwesentlich der Schwerkraft, sie schweben weiter in der sie umgebenden Luft, werden sogar mit dem Auftrieb der Luft nach oben mitgenommen, wobei sie weiter wachsen können. Erst, wenn sie eine gewisse Größe erreicht haben, fallen sie nach unten als Regen.

Oft existieren Wolken, die Regen bringen könnten, dies aber nicht tun. Für die Niederschlagsbildung sind, wie wir gesehen haben, Kondensationskeime eine notwendige Voraussetzung. Diese kann man künstlich zusetzen, indem man aus Flugzeugen reines Wasser oder eine Lösung von Salz oder einem hygroskopischen Stoff aussprüht. In praktischen Versuchen wurde Silberjodid in Aceton gelöst und verbrannt. Die so entstehenden Silberjodid-Kristalle stehen für die Wassertropfen als

Gefrierkerne zur Verfügung, Eiskristalle bilden sich und durch Koaleszenz entwickeln sich Niederschlagsteilchen. Auf diese Weise lässt sich künstlicher Regen erzeugen.

Leider wird fast jede wissenschaftliche Erkenntnis auch in der Kriegsführung eingesetzt. So setzte die USA im Vietnamkrieg auch die Wettermanipulation ein. Um den Nachschub der Vietcong zu unterbinden, wurde mit chemischen Substanzen der Monsunregen verstärkt und die Regendauer verlängert. Mit fast 3000 Flugeinsätzen wurden Wolken geimpft.

Die UNO reagierte daraufhin mit einer Konvention, die "Enmod Warfare" - die Kriegsführung durch Umweltmodifikation verbietet. Die UNO Konvention wurde am 18. Mai 1977 in Genf unterzeichnet und trat am 5. Oktober 1978 in Kraft.

10.3 Regentropfen fallen

Wenn ein Körper fällt, wirken zwei entgegengesetzt wirkende Kräfte auf ihn: Die Schwerkraft, die den Körper nach unten beschleunigt und die Reibungskraft, die den Fall abbremst. Während die Schwerkraft nur von der Masse des Körpers abhängt und gut verstanden ist, hängt die Reibungskraft von der Geschwindigkeit, von der Form und der Größe des Körpers ab, aber auch von Eigenschaften des Mediums, in der der Körper fällt, hier also der Luft. Da die Phänomene, die zur Reibung führen, sehr kompliziert sind, sind die Reibungskräfte nur in speziellen Fällen durch eine einfache Formel zu beschreiben.

Hier wollen wir nur die Abhängigkeit der Reibungskraft von der Geschwindigkeit betrachten. Da die Reibung mit der Geschwindigkeit anwächst, gibt es eine Grenz- oder Endgeschwindigkeit v_g , bei der die Reibungskraft gerade so groß ist wie die Schwerkraft, so dass die Gesamtkraft auf den Körper verschwindet. Damit wird er nicht weiter beschleunigt und behält seine Geschwindigkeit bei. Die erreichte Endgeschwindigkeit hängt von Größe und Masse des Körpers ab und von den Eigenschaften der Luft, wie z.B. ihrer Dichte und Viskosität.

Versuch: fallende Kugeln gleicher Dichte aber verschiedener Größe in einer Flüssigkeit hoher Viskosität.

Tabelle 2 enthält einige für Endgeschwindigkeiten für Regentropfen verschiedener Größe.

Tropfenradius in mm	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1
Endgeschwindigkeit in cm/s	0,013	1,3	72	650

Tabelle 2: Endgeschwindigkeiten von Wassertropfen verschiedener Radien in Luft

Aus der Tabelle 2 sieht man, dass die Endgeschwindigkeit von Tropfen in Luft sehr stark von ihrer Größe abhängt. Dennoch fallen die Tropfen jeder Größe nach unten, außer sie werden durch Luftbewegungen mitgenommen. Wenn z.B. die umgebende Luft mit einer Geschwindigkeit v_L nach oben strömt, werden alle Tropfen, deren Endgeschwindigkeit kleiner als v_L ist, mit nach oben geführt. Luftströmungen können Geschwindigkeiten von einigen m/s und mehr erreichen, so dass nach unserer Tabelle erst Tropfen mit Radius 1 mm oder größer trotz der Luftbewegung nach unten fallen. Die geringe Endgeschwindigkeit kleiner Tropfen hat - mit oder ohne Luftbewegung -

den Effekt, dass diese sich länger in der Wolke aufhalten und dabei wachsen, ehe sie dann nach unten fallen.

