

# 1 Die Forschungsanlage Wagna

Basierend auf der Erkenntnis, daß ein Schlüssel zur Erfassung der Prozesse, die zum Nitratproblem im Leibnitzer Feld geführt hatten, in der wasserungesättigten Zone zu suchen sei, wurde der Entschluß gefaßt, im Problemgebiet eine Forschungsstation zu errichten, die es erlaubt, die Vorgänge der Wasserbewegung und des Stofftransportes von der Atmosphäre über den Boden, die ungesättigten Sande und Kiese der quartären Talfüllung bis in das Grundwasser zu untersuchen.

Trotz der umfangreich vorhandenen Literatur zur Erfassung von flächenhafter Grundwasserneubildung aus infiltrierenden Niederschlägen (z. B. ARBEITSKREIS GRUNDWASSERNEUBILDUNG DER FACHSEKTION HYDROGEOLOGIE DER DEUTSCHEN GEOLOGISCHEN GESELLSCHAFT, 1977 oder B. MERKEL, 1983), und auch der bei der Infiltration ablaufenden Prozesse (L. EICHINGER et al., 1984; R. FEDDES et al., 1988; G. NEMETH, 1983; G. NEMETH et al., 1985, M. THOMA & E. PRIESACK, 1991; E. WITTE, 1990 u.v.a.) sind aufgrund der regionalen Unterschiede der hydrometeorologischen und auch der hydrogeologischen Rahmenbedingungen sowohl die Erfassung der Vorgänge als auch eine Relativierung der Quantitäten in Abhängigkeit von den Besonderheiten des untersuchten Raumes zu untersuchen und die Ergebnisse problembezogen zu diskutieren.

Ähnlich dem Problem der Grundwasserneubildung bzw. der Infiltration von Niederschlagswasser und der Perkolation des Sickerwassers durch die ungesättigte Zone bis zum Grundwasser liegt die Lage auch bei den im Zuge dieser Verfrachtung ablaufenden hydrochemischen und mikrobiologischen Prozesse und deren Bedeutung für die Nitratproblematik des Leibnitzer Feldes. Umfangreiche internationale Literatur (A. BRUMM, 1991; U. BOSSHART, 1985; R. BÖCKLE et al., 1984; R. BAHR & U. WITTKÖTTER, 1973; J. FURRER, 1984; J. GROSSMANN et al., 1990; U. HEGE & R. BRANDHUBER, 1990; U. HEGE, 1991; U. ROHMANN & H. SONTHEIMER, 1985 u.v.a.) vermag nicht alle Prozesse und deren Bedeutung für die qualitative Situation des Trinkwasserreservoirs „Leibnitzer Feld“ zu beantworten.

Verfolgt man die Literatur, so wird bald klar, daß einerseits die Frage der Landwirtschaft und deren Einfluß auf Quantität und Qualität des Bodenwassers in den obersten Bodenschichten durch Experten der Landwirtschaft und durch die Bodenkunde gut untersucht und dokumentiert ist, daß andererseits aus der Sicht der Grundwasserhydrologie die Prozesse der Wasserbewegung in ungesättigten Sanden und Kiesen prinzipiell aufgearbeitet ist. Wenige Arbeiten nur finden sich, die den Gesamtkomplex der ungesättigten Zone im Konnex zur Landbewirtschaftung durch intensiven Ackerbau und die Bedeutung der dabei ablaufenden Prozesse für die Quantität und die Qualität des Grundwassers in fluviatil verlagerten glazialen Sedimenten des Alpenraumes untersuchen und unterschiedliche regionale Aspekte der Hydrometeorologie einbeziehen. Unter diesen hier angeführten Gesichtspunkten erschien es zielführend, ergänzend zu den bereits bestehenden Forschungsstationen und Lysimeteranlagen in Mitteleuropa eine eigene zu planen, die genau auf die Bedürfnisse der regionalen Besonderheiten einer quartären Schotterterrasse mit geringmächtiger, gut durchlässiger Bodenauflage abgestimmt ist.

## 1.1 Planung, Konzipierung und Errichtung

Basierend auf den oben angeführten Ergebnissen der Literaturstudien und auf der Erkenntnis, daß die Ursachen des Nitratproblems des Leibnitzer Feldes aufgrund der regionalen Spezifika nicht eindeutig an bereits existierende Forschungsanlagen untersucht werden konnten, wurde eine Forschungsstation geplant, die bestimmte Zielfunktionen erfüllen sollte. Aus wissenschaftlicher Sicht sollte sie ein Bindeglied zwischen den Bereichen Landwirtschaft, Bodenkunde und Grundwasserhydrologie darstellen, da erkannt worden war, daß das Problem des flächenhaften Nitratreintrages in das Grundwasser neben der Landbewirtschaftung und den bodenphysikalischen Rahmenbedingungen in der obersten feinklastischen Schichte auch von Prozessen in den ungesättigten Sanden und Kiesen der Würmterrassenschotter gesteuert wurde. Für die Qualität des Grundwasser der gesättigten Zone war daneben auch noch das Transportverhalten im Grundwasserkörper selbst maßgeblich.

