

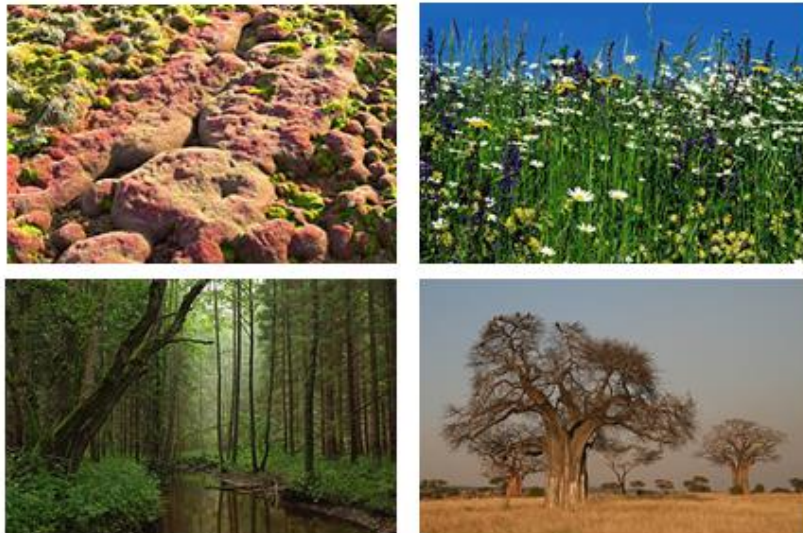
# Evolution der Pflanzen

von den Anfängen des Lebens  
bis zur Blütenpflanze

Dr. Sylvia Rückheim

Die Geologin Frau Dr. Sylvia Rückheim (Mitglied des Fördervereins) war gern dem Wunsch nachgekommen, ihren bereits im Rombergpark gehaltenen Vortrag über die „[Evolution der Pflanzen](#)“ (Hyperlink auch als Word-Datei verfügbar) anlässlich des Neujahrsempfangs zu wiederholen. Sie verzichtete dabei auf tiefer gehende wissenschaftliche Erläuterungen zu Gunsten eines zusammenfassenden Überblicks über die Entwicklung der Pflanzen und entsprechend des Lebens ab dem für uns nachweisbaren Beginn des Lebens auf unserer Erde bis zur heutigen Zeit. Mit der ungeheuer existenten vielfältigen Pflanzenwelt. (Die von Sylvia Rückheim gezeigten PowerPoint-Folien sind in dieser Niederschrift eingearbeitet).

## Die heutige Vegetation auf der Erde: eine große Vielfalt



Evolution der Pflanzen

Die Zeitreise des Lebens beginnt schon im [Erdzeitalter](#) des Präkambriums, im Verhältnis früh nach der Bildung der Erde vor ca. 4,6 Milliarden Jahren. An ca. 3,5 Milliarden Jahre alten [Stromatolithen](#) konnte dieser Vorgang nachgewiesen werden.

## Eine Zeitreise in die Vergangenheit...



Das allen lassen wir hinter uns!

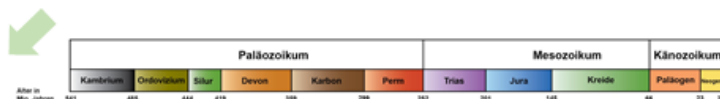
Evolution der Pflanzen

Neandertaler (Quartär)  
Saurier (Trias-Kreide)  
Frühe Wirbeltiere (Perm)  
Fische (Ordovizium)  
Trilobiten (Kambrium)

## Die ersten Nachweise von Photosynthese

### Stromatolithe

- älteste Funde ca. 3,5 Mrd. Jahre in Australien (Präkambrium von 4,6 Mrd. bis 541 Mio. Jahre)
- Cyanobakterien/Blaugrünalgen betreiben Photosynthese  
freier Sauerstoff oxidiert im Wasser gelöstes Eisen  
Eisenoxide fallen aus und lagern sich als Bändererz ab
- Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre steigt auf ca. 7%