10.4 Regenbogen

Wenn während des Regens die Sonne scheint, beobachtet man oft einen Regenbogen, der jedesmal Freude hervorruft. Das Phänomen des Regenbogens ist natürlich schon seit Urzeiten bekannt, konnte aber erst im 17. Jahrhundert, als man die Lichtbrechung verstanden hatte, erklärt werden. Die Erklärung geht im Wesentlichen auf eine von René Descartes im Rahmen seiner *Essais Philosophiques* 1637 veröffentlichten Abhandlung zurück.

Ein Betrachter beobachtet einen gut sichtbaren Hauptregenbogen und manchmal auch einen weiteren schwächeren Nebenregenbogen mit umgekehrter Farbreihenfolge, wenn er mit der Sonne im Rücken auf eine Regenwand schaut. Die Sonnenstrahlen treten unter Brechung in die Regentropfen ein, werden dann an der Rückwand des Tropfens reflektiert und verlassen unter einer zweiten Brechung den Tropfen und gelangen in unser Auge. Durch die zweifache Brechung wird das weiße Licht der Sonne genau wie in einem Prisma in seine Farben zerlegt. Der Regentropfen wirkt wie eine Kombination aus Prisma (beim Ein- und Austritt des Lichtes) und Spiegel (bei der Totalreflexion im Innern).

Versuch: Simulation eines Regenbogens mit einem mit Wasser gefüllten Becherglas

Licht aus einem beleuchteten Spalt trifft an einer Seite auf ein Becherglas, wird dort gebrochen, teilweise reflektiert und beim Austritt nochmals gebrochen. Durch eine Linse wird das Lichtbündel scharf auf einem Schirm abgebildet, so dass man den Regenbogen dort gut sehen kann.

Die größte Intensität für Brechung und Rückstreuung in einem Regentropfen tritt auf, wenn der Winkel zwischen eintretenden und austretenden Strahl gerade etwa $\rho = 42^\circ$ beträgt, wobei dieser Winkel leicht von der Farbe abhängt. Dieser Winkel bestimmt auch, unter welchem Winkel α ein Beobachter bei gegebenem Sonnenstand γ den Regenbogen beobachtet. Aus einer einfachen geometrischen Überlegung (Bild) findet man die Relation $\alpha + \gamma = \rho$ oder $\alpha = \rho - \gamma$. Der Regenbogen steht für den Beobachter also umso höher, je niedriger die Sonne steht. Deshalb sind Regenbögen am schönsten im Abendlicht sichtbar, wenn die Sonne niedrig steht. Falls die Sonne eine Höhe von mehr als 42° hat, ist ein Regenbogen nicht beobachtbar.

10.5 Biographie: Blaise Pascal (1623 - 1662)

Das Leben von Pascal fällt in die Zeit des Absolutismus, in der Frankreich von Ludwig XIII. (1610 - 1643) und Ludwig XIV. (1643 - 1715) bzw. den Kardinälen Richelieu und Mazarin regiert wurde. Ziel der französischen Politik war es damals, die habsburgische Vorherrschaft in Europa zurückzudrängen und stattdessen Frankreich eine Vorrangstellung zu geben. Es war eine Zeit glanzvoller Kultur, in der die Dichter Corneille (1609 - 1684), Racine (1639 - 1699) und Molière (1622 - 1673) lebten und in der sich die französische Sprache und Sitte in Europa ausbreitete.



Pascal stammte aus einer alten amtsadeligen Familie der Auvergne, sein Vater war Jurist, der sich 1626 ein Richteramt in Clermont-Ferrand kaufte. Die Familie hatte drei Kinder, den Sohn Blaise, die drei Jahre ältere Schwester Gilberte, die später seine Nachlassverwalterin und erste Biographin wurde, sowie eine jüngere Schwester Jacqueline, deren Geburt die Mutter so schwer mitnahm, dass sie bald darauf verstarb. Als Blaise 8 Jahre alt war, zog die Familie nach Paris, wo der hochgebildete und naturwissenschaftlich interessierte Vater seinen häufig kränkelnden Sohn selbst unterrichtete. Hierbei legte er den Schwerpunkt zunächst auf die alten Sprachen. Da der Mathematikunterricht erst einsetzen sollte, wenn Blaise 15 Jahre alt war, ließ der Vater alle Mathematikbücher aus dem Hause entfernen. Das steigerte natürlich die Neugier des Jungen, so dass er sich eigenständig mit der Geometrie beschäftigte und die ersten 32 Sätze der Euklidischen Geometrie selbst herleitete. Als das der Vater bemerkte, erlaubte er dem Sohn, die Werke Euklids zu studieren.

