

УДК 631.421.1«746»: [631.442.1:631.452]

DAUERFELDVERSUCHE ALS FORSCHUNGSBASIS FÜR DIE FRUCHTBARKEIT SANDIGER BÖDEN

FRANK ELLMER, THOMAS GÄBERT & MICHAEL BAUMECKER

(Humboldt-Universität zu Berlin, Landwirtschaftlich-Gärtnerische Fakultät)

Die Dauerfeldversuche der Humboldt-Universität zu Berlin wurden zwischen 1923 und 1969 angelegt und sind heute eine wichtige Forschungsbasis zur Fruchtbarkeit von Sandböden, mit der vielfältige ackerbauliche Fragestellungen bearbeitet werden können. Aus den einzelnen Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden: hohe Getreideanteile in den Fruchtfolgen wirken sich nicht negativ auf die Bodenfruchtbarkeit aus und stabilisieren den Humushaushalt von Sandböden; die Bodenbearbeitung sollte auf Sandböden flach erfolgen. Dies führt zur Humusanreicherung in der Ackerkrume und zu einer besseren Bodenstruktur bis in den Unterboden; Voraussetzung für ausreichende Humus- und Nährstoffvorräte ist auf Sandböden die kombinierte organisch-mineralische Düngung. Defizite an organischer Substanz oder einzelnen Nährstoffen bewirken starke Ertragsminderungen im Pflanzenbau; fortgesetzte Beregung erhöht tendenziell den Humusgehalt und den pH-Wert des Bodens; der Klimawandel beeinflusst die Entwicklung des Humusgehaltes und kann zur Verminderung der Bodenfruchtbarkeit führen. Dauerfeldversuche sind im Gesamtkonzept einer zukunftsorientierten ackerbaulichen Forschung unverzichtbar und müssen erhalten sowie intensiv wissenschaftlich genutzt werden.

Schlüsselwörter: dauerfeldversuche, organische Bodensubstanz, Bodenstruktur, Nährstoffhaushalt, Beregung.

ДЛИТЕЛЬНЫЕ ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ КАК ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ БАЗИС ПЛОДОРОДИЯ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ

ФРАНК ЭЛЛЬМЕР

(Университет имени Гумбольда, Германия)

В серии длительных (41—88 лет) полевых опытах Берлинского университета имени Гумбольда (Германия) исследовано влияние ведущих земледельческих факторов (обработки почвы, удобрений, известкования и орошения) и их сочетаний на плодородие песчаных почв, преобладающих в северо-восточной части Германии. Современными методами определены содержание агрофизических, физико-химических и агрохимических параметров почвы и оценены ряды многолетней динамики. Сделано заключение об исключительной важности длительных полевых опытов для исследований по проблемам земледелия, позволивших установить положительное влияние мелкой обработки почвы, комбинированной системы удобрения и орошения на показатели плодородия песчаных почв.

Ключевые слова: длительные полевые опыты, органическое вещество почвы, сложные почвы, пищевой режим, орошение.

Einleitung

Die Fruchtbarkeit der heute ackerbaulich genutzten Böden ist die Grundlage für ihre effiziente Nutzung zur Erzeugung von Nahrungsmitteln für die Humanernährung, von Futter für Nutztiere, von pflanzlichen Rohstoffen sowie in zunehmendem Maße auch für die Gewinnung von regenerativer Energie. Wir verstehen darunter den Anteil des Bodens am Ertrag von Nutzpflanzen, der sich auf die physiologische, phytosanitäre und technologische Funktion von Böden gründet und durch ihre physikalischen, chemischen und biologischen Zustandsgrößen determiniert wird (Abb. 1).