Evolution der Pflanzen

- Stromatolithen: geschichtete Kalkgesteine, die durch Wechsellagerungen von Bakterien und Sedimentschichten gebildet werden.
- Photosynthese: Fähigkeit von Lebewesen, organische Stoffe + Sauerstoff zu erzeugen. Dabei verbrauchen sie Lichtenergie, die mit Hilfe lichtabsorbierender Farbstoffe aufgenommen wird.)
- Nachweis von freiem Sauerstoff im Meerwasser: BIF's (Banded Iron Formation, Bändererz). 2,5 - 1,8 Mrd. Jahre, Abfolge von eisenhaltigen Lagen und Hornsteinlagen (feinristalliner Quarz, auch Chert). Im Meerwasser gelöste Eisenionen wurden in der Nähe der Stromatolithe durch den Sauerstoff oxidiert. Es bildeten sich die schwer wasserlöslichen Eisenminerale Magnetit und Hämatit, die abgelagert wurden. War das Eisen im Wasser aufgebraucht, konnten sich keine Eisenminerale mehr bilden, stattdessen kam es zur Ablagerung von Hornsteinen (wahrscheinlich durch direkte chemische Ausfällung aus dem Meerwasser). Ab diesem Zeitpunkt konnte sich der Sauerstoff zunächst im Wasser, und als dieses sauerstoffgesättigt war, in der Atmosphäre anreichern.
- Die ältesten Oxidationsspuren an der Erdoberfläche: 1,8 Mrd. Jahre (Red Beds, Rotverwitterungen).
- Die Anreicherung von Sauerstoff (O<sub>2</sub>) in der Atmosphäre führte allmählich zur Bildung von Ozon (O<sub>3</sub>) und zur Entstehung der schützenden Ozonschicht. Die tödliche ultraviolette Strahlung der Sonne wurde abgeschirmt.
- Charakteristika einer Pflanze: sessil, phototroph (erzeugen Energie durch Licht), Vorhandensein von Chlorophyll a und b, Stärke als Reservopolysaccharide und Zellulose in der Zellwand

Ehepaar Schuppert und Bernd Pichler hatten Exponate (überwiegend eigene Funde) zur Verfügung gestellt, auf die Sylvia Rückheim verweisen konnte.



Stromatolith



Blualgen, Pfalz

[Cyanobakterien](#) konnten Photosynthese machen und konnten somit Sauerstoff produzieren. Dieser im Wasser frei werdende Sauerstoff reagierte unter anderem mit im Wasser gelösten Eisenatomen, das Wasser rostete. Es bildeten sich Hämatit und Magnetit, die als „[Bändererz](#)“ ausgefallen sind und heute einen wesentlichen Rohstoff unserer Eisen- und Stahlproduktion ausmachen.



Algenstromatolith, gebändert, Australien



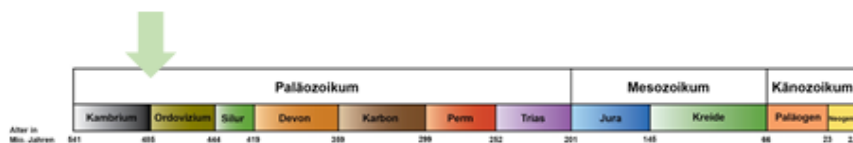
Irgendwann waren die Eisenatome aufgebraucht und der Sauerstoff diffundierte aus dem Meer heraus in die Atmosphäre. Zu Beginn des Kambriums betrug der Sauerstoffgehalt in der Luft bereits ca. [7%](#) (heute beträgt der Anteil 21 %).

Die folgenden ca. zwei Milliarden Jahre sind bezogen auf die Pflanzenwelt unspektakulär. Bezogen auf die tierischen Lebewesen nicht, die mussten auf die zunehmende Produktion von Sauerstoff durch die Cyanobakterien reagieren und „erfanden“ die Atmung und damit Energiegewinnung durch Sauerstoff. Das Sprungbrett auch für unser Leben.