Schon bald stellte sich heraus, dass der Junge ein Wunderkind war, das dann auch bereits im Alter von 14 Jahren von seinem Vater zu den Sitzungen der "Académie Mersenne", einer Vorläuferin der Académie des Sciences, mitgenommen wurde. Bereits mit 16 Jahren veröffentlicht er seine erste Arbeit "Essay sur les Coniques" (Abhandlung über die Kegelschnitte), die ihn schlagartig in der wissenschaftlichen Gesellschaft bekannt machte.

Im Jahre 1638 wurde der Vater verdächtigt, gegen Finanzmanipulationen des Staates protestiert zu haben. Um der Bastille zu entgehen, floh er in die Provinz, doch schon bald wurde er von Richelieu begnadigt. Kurze Zeit später wurde er zum königlichen Kommissar für das Steuerwesen ernannt und in die Normandie nach Rouen geschickt. Um seinem Vater bei seiner Tätigkeit als Steuereintreiber behilflich zu sein, erfand Blaise Pascal eine Rechenmaschine, die sog. Pascaline, mit der man zunächst nur Additionen, später dann alle 4 Grundrechenarten ausführen konnte. Diese Erfindung entsprach seiner Vorstellung, dass mathematische Theorie etwas mit der Praxis zu tun haben sollte. Bei der Entwicklung der Maschine hatte Pascal besonders auf folgendes Problem zu bewältigen: Zur damaligen Zeit war die französische Währung nicht dezimal unterteilt, sondern 1 livre enthielt 20 sol und 1 sol 12 deniers – ein ähnliches System, wie es in England bis 1971 existierte.

Die Pascaline ähnelte den mechanischen Rechenmaschinen, die um 1940 in Gebrauch waren. Er ließ sie sich patentieren und ließ in einer eigenen kleinen Firma 50 Prototypen fertigen, doch der Reichtum, den er sich erträumte, blieb aus. Die handgefertigten Maschinen waren einfach zu teuer, um großen Absatz zu finden, so dass die Produktion 1652 eingestellt wurde.

Ein Ereignis aus dem Jahre 1646 war für den jungen Pascal von tiefgreifender Bedeutung. Sein Vater hatte sich am Bein verletzt (Oberschenkel-Luxation) und wurde von zwei Ärzten in seinem Hause über mehrere Monate betreut und gesund gepflegt. Sie gehörten einer religiösen Bewegung an, die sich an den Lehren des holländischen Reformbischofs orientierte, und hatten einen großen Einfluss auf die Familie Pascal, die bis dahin nicht besonders religiös war. Die gesamte Familie Pascal wurde zum Jansenismus bekehrt und wurde tief religiös. Der zentrale Punkt der jansenistischen Reform war eine Gnadenlehre, die sich an Augustinus orientierte, und die die Christen zu einer orthodoxen Frömmigkeit und einer eindeutigen Moral anhielt. Damit waren die Jansenisten den etwas laxeren, konzilianteren und machthungrigen Jesuiten ein Ärgernis.

In etwa zur gleichen Zeit begann Pascal mit Experimenten zum Luftdruck, die denen von Torricelli ähnlich waren, und war bald darauf davon überzeugt, dass es ein Vakuum gibt. Im Jahre 1647 zog er mit seiner Schwester Jacqueline zurück nach Paris, wohin auch bald darauf der Vater folgte. Als Descartes ihn im Jahre 1647 für zwei Tage besuchte, diskutierten die beiden lange über die Existenz des Vakuums. Danach schrieb Descartes, der nicht an das Vakuum glaubte, an Huygens, dass "Pascal wohl ein Vakuum in seinem Kopf habe". Kurze Zeit später veröffentlichte Pascal seine 'Expériences nouvelles touchant le vide' (Neue Versuche über die Leere) und bat einen Schwager darum, am Puy-de-Dôme (bekannter 1465 m hoher Berg in der Nähe von Clermont-Ferrand) ein Experiment vorzunehmen, mit dem gezeigt werden sollte, dass der Luftdruck mit der Höhe abnimmt. Als das im folgenden Jahre ausgeführte Experiment positiv ausfiel, schloss er daraus, dass es oberhalb der Atmosphäre ein Vakuum geben müsse.