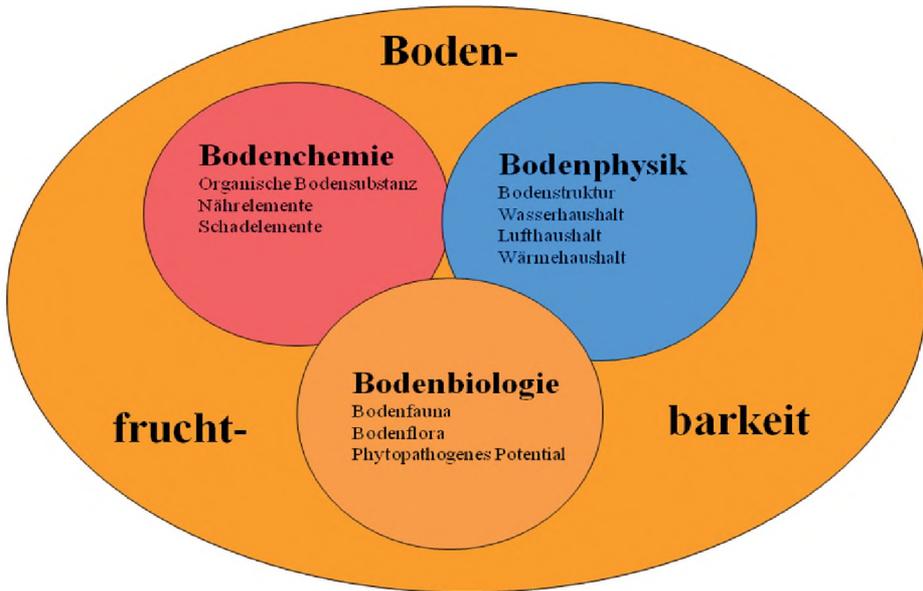


Abbildung 1. Bodenfruchtbarkeit als Funktion bodenphysikalischer, bodenchemischer und bodenbiologischer Zustandsgrößen

Der Fruchtbarkeitszustand von Ackerböden wird einerseits durch ihre geologische Herkunft und Beschaffenheit geprägt, andererseits aber auch in hohem Maße durch die ackerbaulichen Eingriffe selbst bestimmt. Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung, Be- und Entwässerung sowie Maßnahmen des Pflanzenschutzes können dynamische Prozesse auslösen, welchen den Fruchtbarkeitszustand in mehr oder minder weiten Bereichen beeinflussen. Diese Entwicklungen vollziehen sich allmählich und über längere Zeiträume, so dass sich Richtung und Ergebnisse erst nach Jahren, manchmal erst nach Jahrzehnten erkennen und sicher beurteilen lassen. Aus diesem Grund sind in der ackerbaulichen Forschung neben kurzfristigen Experimenten zur Weiterentwicklung der Agrotechnik auch Feldversuche erforderlich, die über längere Zeiträume unverändert durchgeführt werden, um über die Zeit die Entwicklungen im System Boden beobachten und quantifizieren zu können (Southwood 1994; Köpke et al. 2006).

In Deutschland werden 11,9 Mio ha Ackerland bewirtschaftet. Davon sind etwa ein Drittel sandige Böden, die von Natur aus wenig fruchtbar sind. Sie zeichnen sich durch hohe Gehalte von Sand und zum Teil Schluff, demgegenüber aber niedrige Anteile von

Ton aus. Der Gehalt an organischer Bodensubstanz liegt vielfach nicht höher als 1 %. Dies bedingt geringe Wasser- und Nährstoffspeicherfähigkeit, Neigung zu Bodenverdichtung sowie zu rascher Bodenversauerung. Damit können auch Bodenerosion durch Wasser und Wind sowie Umweltbelastungen infolge von Nährstoffauswaschung und gasförmigen Emissionen, z.B. in Form von N_2O verbunden sein.

Die Humboldt-Universität zu Berlin befindet sich im nordostdeutschen Tiefland, welches überwiegend durch sandige Böden geprägt wird. Durch die wissenschaftliche Tätigkeit unserer Vorfahren verfügen wir heute über sieben Dauerfeldversuche, die zwischen 1923 und 1969 begründet wurden und somit 43 bis 90 Jahre ackerbaulicher Tätigkeit überspannen. In ihnen werden verschiedene agronomische Faktoren entweder einzeln oder in Kombination mit anderen hinsichtlich ihres Einflusses auf Boden und Pflanzen untersucht. Dazu gehören Fruchtfolgen, Bodenbearbeitung, organische und mineralische Düngung sowie die Zusatzbewässerung.

Dauerfeldversuche der Humboldt-Universität zu Berlin

Die Dauerfeldversuche der Humboldt-Universität zu Berlin befinden sich im südwestlichen Stadtgebiet von Berlin sowie im südlichen Berliner Umland. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse dargestellt.