## Unspektakuläre Jahrmillionen

### Algen breiten sich in den Meeren weiter aus

- Kambrium und Ordovizium  
Weite Verbreitung von Stromatolithen  
erste Kalkalgen (Dasycladaceen)
- Leider sehr schlechte Fossilhaltung
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre: min. 12%



Evolution der Pflanzen

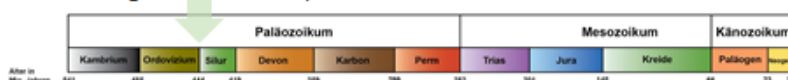
Die Algen und Stromatolithen breiten sich wie im Präkambrium im Kambrium und Ordovizium weiter aus, die ersten Kalkalgen können nachgewiesen werden. Über diese erdgeschichtliche Epoche gibt es bezogen auf die pflanzliche Evolution leider relativ wenig fossile Nachweise. Die Photosynthese der Algen führt zu weiterem Anstieg von Sauerstoff in der Atmosphäre, im Ordovizium sind es bereits 12 %.

Im Übergang Ordovizium / Silur treten die ersten Landpflanzen auf. Fadenpflanzen ohne Stützelemente, die sich aus den Meeresalgen entwickelt haben und noch an viel Feuchtgebiete gebunden sind. Aber es war der erste Schritt, das tierische Leben verblieb noch im Meer.

## Eroberung des Festlandes

### Erste Landpflanzen – blattlose Stängel ohne Stützelemente

- Oberes Ordovizium  
Beginn der Landbesiedlung durch niedere Pflanzen (Nematophyten, „Fadenpflanzen“)
- Oberstes Silur  
Gefäßpflanzen, die aus Wurzeln, Sprossachse und Leitbündel bestehen  
erste Ur-Farne und Ur-Bärlappe, ältester Fund *Cooksonia* (423 Mio. Jahre)
- Pflanzen an feuchte Habitate gebunden, Vermehrung über Sporen
- Ozonschicht nun so weit ausgebildet, dass die UV-Strahlung in ausreichendem Maß gefiltert wurde
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre im oberen Silur: ca. 19%



Evolution der Pflanzen

Im oberen Silur gab es dann schon erste Ausbildungen von Stützelementen (Cooksonia). [Gefäßpflanzen](#), die auch bereits Wurzeln entwickelten, sich im Boden verankerten, Nahrung aus dem Boden aufnehmen konnten und ein Sprossachsensystem bildeten. Der Boden war zu dieser Zeit karg. Ackerboden, wie wir ihn heute kennen, hat sich erst im Verlauf der Evolution aus der Verwitterung der Pflanzen gebildet. Die Pflanzen der Urzeit haben im mineralischen Sand der Strände oder der Erosionsprozesse an Land gewurzelt.

In dieser Zeitepoche entwickelten sich auch erste Pflanzengruppen, z.B. Farne, Bärlappgewächse. Die es auch heute noch gibt.

Auch die ersten Gefäßpflanzen brauchten noch Feuchtigkeit zum Schutz vor Austrocknung und zur Vermehrung. Es waren Sporenpflanzen, deren Samenkapseln an der Blattunterseite (Sporangien) zum Samentransport Wasser benötigen. Das ist auch heute noch so. Im Laufe der Evolution bildeten Pflanzen [Schutzmechanismen](#) gegen Austrocknung.