Als sein Vater im September 1651 starb, schrieb Blaise Pascal an eine seiner Schwestern einen Brief, in dem er die tief christliche Bedeutung des Todes im darstellte. Die Ideen, die er darin entwickelte, bildeten den Grundstein für sein späteres philosophisches Werk, die "Pensées".

Seine Schwester Jacqueline versuchte nach dem Tod des Vaters ihren langgehegten Wunsch zu verwirklichen und trat ins jansenistische Kloster Port Royal bei Paris ein. Darüber kam es mit ihrem Bruder zu einem Bruch und für Blaise begann die sogenannte "mondäne Periode". Er war zum ersten Mal auf sich allein gestellt und verkehrte als wohlhabender, adeliger junger Mann von Welt in der Pariser Gesellschaft. Er stellte in einem Salon seine Rechenmaschine vor und erläuterte seine "Theorie über die Leere", schloss neue Freundschaften und befasste sich mit belletristischer Literatur. Er soll sogar an den Kauf eines Amtes und ans Heiraten gedacht haben, zumindest wird berichtet, dass er sich dauernd in der Gesellschaft einer schönen gelehrten Dame befand.

Nachdem 1653 auf Drängen der an der Sorbonne lehrenden Jesuiten 5 Sätze aus dem Buch des Jansenius vom Papst verdammt worden waren, entbrannte auch ein Kampf um das Überleben des Klosters Port-Royal, in den auch Pascal eingreifen sollte. Doch zunächst setzte er seine wissenschaftlichen Arbeiten fort: Er veröffentlichte die beiden Arbeiten "Über das Gleichgewicht der Flüssigkeiten" und "Über das Gewicht der Luft" ("De l'équilibre des liqueurs" & "De la pesanteur de la masse de l'air") und beschäftigte sich mit verschiedenen Fragestellungen aus der Mathematik. Hier setzte er seine Arbeiten über Kegelschnitte fort, entdeckte wichtige Lehrsätze der projektiven Geometrie, arbeitete auf dem Gebiet der Binomialkoeffizienten, die in dem nach ihm benannten Dreieck angeordnet werden können, und legte in Korrespondenz mit Pierre de Fermat den Grundstein zur Wahrscheinlichkeitsrechnung. Hierbei untersuchten die beiden die Gewinnchancen bei Glücksspielen, einem typisch adeligen Zeitvertreib. Um bestimmte Gesetze zu beweisen, baute Pascal einen Holzkessel mit 36 Zahlen, aus dem später das Roulette hervorging.

Obwohl es ihm gesundheitlich nicht gut ging, setzte Pascal seine Arbeiten bis zum Oktober 1654 fort. Zu dieser Zeit befällt ihn offenbar eine tiefe depressive Verstimmung. Außerdem hatte er einen schweren Unfall, bei dem er fast sein Leben verloren hätte. Eine Kutsche, bei der ein Pferd durchgegangen war, wäre fast von einer Brücke in die Seine gestürzt. Obwohl Pascal ohne körperliche Schäden gerettet wurde, hat ihn

diese Situation psychisch stark angegriffen. Bald darauf versöhnte er sich mit seiner frommen Schwester Jacqueline und gestand ihr seine Verwirrung.

Im November desselben Jahres hatte er ein Offenbarungserlebnis, das er selbst schriftlich niederlegte. Er betrachtete es als "zweite Konversion" und lebte fortan extrem asketisch. Im folgenden Jahre zog er sich dann nach Port Royal zurück, ohne jedoch den Kontakt zur Außenwelt abubrechen.