Stattischer Versuch Bodennutzung Berlin-Dahlem (1923)

In Berlin-Dahlem wurde im Jahr 1923 auf einem schluffigen Sandboden von Kurt Opitz (1877-1958) ein Feldversuch angelegt, mit dem die Wirkung von Phosphor- und Kalkdüngung bei verschiedenen tiefer Bodenbearbeitung überprüft werden sollte. Im Jahr 2012 wird somit die 90. Erate eingebracht. Über die lange Laufzeit dieses Experimentes haben sich starke Differenzierungen des Bodenzustandes ergeben. Von besonderem Interesse ist dabei der Faktor Bodenbearbeitung. KURT OPITZ hat 1923 zwei verschiedene Tiefen der Bearbeitung mit dem Pflug eingerichtet: 17 cm (flach) und 28 cm (tief). Diese wurden in der gesamten Versuchszeit nicht verändert, so dass sich stabile Gleichgewichte bei bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften in der Ackerkrume eingestellt haben (tabl. 1).

Tabelle 1

Bodenchemische und bodenphysikalische Parameter bei verschieden tiefer Bodenbearbeitung (Oberkrume, 0-15 cm)*

Tiefe der Bodenbearbeitung	C_{org} (mg 100 g ⁻¹)	P_{DL} (mg 100 g ⁻¹)	PH	TRD ²⁾ (g cm ⁻³)
Flach (17 cm)	902	11,9	6,0	1,68
Tief (28 cm)	672	10,4	6,0	1,76

* C_{org} , P_{DL} , K_{DL} : Mittel 2009-2011;²⁾ Trockenrohdichte 2006.

Die unterschiedlich tiefe Pflugbearbeitung hat auch das Bodengefüge bis in den Unterboden verändert. Das kann man am Durchdringungswiderstand feststellen, der mit einer elektronisch registrierenden Sonde in der Bodentiefe bis 80 cm gemessen wird.

Bei dauerhaft flachem Pflügen ist der Strukturaufbau weniger durch Verdichtungszone gestört als in der Variante mit tiefem Pflügen. Aus diesen Ergebnissen kann abgeleitet werden, dass flache Bodenbearbeitung auf Dauer die Fruchtbarkeit des Sandbodens verbessert.

*Statischer Nährstoffmangelversuch Thyröw
" (1938)*

Die Dauerversuche am Standort Thyröw wurden ab 1937 vom KURT OPITZ und seinen Nachfolgern angelegt und haben damit eine Laufzeit von bis zu 75 Jahren. Der Boden ist schwach schluffiger Sand mit folgenden mittleren Eigenschaften: Tongehalt 3% organischer Kohlenstoffgehalt 0,6%, nutzbare Feldkapazität 11,3 mm dm⁻¹.

Der älteste Versuch ist der Statische Nährstoffmangelversuch, den KURT OPITZ im Jahr 1937 begründete. Es ist ein einfaktorielles Düngungsversuch, mit dem die Wirkung verschiedener organischer und mineralischer Düngung auf Boden und Pflanzen untersucht wird. Er ist inhaltlich an die klassischen Versuche in Rothamstead (UK, 1843), Halle/Saale (D, 1871) und Moskau (RUS, 1912) angelehnt. Die acht Prüfglieder beinhalten eine ungedüngte Kontrolle, Stallmistdüngung, Stallmist- und Mineraldüngung sowie verschiedene Mangelvarianten. Der aktuelle bodenchemische Zustand weist große Differenzen in allen Parametern auf (Tabl. 2).

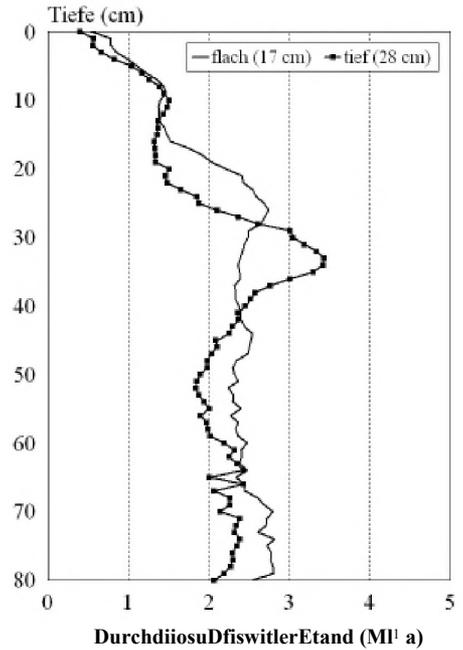


Abbildung 2. Durchdringungswiderstand des Bodens nach langjährig flacher und tiefer Pflugfurche