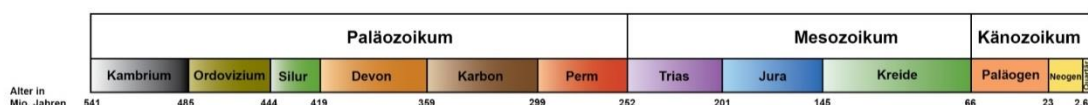
Epidermis mit Kutinschicht als Schutz gegen Verdunstung, Spaltöffnungen zum Gasaustausch

Eine weitere positive Auswirkung der Sauerstoffanreicherung der Atmosphäre war die Bildung der Ozonschicht.  $3O_2 \rightarrow 2O_3$ . Die Ozonschicht war im oberen Silur schon soweit ausgebildet, dass sie als Schutzschild vor UV-Strahlung aus dem Weltraum wirkte. Dies war besonders wichtig für den Entwicklungsprozess der Pflanzen.

In der Atmosphäre nahm der Sauerstoffanteil weiter zu mit der Folge einer positiven Auswirkung auf die Pflanzenvielfalt und -größe.

Fossilien aus dem Unterdevon belegen einen weiteren Entwicklungsschritt der Farne: [Nacktfarne](#) (Psilophyten) auch als Urfarne bezeichnet. In diesem Erdzeitalter wurden die Pflanzen bereits bis zu 50 cm groß. (Beispiel: Fossil eines 410 Mio. Jahre alten Farns). Auch Bärlappgewächse sind belegt.

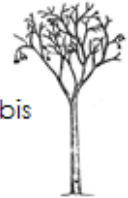
Die Nacktfarne haben ihre Blütezeit im Oberdevon bereits überschritten und wurden von „moderneren“ Pflanzen verdrängt. Farne inklusive Schachtelhalme und Bärlappgewächse beginnen mit dem Größenwachstum, die Pflanzen erreichen ein Höhenwachstum bis zu 15 m. Samenfarne kennzeichnen die Entwicklung von Samenpflanzen, die kein Wasser mehr zur Fortpflanzung benötigen. Die Verbreitung der Samen erfolgt durch den Wind, später auch durch Tiere.



## Das Größenwachstum der Landpflanzen beginnt

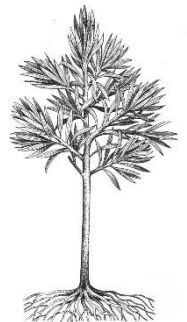
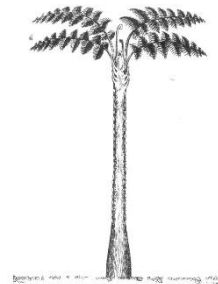
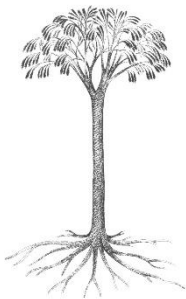
### Farne, Bärlapp-Gewächse und Samenpflanzen

- Unteres Devon  
Psilophyten (Nacktfarne) besiedeln alle Teile der Welt  
*Rhynia* (410 Mio. Jahre), Sprosse ragten bis zu 50 cm auf  
erste Altfarne und Bärlapp-Gewächse
- Oberes Devon  
kaum noch Psilophyten  
baumartige Farn-, Bärlapp- und Schachtelhalmgewächse mit Höhen von bis zu 15 Metern  
erste Farnsamer
- Pflanzen beginnen mit der Besiedlung des Hinterlandes, Verbreitung der Samen über Wind und später auch Tiere
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre erreicht im O-Devon den heutigen Wert von 21%



Evolution der Pflanzen

Die Zeitreise geht weiter ins Karbon. Für das Ruhrgebiet als Folge der Plattentektonik eine tropische Zeit: wir lagen am Äquator. Nachgewiesen sind ausgedehnte Wälder, die mit tropischen Regenwäldern vergleichbar sind. Schuppenbäume, Bärlapp-Bäume, Siegelbäume, Schachtelhalme und Baumfarne bildeten den überwiegenden Teil der Wälder. Mit einem enormen Größenwachstum: Schuppenbäume und Bärlapp-Bäume bis zu 40 m, die anderen bis zu 20 m.