Als der ihm nahestehende Jansenist Antoine Arnauld aus der theologischen Fakultät der Sorbonne ausgeschlossen wurde, mischte sich Pascal ein und verfasste in den Jahren 1656/57 eine Serie anonymer satirisch-polemischer Briefe, die wie eine Bombe einschlugen und 1657 in Holland als Buch herauskamen. Sie erschienen unter dem Titel *Provinciales, ou Lettres de Louis de Montalte à un provincial de ses amis et aux R.R. PP. Jésuites sur la morale et la politique de ces pères* ("Provinzler[brieft], oder Briefe von Louis de Montalte. an einen befreundeten Provinzler sowie an die Jesuiten über die Moral und die Politik dieser Patres"). In diesen Briefen persiflierte und attackierte Pascal oft spitzfindige Theologie der Jesuiten und entlarvte ihren sehr weltlichen Machthunger. Die Briefe wurden zum Tagesgespräch; ganz Paris amüsierte sich über die brillanten und ironischen Formulierungen, mit denen die Methoden der Jesuiten entlarvt wurden. Die *Lettres provinciales* hatten, obwohl sie nach dem Erscheinen der Buchausgabe auf den Index kamen und 1660 sogar vom Henker verbrannt wurden, einen großen und langandauernden Erfolg. Letztendlich begann mit ihnen das Ende der Allmacht der Jesuiten, zumindest in Frankreich. Wegen ihrer Klarheit und Präzision gelten sie noch heute als ein Meisterwerk der französischen Prosa, das ihrem Autor einen Platz unter den Klassikern der französischen Literatur verschaffte.

Zunächst allerdings behielten die Jesuiten mit der Unterstützung von König und Papst die Oberhand. Als 1661 der Streit mit den Jansenisten eskalierte, wurde dem Kloster Port-Royal untersagt, neue Novizinnen aufzunehmen. Kurz nachdem die Äbtissin Mère Angélique Arnauld vor Gram gestorben war, verschied auch Pascals Schwester Jacqueline.

Pascals berühmtestes philosophisches Werk sind die "*Pensées*", eine Sammlung von persönlichen Gedanken über das menschliche Leiden und den Glauben an Gott. Dieses Werk, das er 1656 begann und in den beiden folgenden Jahren weiterführte, konnte von Pascal nicht mehr vollendet werden. Er hinterließ seine Notizen und Fragmente auf rund 1000 Zetteln, die in rund 60 Bündeln geordnet waren. Auf dieser Grundlage gaben seine jansenistischen Freunde nach seinem Tode eine Ausgabe mit dem Titel "*Pensées sur la religion et autres sujets*" heraus. Hierin enthalten ist auch die sog. Pascalsche Wette, die mit folgendem Argument zu beweisen versucht, dass es vernünftig ist, an Gott zu glauben: "Falls Gott nicht existiert, verliert man nichts, wenn man an ihn glaubt. Falls er aber existiert, verliert man alles, wenn man nicht an ihn glaubt."

Neben seiner Arbeit an den *Pensées* betrieb Pascal immer wieder auch praktische Dinge. So beschäftigte er sich 1658 mit der Zykloide und berechnete die Fläche und den Schwerpunkt eines Segments sowie das Volumen des Rotationskörpers, der bei Drehung um die x-Achse entsteht. Nachdem er selbst die Lösung gefunden hatte, stellte er das Problem in einem Preisausschreiben vor. Hierbei erhielt er viele, oft auch unzureichende Vorschläge und handelte sich eine heftige Polemik von einem Unzufriedenen ein.

Mit seiner ohnehin schlechten Gesundheit ging es in immer rascher bergab, sicher auch aufgrund seiner äußerst asketischen Lebensweise, die ihn zusätzlich schwächte.. Im Jahre 1660 verbrachte er mehrere Monate als Rekonvaleszent auf einem Schloßchen seiner älteren Schwester und seines Schwagers bei Clermont.

Anfang 1662 erhielt er zusammen mit einem Freund ein Patent auf ein gemeinnütziges Transportunternehmen („les carrosses à cinq sous - Groschenkutschen“), das den Beginn des öffentlichen Nahverkehrs in Paris markierte. Bevor die erste Omnibuslinie im März eröffnet wurde, hatte Pascal umfangreiche Verkehrsbeobachtungen an den belebten Straßen und Plätzen durchgeführt. Dies ist ein weiteres Beispiel seines steten Wunsches, Theorie und Praxis zu vereinen.

Als Blaise Pascal im August 1662 schwer erkrankte, ließ seinen Hausstand zugunsten mildtätiger Zwecke verkaufen und starb mit 39 Jahren im Pariser Haus der Familie seiner Schwester Gilberte, vermutlich an einer Hirnblutung.