Die wohl wichtigste Funktion der geplanten Anlage war die Möglichkeit der Erkundung der Wasserbewegung und des Stofftransportes in der ungesättigten Zone bis in das Grundwasser auf der Basis von hydrochemischen und isopenhydrologischen Analyseergebnisse auf der Grundlage natürlicher Landbewirtschaftung. Diese Forderung impliziert die Notwendigkeit der Einrichtung tiefengestaffelter, aber auch lateral versetzter Probenahmemöglichkeiten in der ungesättigten Zone, deren Ausformungen in Abhängigkeit von den natürlichen Rahmenbedingungen durchaus unterschiedlich zu gestalten waren. Direkt mit diesem Anspruch verbunden ist auch die Forderung nach Einbau von Meßsystemen in der ungesättigten Zone, die es erlauben, die Untersuchungen unter ortsüblichen Bewirtschaftungsmaßnahmen durchzuführen. Es war notwendig, die Systeme so auszurichten, daß an der Oberfläche eine Befahrung mit Traktoren und eine maschinelle Bearbeitung uneingeschränkt ermöglicht wurde.

Die hier gestellten Forderungen führten zu einer gegenüber herkömmlichen Lysimeteranlagen unterschiedlichen Struktur: es sollten nicht verschiedene Bodenformen an einem zentralen Standort hinsichtlich ihrer Transporteigenschaften untersucht, sondern es sollten unter gegebenen hydrometeorologischen Rahmenbedingungen an einem typischen Bodenstandort im Leibnitzer Feld zumindest zwei unterschiedliche Bewirtschaftungsformen hinsichtlich des Nitrataustrages in das Grundwasser beobachtet werden. Um lange Vorlaufzeiten zur Anpassung des Standortes an die gewählten Bewirtschaftungsformen zu vermeiden, war ein Standort zu suchen, an dem die landwirtschaftlichen Tätigkeiten auch schon aus der Vergangenheit gut dokumentiert waren, die gewünschte Bearbeitungsweise auch in der Zukunft gesichert schien und durch die Baumaßnahmen der Forschungsstation das herrschende System ohne allzu große Störung erhalten bleiben konnte.

Die zu gewinnenden Daten sollten aber auch so signifikant sein, daß die Kalibrierung von Wasserbewegungs- und Stofftransportmodellen am Forschungsstandort möglich sein, und durch die Anwendung dieser Modelle in anderen Bereichen des Leibnitzer Feldes eine Übertragung der Ergebnisse auf größere Flächeneinheiten ermöglicht werden sollte.

Die oben skizzierten Anforderungen führten zur Planung einer Anlage, in der von einem zentralen Meßschacht aus Meßsonden und Probennahmesysteme in unterschiedlichen Tiefen horizontal bis unter die bewirtschaftete Parzelle vorgetrieben wurden. Im Bereich des Oberbodens waren jedenfalls monolithische Lysimeter vorzusehen, die im bewirtschafteten Bereich in das Feld eingebaut werden sollten. Eine intensive Beobachtung der obersten Schichte mußte allerdings aufgrund der dort maschinell durchzuführenden Bearbeitung im Standarduntersuchungsprogramm unterbleiben.

Ein geeigneter Standort wurde im Bereich der Versuchsflächen des land- und forstwirtschaftlichen Versuchswesens des Landes Steiermark in Wagna gefunden, wo im Rahmen von Großparzellenversuchen mit Parzellengrößen von ca. 1000 m<sup>2</sup> seit den 80er Jahren die Auswirkung unterschiedlicher landwirtschaftlicher Maßnahmen auf die Ertragssituation und auch auf den Stickstoffhaushalt im Boden untersucht wurden. Die Bewirtschaftung dieser Großparzellen erfolgte mit ortsüblichen Maschinen und Traktoren. Die Forschungsanlage konnte in einer Fahrgasse zwischen zwei Parzellen mit unterschiedlicher landwirtschaftlicher Bewirtschaftung, einerseits einer Maismonokultur mit Schwarzbrache während der Wintermonate - die in diesem Bereich bis zum Beginn der 90er Jahre übliche Bewirtschaftungsform - und andererseits einer Parzelle mit einer Fruchtfolge, in der Mais nur noch zu 50 % enthalten war und wo während der Wintermonate eine winterharte Gründecke angebaut wurde (eine Bewirtschaftungsart, wie sie in den großräumig einzurichtenden Schongebieten für Wasserversorgungsanlagen vorgesehen war), errichtet werden. Die zweite Variante war aus den Untersuchungen v.a. in Deutschland als „grundwasserschonende Fruchtfolge- und Bewirtschaftungsvariante eingerichtet worden. Da die hier angeführten Versuchsfolgen bereits seit mehreren Jahren abliefen, konnte durch die Errichtung der Forschungsstation im Bereich dieser Versuchsfelder nach einer sehr kurzen Einlaufzeit mit signifikanten Ergebnissen gerechnet werden.