Wälder aus Schuppenbäumen (*Lepidodendron*), Siegelbäumen (*Sigillaria*), Schachtelhalmen (*Calamites*) und Baumfarnen (*Cyatheales*)

Im oberen Karbon zeichnet sich in der Vermehrung die Entwicklungsstufe von Nacktsamern (Gymnospermen) ab. Die Vorfahren unserer heutigen Nadelbäume ([Cordaiten](#)) und Ginkgo-Gewächse. Die Samen sind getrennt-geschlechtlich in Zapfen verschlossen. Es gab und gibt Bäume mit männlichen Zapfen und weibliche Zapfen, aber auch Arten mit weiblichen und männlichen Zapfen.

Ginkgo- Bäume aus dem Karbon sind als Fossil auch in Dortmund nachgewiesen. Wolfgang Rühl hat in seiner Tätigkeit als Vermessungs-Steiger ein besonderes Exponat gefunden.



Ginkgo Fossil aus Dortmund

Der Sauerstoffgehalt in der Atmosphäre stieg im Karbon durch die Photosynthese der Karbon-Waldbäume auf 35 %. Dies hatte auch Auswirkungen auf die Tierwelt: Riesen-Libellen mit bis zu 60 cm Spannweite sind nachgewiesen.

## Erste Nadelwälder

**Wechsel vom Paläophytikum zum Mesophytikum**

- Nadelwälder breiten sich aus und verdrängen die „Farnwälder“  
Ginkgo-Gewächse breiten sich aus
- Glossopteris-Flora in Gondwana („Süd-Kontinent“)  
Samenfarn  
deutliche Jahresringe
- Massensterben am Ende des Perms betraf die Kiefernartigen  
(z.B. Cordaiten)
- Besiedlung des trockenen Hinterlandes schreitet weiter fort
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre: ca. 15%

Evolution der Pflanzen

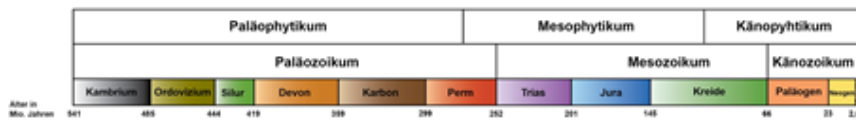
Abbildungen: Voltzia ; Ginkgo: *Trichopitys*, Glossopteris

Mit dem Zeitaltern Perm verlassen wir das Erdmittelalter (Paläozoikum).

Die Einstufung der pflanzlichen Erdzeitalter ist der üblichen geologischen Einstufung voraus, da die Evolution der Pflanzen auf dem Lande der tierischen Evolution vorausgeht.

### Die Evolution der Pflanzen geht der der Tiere voraus

- Erst so wurde die Besiedlung des Festlandes durch die Tiere möglich
- Grundlage für die Evolution der Tiergruppen



Evolution der Pflanzen

**Paläophytikum:** Zeitabschnitt, in dem die Pteridophyta (dt. Gefäßsporenpflanzen) die vorherrschende Klasse der Landpflanzen bildeten

**Mesophytikum:** Zeitabschnitt, in dem die Nacktsamigen Pflanzen (Gymnospermen) die vorherrschenden Pflanzen bildeten.

**Känoophytikum:** Zeitabschnitt, in dem die Bedecktsamigen Pflanzen (Angiospermen) die vorherrschenden Pflanzen bildeten.

**Paläozoikum:** Zeitalter der Wirbellosen und ursprünglichen Wirbeltiere (Amphibien, frühe Reptilien)

**Mesozoikum:** Zeitalter der modernen Wirbeltiere (Saurier - höherentwickelte Reptilien, moderne Amphibien, Vögel und Säugetiere)

**Känozoikum:** Zeitalter der Säugetiere

In den Jahrmillionen des Perms verdrängten die Nadelwälder die Farnwälder. Auch die Ginkgo-Gewächse breiten sich auf der ganzen Erde aus. Zu erwähnen die auf den Südkontinenten entwickelte Glossopteris-Fauna (Farnsamer-Fauna). Diese Fauna nutzte Alfred Wegener unter anderem zum Nachweis der Kontinentaldrift.