Table 2

Bodenchemischer Zustand nach langjährig differenzierter Düngung eines schwach schluffigen Sandbodens (Statischer Nährstoffmangelversuch Thyröw)*

Prüfglieder	C _{org} (mg 100 g ⁻¹)	P _{DL} (mg 100 g ⁻¹)	K _{DL} (mg 100 g ⁻¹)	pH _{CaCl}
Kontrolle	366	5,2	3,0	4,4
Stallmist	557	8,2	7,1	4,7
Stallmist, NPK, Kalk	660	14,3	14,9	5,9
NPK, Kalk	411	8,7	11,3	5,9
NPK	438	8,1	8,1	4,3
NP-, Kalk	374	8,7	3,1	5,7
N-K, Kalk	391	3,9	11,8	6,3
-PK, Kalk	348	12,1	15,5	6,3

* C_{org}: 2001-2006; P_{DL}, K_{DL} pH: 2001-2010.

Die Erträge der Fruchtarten in der Fruchtfolge Kartoffeln-Sommergerste-Silomais-Sommergerste werden durch den Bodenzustand stark beeinflusst und variieren um bis zu 125% (Abb. 3).

In diesem Versuch liegen außerdem seit 1965 kontinuierliche Untersuchungen des Gehalts an organischem Kohlenstoff vor. Damit kann die Entwicklung dieses für Fruchtbarkeit des Sandbodens essentiellen Parameters verfolgt werden (Abb. 4).

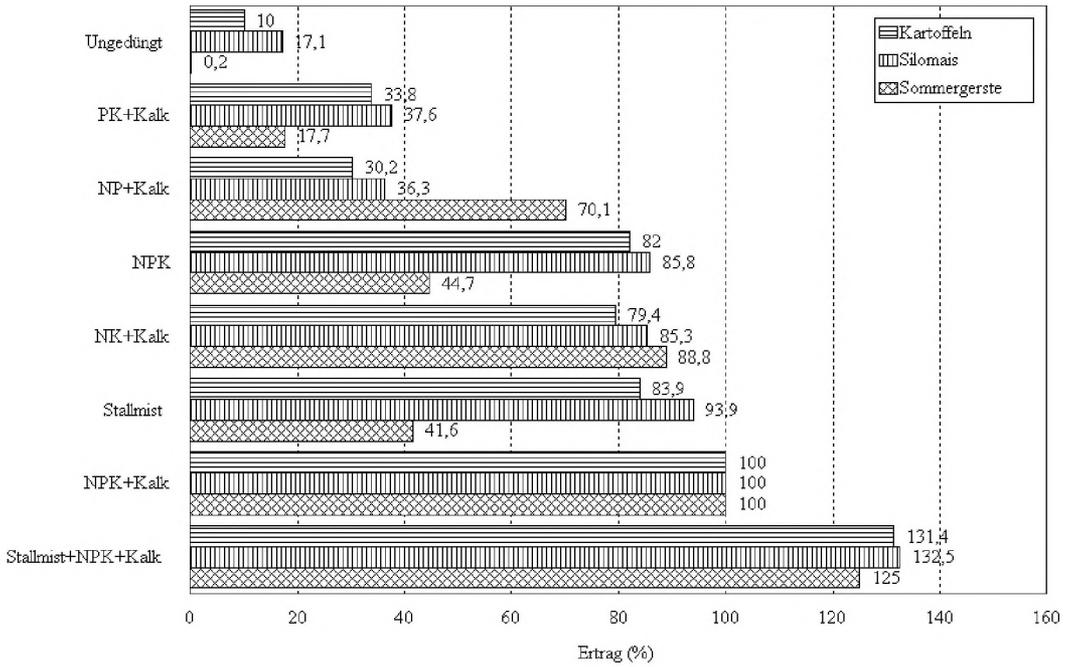


Abbildung 3. Relativerträge von Kartoffeln, Silomais und Sommergerste im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow (Mittel 1991-2010; n. Baumecker et al. 2002, ergänzt durch Gäbert et a 2011). Erträge in der Variante NPK+Kalk (100%): Kartoffeln 276,5 dt ha⁻¹ FM, Silomais 77,7 dt ha⁻¹ TM, Sommergerste 22,9 dt ha⁻¹ bei 86% TS

