



Doctoral Thesis

Sauerstofftransport im Boden

Author(s):

Flühler, Hannes

Publication Date:

1972

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000093965> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. Nr. 4950

SAUERSTOFFTRANSPORT IM BODEN

Abhandlung
zur Erlangung des Titels eines
Doktors der Technischen Wissenschaften

der

EIDGENOESSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE

ZUERICH

vorgelegt von
Johannes F l ü h l e r
dipl. Forsting. ETH
geboren am 4. Dezember 1941
von Oberdorf (NW) und Zürich

1972

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. F. Richard, Referent

Prof. Dr. N. Ibl, Korreferent

Zusammenfassung

Die Diffusion und damit der Austausch von Gasen im Boden ist eng mit dem entwässerten Porenvolumen f verknüpft.

Am Beispiel der Sauerstoffdiffusion werden einige Zusammenhänge zwischen dem Wasserhaushalt und der Bodendurchlüftung dargestellt. Vier voneinander abhängige Variable bestimmen die Gasdiffusion:

1. Diffusionskoeffizient D bzw. Leitfähigkeit K : D und K charakterisieren die Durchlässigkeit des dreiphasigen Systems Boden-Wasser-Luft für frei diffundierende Gasmoleküle.
2. Gradient des Partialdruckes $\text{grad } p$ bzw. der Konzentration $\text{grad } c$: Der Gradient ist die treibende Kraft der Diffusion.
3. Fluss n : Die pro Zeiteinheit senkrecht durch den Einheitsquerschnitt transportierte Gasmenge ist von D und $\text{grad } c$ (1. Fick'sches Gesetz) bzw. von K und $\text{grad } p$ (allg. stationäre Transportgleichung) abhängig.
4. Senken- und Quellenstärke I : Gasmenge, welche pro Zeiteinheit in einem bestimmten Volumenelement gebunden bzw. freigesetzt wird. I entspricht der Summe aller in das Volumenelement eintretenden (+) bzw. austretenden (-) Flüsse n .

Diese vier Variablen sind ortsabhängig. Sie können über Distanzen von wenigen Millimetern erheblich verschieden sein.

Diffusionsvorgänge im Mikrobereich, wie beispielsweise in und um feine Wurzelhaare, in Bodenaggregaten und wenig entwässerten Feinporen, sind ökologisch gesehen vermutlich ebenso entscheidend wie die Diffusionsvorgänge im Makrobereich, also in der horizont- oder profilumfassend zusammenhängenden Gasphasen des Porensystems. In dieser Arbeit versuchen wir die Größenordnung der vier genannten Variablen im "Makrobereich" des Boden zu erfassen.

Im 1. Teil werden die Grundlagen der gegenseitigen Abhängigkeit der vier Variablen dargestellt. Anhand der Daten aus einer Untersuchung von Kristensen (1964) berechnete ich die O_2 -Senken und CO_2 -Quellen bzw. die Flusse im Einflussbereich eines Wasserspiegels. Die Leitfähigkeiten K für Gase sind im Bereich des Kapillarsaumes soweit reduziert, dass die Atmung der Mikroorganismen zu einem wesentlichen Teil anaerob wird.

Gegenstand des 2. Teils ist eine Untersuchung der Bodendurchlüftung in einem dichten Rissmoräneboden (Pseudogley) eines Weisstannenstandortes. Der in verschiedenen Bodentiefen gemessene Sauerstoffpartialdruck pO_2 zeigt eine enge Abhängigkeit vom entwässerten Porenvolumen f . Der Sauerstoffpartialdruck pO_2 begann erst dann zu sinken, wenn das entwässerte Porenvolumen f den Wert von $6\%_v$ (Volumenprozent) unterschritt. Auf Grund der Ergebnisse der Diffusionsmessungen an Bodenproben (3. Teil) beträgt der relative,

scheinbare Diffusionskoeffizient $\frac{D_P}{D_L}$ bei diesem Luftvolumenanteil zwischen 0,005 bis 0,01. Diffusionskoeffizienten in dieser Grössenordnung wirkten sich auch in anderen Untersuchungen auf das Pflanzenwachstum (Grable 1968) kritisch aus. Es braucht im Boden offenbar von der Gasphase nur wenige Volumenprozent, um eine annähernd normale bis gute Durchlüftung zu gewährleisten.

An acht verschiedenen Bodenmaterialien wurde der Zusammenhang zwischen dem entwässerten Porenvolumen und den Diffusionskoeffizienten D bzw. der Leitfähigkeit K untersucht. Im 3. Teil sind die Ergebnisse der einzelnen Messungen zusammengestellt und interpretiert. Da der Diffusionskoeffizient bzw. die Strukturindices verschieden definiert werden können, wurde die Ergebnisse in Tab. 3.2 verschieden ausgedrückt. Damit können diese Ergebnisse mit Daten aus anderen Untersuchungen verglichen werden. Die meisten Messungen wurden bei Luftvolumenanteilen von weniger als 15 %_v ausgeführt. Bei stark entwässerten Bodenproben ($f > 10\%_v$) war die Beziehung zwischen dem Diffusionskoeffizienten D und dem Luftvolumenanteil f relativ eng, bei hohen Wassersättigungsgraden ($f < 6\%_v$) jedoch sehr weit. Bei einem entwässerten Porenvolumen von etwa 3-4 %_v kann die Leitfähigkeit um den Faktor 10'000 variieren. Die Streuung von K bzw. D ist in diesem Luftvolumenbereich ausgesprochen gross, die Durchlüftung im wenig entwässerten Boden also sehr inhomogen.

In wenig entwässerten Bodenproben ist der Diffusionskoeffizient D bzw. die Leitfähigkeit K von Sauerstoff weitgehend von der Anordnung der Gasphase, d.h. von der Kontinuität der luftgefüllten Poren abhängig. Die bei bestimmten Luftvolumenanteilen f gemessenen Leitfähigkeiten K wurden zwei verschieden berechneten Leitfähigkeiten gegenübergestellt, die auf idealisierten Porenmodellen beruhen. Diese Gegenüberstellung wurde in Form eines Indexes PK "Porenkontinuität" quantifiziert.

Im 4. Teil werden folgende Methoden beschrieben:

1. Methoden für die Messung von Diffusionskoeffizienten an Bodenproben. Die Methode von Currie (1960a) wurde modifiziert, damit der Messbereich für die Bestimmung von D nach unten vergrößert werden konnte.
2. Die Messung des Sauerstoffpartialdruckes pO_2 im natürlich gelagerten Boden beruht auf dem Diffusionsgleichgewicht zwischen einer Messkammer und ihrer Bodenumgebung ("Diffusion-equilibrium method" nach Taylor (1952)).
3. Für die Wartung des frostsicheren Tensiometers nach Strebel (1970) wird eine Technik beschrieben, mit der im geschlossenen Tensiometer kontrolliert werden kann, ob der Wasser-Dekalin-Meniskus unterhalb eine kritische Minimalhöhe gesunken ist.