Am Ende des Perm setzte ein Massensterben ein. 90 % der Tier- und Pflanzenarten starben ab.

Aber die Evolution sorgt für eine Erholung. Auch das Hinterland wird weiter besiedelt. Das Massensterben hat dafür gesorgt, dass der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre wieder gesunken ist.

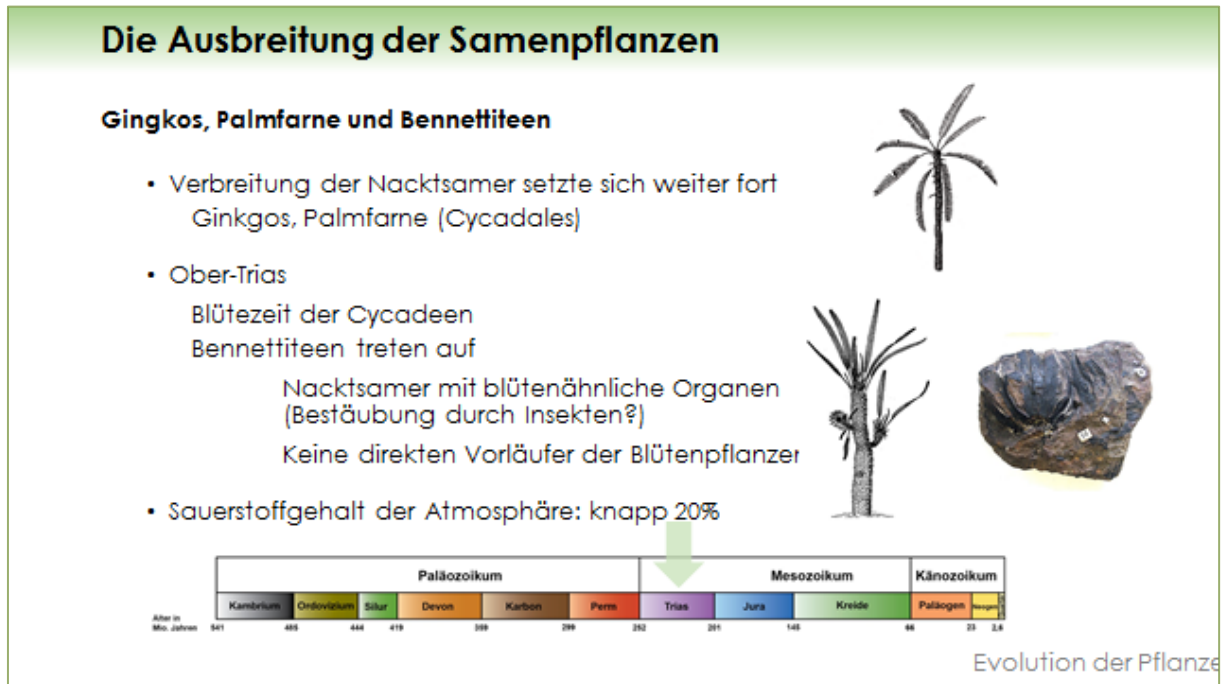


Abb.

- *Leptocycas gracilis* (O-Trias)

- Bennettiales, Skizze und fossile, blütenähnliche Struktur

Bennettiales: Trias-Kreide, Ähnlichkeiten mit Palmfarne und Bedecktsamern – Systematik nicht eindeutig geklärt

In der Trias breiten sich die Samenpflanzen weiter aus. Überwiegend Nacktsamer. Nadelbäume mit Zapfen, auch Ginkgo und Palm-Farne. Es entwickeln sich aber auch Vorläufer der Bedecktsamer. Eine Pflanze mit blütenähnlichen Organen, es waren aber nicht die ersten Blütenpflanzen. Diese Pflanzenlinie ist im Zuge der Evolution bis zum Jura ausgestorben.