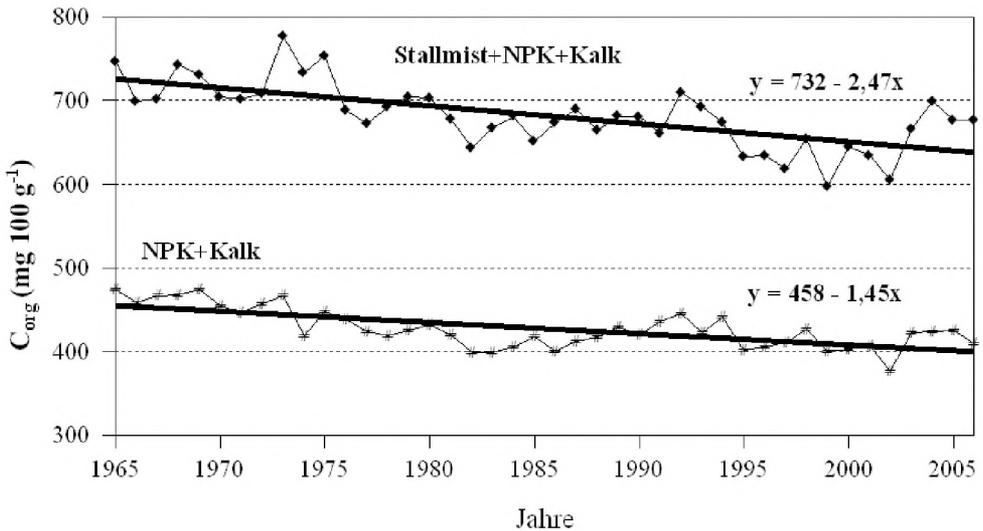


Abbildung 4. Entwicklung des C_{org}-Gehaltes im Statischen Nährstoffmangelversuch Thyrow (1965-2006)

Die Ergebnisse zeigen eine dynamische Entwicklung mit fallender Tendenz. Untersuchungen zum Einfluss der Luft- und Bodentemperaturen haben gezeigt, dass es einen engen Zusammenhang zwischen der Anzahl von Tagen mit einer Lufttemperatur $>6^{\circ}\text{C}$ und dem Kohlenstoffgehalt des Bodens gibt (Ellmer et al. 2000; Baumecker et al. 2002).

Aus den Ergebnissen des Statischen Nährstoffmangelversuches ist abzuleiten, dass zum nachhaltigen Erhalt der Bodenfruchtbarkeit des Sandbodens die Kombination von organischer und mineralischer Düngung erforderlich ist. Die Veränderung der klimatischen Bedingungen mit steigenden Temperaturen beeinflusst den Humushaushalt des Bodens und kann zur Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit führen.

Statischer Fruchtfolge- und Düngungsversuch Thyrow (1973)

Zu Aspekten der Fruchtfolge gibt es am Standort Thyrow den Statischen Fruchtfolge- und Düngungsversuch, der 1973 von ERWIN SCHNIEDER angelegt worden ist. In ihm wird untersucht, wie sich Fruchtfolgen mit 50%, 75 % und 100% Getreideanteil in Kombination mit verschiedenen Düngungsstrategien auf Boden und Pflanzen auswirken. Die Ergebnisse dieses Experimentes zeigen, dass zunehmende Getreideanteile den bodenchemischen Zustand nicht beeinträchtigen, sondern eine Stabilisierung des Gehalts anorganischer Bodensubstanz bewirken (abb. 4)..