Nach einer intensiven Planungsphase, in der im Zuge einer Bereisung von mehreren Lysimeterstandorten in Mitteleuropa auch bisherige Erfahrungen an anderen Standorten eingebracht wurde, entstand die in Fig. 1 dargestellte Planung einer Forschungsstation, die es ermöglicht, den Wasser- und Stofffluß durch die ungesättigte Zone in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen unter unterschiedlichen Fruchtfolgen zu studieren.

Die prinzipielle Struktur der Forschungsstation ist in Fig. 1 dargestellt, die Bedeutung der angeführten Nummern und der zugehörigen Meßstellen ist in Tab. 1 und Tab. 2 beschrieben. Die Forschungsstation besteht aus vier Haupteinheiten:

- (a) Meteorologische Meßstation mit einer kontinuierlichen Aufzeichnung von Niederschlag, Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Strahlung, Luftdruck, Windrichtung und Windgeschwindigkeit (Tab. 1)
- (b) 2 Meßprofile in der ungesättigten Zone, das erste mit einer Feinbodenmächtigkeit von 70 cm unter Maismonokultur und das zweite mit einer Mächtigkeit des Bodens über den Kiesen und Sanden von 1.1 m unter der Fruchtfolgeparzelle. Beide Meßprofile beinhalten Meßsonden in 5 unterschiedlichen Tiefen mit einer automatischen Registrierung der Bodentemperatur, der

Saugspannung und des Wassergehaltes. Die Bodenfeuchte mit Hilfe von Gipsblöcken wird manuell registriert.

Saugkerzen zur Probennahme in der ungesättigten Zone sind in der gleichen Tiefe wie die Tensiometer eingebaut (Tab. 2). Zusätzlich sind noch monolithische Lysimeter mit unterschiedlichen Erfassungstiefen im Bodenbereich und kleine Feldlysimeter in größeren Tiefen im Schotter eingebaut (bei letzteren war der Einbau nur unter gestörten Bedingungen im Zuge der Errichtung der Anlage möglich).