Zum Ende der Trias hat sich der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre wieder erholt.

In der Jura-Zeit sind die Nadelwälder noch ausgeprägte und vielfältiger. Zypressen, Kiefern, Mammutbäume, Araukarien, Aber auch Ginkgo, Schachtelhalm, Palmfarne etc.

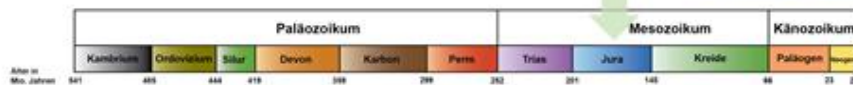
## Die ersten Blütenpflanzen

### Zunächst noch ausgedehnte Nadelwälder

- Zypressen (Mammutbaum), Araukarien, Kiefern aber auch Ginkgogewächse, Palmfarne und Schmalme
- Ober-Jura  
erste aquatische Angiospermen (Bedecktsamer; Blütenpflanzen)  
*Montsechia vidalii*, 130 Mio. Jahre



- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre: ca. 26%



Evolution der Pflanzen

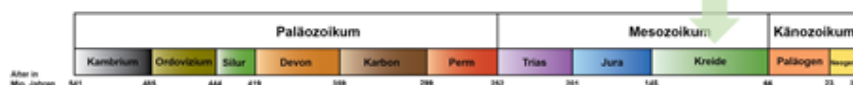
Im oberen Jura ist der Sprung zu den Bedecktsamern (Angiospermen) gelungen. Blütenpflanzen entwickeln sich. Die Samen sind nicht mehr durch Zapfen geschützt, sondern entwickeln sich in der Blüte.

Der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre steigt auf 26 %.

## Strauchige Blütenpflanzen und Laubbäume

### Wechsel vom Mesophytikum zum Känophytikum

- Unterkreide  
strauchige Blütenpflanzen
- Oberkreide  
Laubbäume treten erstmals und verbreiten sich schnell  
erste Gräser
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre: ca. 26%



Evolution der Pflanzen

Die Unter-Kreide ist geprägt durch kleinere Pflanzen, die Oberkreide durch größere Pflanzen. Laubbäume und die ersten Gräser entwickeln sich, davon haben die Dinosaurier noch profitiert.

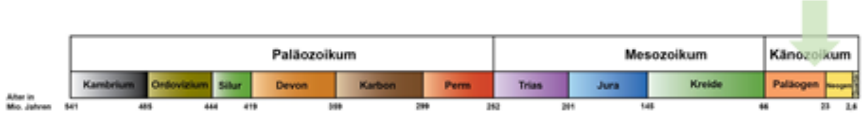
Die Erdneuzeit (Känozoikum) mit Paläogen, Neogen, Quartär ist erreicht. Die Bezeichnung „Tertiär“ wird seit 2004 nicht mehr verwendet. Ebenso wurde ursprünglich der Begriff „Quartär“ aus der Geologischen Zeitskala gestrichen, jedoch nach heftigen Diskussionen durch die International Stratigraphic Chart 2008 wieder eingeführt.

In der Erdneuzeit passen sich die Pflanzen an die verschiedenen Klima- und Bodenzonen an. Die Flora in dieser Zeit ist mit der heutigen vergleichbar, mit ständigen Anpassungen an die Kalt- und Warmzeiten. Im Paläogen wuchsen überwiegend noch Nadelbäume, die Laubbäume lösten diese aber immer mehr ab.