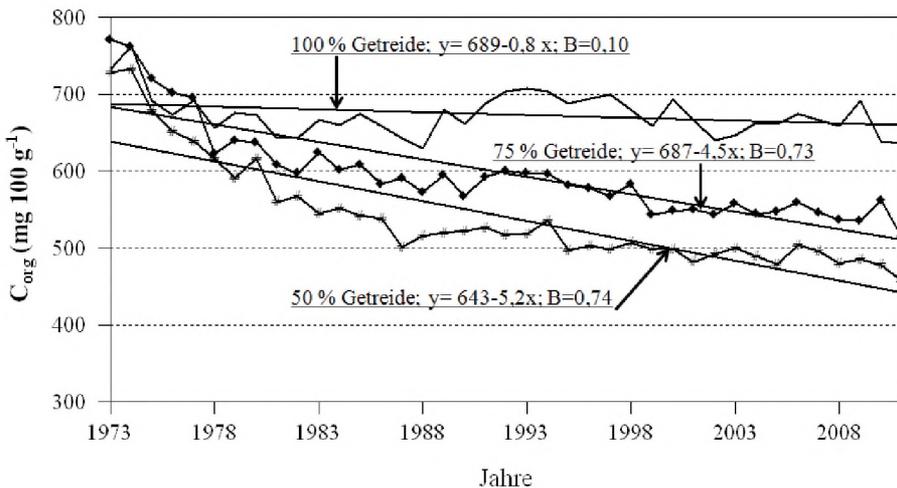


Abbildung 4. Entwicklung des C_{org} -Gehalts im Statischen Fruchtfolge- und Düngungsversuch Thyrow (1973-2011)

Der Anbau von Hackfrüchten wie Kartoffeln und Mais führt auf dem Sandboden zu stärkerem Humusabbau. Demgegenüber bewirkt ausschließlicher Getreideanbau infolge des Hinterlassens größerer Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen sowie geringerer Mineralisierung einen gleichbleibenden Humusspiegel. Dies zeigt, dass frühere Auffassungen zur Wirkung des Getreidebaus auf die Bodenfruchtbarkeit relativiert werden müssen. Mit den heute erreichten hohen Erträgen von durchschnittlich mehr als 5 t ha^{-1} sind auch auf Sandböden größere Rückstandsmengen verbunden, so dass das Getreide hinsichtlich der Humusreproduktion neu bewertet werden muss.

Statischer Beregnungs- und Düngungsversuch Thyrow (1969)

Die Sandböden sind aufgrund ihrer geringen Wasserspeicherfähigkeit auch prädestinierte Standorte für die Zusatzbewässerung. In Nordostdeutschland kommt hinzu, dass die Niederschläge mit durchschnittlich 500 bis 550 mm pro Jahr vergleichsweise gering und zudem regelmäßig ungleich im Jahr verteilt sind. Dabei wirken sich Trockenphasen zwischen April und Juni besonders negativ auf die Ertragsbildung aus. In Thyrow steht in diesem Zusammenhang seit 1969 der Statische Beregnungs- und Düngungsversuch zur Verfügung. In der Faichtfolge Knautgras-Kartoffeln-Winterweizen-Winterraps-Winterroggen wird die Wirkung von Zusatzbewässerung in Kombination mit verschiedener organisch-mineralischer Düngung auf Boden und Pflanzen geprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass langjährige Beregnung die Bodenfruchtbarkeit tendenziell verbessert (tabl. 3).

Tabelle 3

Bodenparameter nach langjährig verschiedener Wasserversorgung und Düngung eines schwach schluffigen Sandbodens (Statischer Beregnungs- und Düngungsversuch Thyrow*

Prüfglieder	C _{org} (mg 100 g ⁻¹)	P _{DL} (mg 100 g ⁻¹)	K _{DL} (mg 100 g ⁻¹)	pH _{CaCl}
Unberechnet, 0 kg ha ⁻¹ N	521	8,8	7,6	5,8
Unberechnet, 120 kg ha ⁻¹ N	627			
Berechnet, 0 kg ha ⁻¹ N	565	10,7	7,4	6,3
Berechnet, 120 kg ha ⁻¹ N	659			

* C_{org}: 2006; P_{DL}, K_{DL}, pH: 2009.

Langjährige Beregnung führt auf dem Sandboden zu einer tendenziellen Zunahme des Gehalts an organischem Kohlenstoff. Ursache dafür sind die größeren Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen, die mit den höheren Erträgen vor allem bei Knautgras und Getreide verbunden sind. Mit dem aus einer Tiefe von 12 m geförderten Beregnungswasser gelangt zusätzlich Kalk in den Boden, so dass der pH-Wert um 0,5 Einheiten erhöht wurde.