## Radiation der Pflanzen

### Anpassung an die verschiedenen Klima- und Bodenzonen

- Paläogen, Neogen und Quartär  
Flora gleicht weitestgehend der heutigen  
häufiger Wechsel von Warm- und Kaltzeiten führt zu ständigen Anpassungen an die Klimabedingungen  
  
Im Paläogen und Neogen überwiegend Nadelwälder  
Während der Eiszeiten des Quartärs starker Rückgang der Vegetation, vorherrschend gehölzärmer Bewuchs
- Sauerstoffgehalt der Atmosphäre: ca. 21%



Älter in Mio. Jahren	Paläozoikum	Mesozoikum	Känozoikum
541	Kambrium		
444	Ordovizium		
419	Silur		
359	Devon		
299	Karbon		
252	Perm		
201		Trias	
145		Jura	
66		Kreide	
23			Paläogen
2,8			Neogen

Evolution der Pflanzen

Der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre war in der gesamten Erdneuzeit in etwa so hoch wie heute.

Mit dem Fazit, dass die Evolution der Pflanzen die Evolution der Tiere auf dem Festland erst ermöglicht hat, schloss Sylvia Rückheim ihren Vortrag ab.

Von dem im Anschluss gestellten Fragen und Bemerkungen sind 2 hier besonders erwähnt:

1.

Ehepaar Schuppert verwies auf die vielfältige Mineralien- und Fossilienwelt in den Steinbrüchen unserer Region:

Zum Beispiel in Wuppertal-Wülfrath. Abgebaut wird Massenkalk aus dem Devon. Lange vor der Kohle des Karbons im damals hier herrschenden Meer abgelagert. In den Steinbrüchen wären Fossilien und wunderschöne Calcit- Stufen (auch noch andere Mineralien) zu finden. Aber die Steinbrüche sind zu! Vor einigen Jahren gab es in einem Steinbruch einen tödlichen Unfall. Ein Gericht sprach dem Steinbruchbesitzer die Schuld zu. Mit der Folge: Man kommt nur noch in Ausnahmefällen oder illegal in deutsche Steinbrüche. In einem stillgelegten Steinbruch in Wülfrath ist aber eine Museumsstrecke eingerichtet worden: <http://www.wuelfrath.net/kultur-tourismus/museen-ausstellungen/zeittunnel/der-zeittunnel/> . Der Besuch lohnt sich. Ein Video eines in Betrieb befindlichen Steinbruches in Wülfrath: <https://www.youtube.com/watch?v=hBj5JtWDOhQ> .

Auch an anderer Stelle in NRW ist Massenkalk des Devons zu sehen: In Hagen-Haspe. Auch in diesen Steinbruch kommt man nur noch mit Empfehlung rein. **Der Förderverein lädt nicht ohne Grund zu Exkursionen in diese Steinbrüche ein.**

Besonders interessant: In einem stillgelegten Ziegelei-Bruch in Hagen-Haspe sind Riesen-Libellen gefunden worden. Im Museum [Werdringen](#) sind viele Exponate aus diesem Steinbruch ausgestellt.

2.

Eine Frage blieb offen: Haben sich Pilze (die weder den Tieren noch den Pflanzen zugeordnet werden) auch im Wasser entwickelt oder im Zuge der pflanzlichen Evolution an Land. Die Frage blieb offen. Die Internetseite <http://www.oekosystem-erde.de/html/leben-04.html> legt sich nicht fest.

Wikipedia legt sich unter dem Stichwort [Pilze](#) dagegen fest:

„

## ***Evolution***

*Der gemeinsame Vorfahre der Pilze und der Tiere war wahrscheinlich ein [begeißelter](#) Einzeller, der vor rund einer Milliarde Jahren gelebt hat. Während die große Mehrheit der heute lebenden Pilze keine Geißeln mehr ausbildet, treten bei der Fortpflanzung der [Flagellatenpilze](#) noch begeißelte Sporen oder Gameten auf. Wahrscheinlich verließen die Pilze schon vor den Pflanzen das Wasser und besiedelten das Land. Da die frühesten bekannten Landpflanzen noch keine richtigen Wurzeln hatten, aber offenbar in Symbiose mit Arbuskulären Mykorrhizapilzen lebten, nimmt man an, dass der Landgang der Pflanzen erst durch diese Pilze ermöglicht wurde*

„