Zusammenfassung

Die Dauerfeldversuche der Humboldt-Universität zu Berlin wurden zwischen 1923 und 1969 angelegt und sind heute eine wichtige Forschungsbasis zur Fruchtbarkeit von Sandböden, mit der vielfältige ackerbauliche Fragestellungen bearbeitet werden können. Aus den einzelnen Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Hohe Getreideanteile in den Faichtfolgen wirken sich nicht negativ auf die Bodenfruchtbarkeit aus und stabilisieren den Humushaushalt von Sandböden.
- Die Bodenbearbeitung sollte auf Sandböden flach erfolgen. Dies führt zur Humusanreicherung in der Ackerkrume und zu einer besseren Bodenstruktur bis in den Unterboden.
- Voraussetzung für ausreichende Humus- und Nährstoffvorräte ist auf Sandböden die kombinierte organisch-mineralische Düngung. Defizite an organischer Substanz oder einzelnen Nährstoffen bewirken starke Ertragsminderungen im Pflanzenbau.

- Fortgesetzte Beregnung erhöht tendenziell den Humusgehalt und den pH-Wert des Bodens.
- Der Klimawandel beeinflusst die Entwicklung des Humusgehaltes und kann zur Verminderung der Bodenfruchtbarkeit führen.

Dauerfeldversuche sind im Gesamtkonzept einer zukunftsorientierten ackerbaulichen Forschung unverzichtbar und müssen erhalten sowie intensiv wissenschaftlich genutzt werden.

Literatur

1. *Baumecker M., Ellmer F., Chmielewski F.-M.* Langfristige Entwicklung der Humusgehalte eines Sandbodens unter dem Einfluss von EKingung und Klima. Arch. Acker- Pfl. Boden., 2002. 48. 533-542.
2. *Ellmer F., Peschke H., Köhn W., Chmielewski F.-M., Baumecker M.* Tillage and fertilizing effects on sandy soils. Review and selected results of long-term experiments at Humboldt-University Berlin. J. Plant Nutr. Soll Sei., 2000. 163. 267-272.
3. *Ellmer F.* Dauerfeldversuche in Deutschland - Übersicht und Forschungspotentiale. In: Böden im Klimawandel - Was tun? UBATexte, 2008. 25/08. 225-234.
4. Unter: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3495.pdf> (06.08.2008).
5. *Gäbert Th., Baumecker M., Ellmer F.* Der Statische Nährstoffmangelversuch Thyrow. Sommertagung der AG Agrar- und Produktionsökologie in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften e.V. 23./24.06.2011. Humboldt-Universität zu Berlin, 2011.
6. http://www.agrar.hu-berlin.de/struktur/ze/freiland/thyrow/dau_versuch/d-4-gaeb.pdf.
7. *Köpke U., Dahn Ch., Täufer F., Zaller JG.* Soil fertility in a long-term field experiment with organic and biodynamic farmyard manure amendment. In: Long-term Field Experiments in Organic Farming. Verl. Dr. Köster Berlin, 2006. 33^40.
8. *Southwood T.R.E.* The importance of Long-term Experimentation. In: Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences, 1994. CAB International Wallingford/UK. 3-8.

LONG-TERM FIELD EXPERIMENTS AS A RESEARCH BASIS OF SANDY SOIL FERTILITY

SUMMARY

In series of long-term (41 - 88 years) field experiments in Berlin Humboldt University leading agricultural factors influence (tillage, fertilizers, liming and irrigation) and their combinations on sandy soils fertility, predominating in the north-east part of Germany, are investigated. Agro-physical, physical-chemical and agrochemical soil parameters have been determined by means of the most up-to-date methods, dynamics being evaluated as well. The inference has been made that long-term field experiments are of great importance for research into farming problems, proving that little tillage has a positive influence on soil, as well as combined fertilizing and irrigation system on sandy soils fertility factors.

Key words: Long-term field experiments, soil organic matter, soil structure, fertilization rate, irrigation.

Информация об авторе

Франк Эльмер — декан факультета сельского хозяйства и садоводства Берлинского университета имени Гумбольда (Германия); e-mail: [dekan.lfg@agrар.hu-berlin.de](mailto:dekan.lfg@agrار.hu-berlin.de); frank.ellmer@agrар.hu-berlin.de

Information on the author

Frank Ellmer - Dean of agriculture and horticulture faculty, university of Berlin named after Humboldt (Germany); e-mail: dekan.lfg@agrар.hu-berlin.de; frank.ellmer@agrар.hu-berlin.de