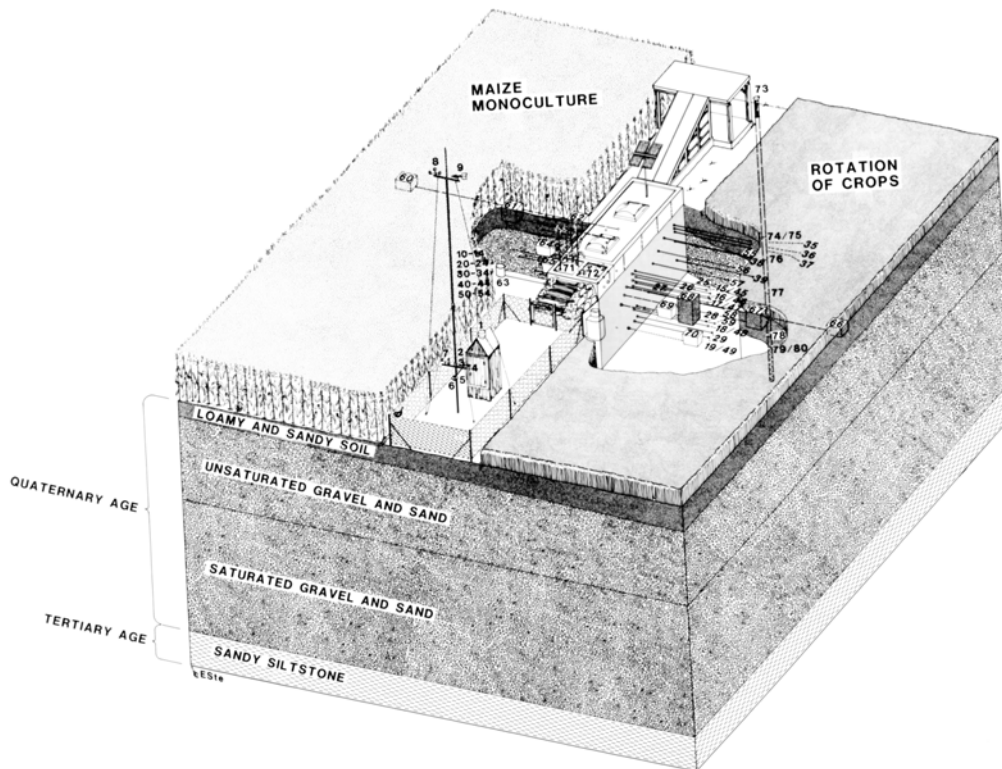


Fig. 1: Blockdiagramm der Forschungsstation Wagna mit den eingerichteten Meßsystemen  
Structural principle of the observation station of infiltration water.

- (c) 2 Gefäßlysimeter mit denselben Landnutzungsbedingungen wie bei (b), von denen jeder mit einer hydrologischen Wippe zur automatischen Registrierung des Sickerwasserflusses ausgestattet ist. In einem Behälter wird das Sickerwasser für die Probennahme gesammelt (Tab. 2)
- (d) Ein Grundwasserpegel, an dem der Grundwasserspiegel, die elektrische Leitfähigkeit in zwei Tiefen und die Grundwassertemperatur in 5 Meßtiefen erfaßt wird. Hier werden auch Grundwasserproben für die hydrochemische und isotopenhydrologische Analyse gezogen.

Tab. 1: Meteorologische Meßsysteme und Meßeinheiten in der ungesättigten Zone ohne Probenahmemöglichkeiten: Distanz = Distanz der Meßeinheit von der Geländeoberkante [m]; Aufzeichnung: a = automatische Aufzeichnung, m = manuelle Ablesung; Einbau: u = ungestört, g = gestört; Mais = Maismonokultur, FF = Fruchtfolge; gb = Gipsblock; rw = relativer Wert. Meteorological unit and measuring units without sampling in the unsaturated zone. elev. = distance of the measuring unit from surface [m]; recording: a = continuously, m = manually; s.c. = soil condition: u = undisturbed, d = disturbed; maize = maize monoculture, cr = rotation of crops; gb = gypsum bloc; rv = relative value.

Nr.	Kurzbezeichnung	Meßgröße	Distanz	Aufzeichnung	Probenahme	Einbau
1	LKN20	Niederschlag [mm]	+2.00	a	✓	
2	LKT20	Lufttemperatur [°C]	+2.00	a		
3	LKF20	rel. Luftfeuchte [%]	+2.00	a		
4	LKD20	Luftdruck [hPa]	+2.00	a		
5	LKSG20G	Globalstrahlung [W/m <sup>2</sup> ]	+2.00	a		
6	LKSG20R	reflektierte Strahlung [W/m <sup>2</sup> ]	+2.00	a		
7	LKWG20	Windgeschwindigkeit [m/s]	+2.00	a		
8	LKWG80	Windgeschwindigkeit [m/s]	+8.00	a		
9	LKWR80	Windrichtung [°]	+8.00	a		
10	LTBR04	Bodentemperatur (Mais) [°C]	-0.40	a		u
11	LTBR07	Bodentemperatur (Mais) [°C]	-0.70	a		u
12	LTBR11	Bodentemperatur (Mais) [°C]	-1.10	a		u
13	LTBR20	Bodentemperatur (Mais) [°C]	-2.00	a		u
14	LTBR25	Bodentemperatur (Mais) [°C]	-2.50	a		u
15	LTBL04	Bodentemperatur (FF) [°C]	-0.40	a		u
16	LTBL07	Bodentemperatur (FF) [°C]	-0.70	a		u
17	LTBL11	Bodentemperatur (FF) [°C]	-1.10	a		u
18	LTBL20	Bodentemperatur (FF) [°C]	-2.00	a		u
19	LTBL25	Bodentemperatur (FF) [°C]	-2.50	a		u
20	LFTR04	Saugspannung (Mais) [hPa]	-0.40	a		u
21	LFTR07	Saugspannung (Mais) [hPa]	-0.70	a		u
22	LFTR11	Saugspannung (Mais) [hPa]	-1.10	a		u
23	LFTR20	Saugspannung (Mais) [hPa]	-2.00	a		u
24	LFTR25	Saugspannung (Mais) [hPa]	-2.50	a		u
25	LFTL04	Saugspannung (FF) [hPa]	-0.40	a		u
26	LFTL07	Saugspannung (FF) [hPa]	-0.70	a		u
27	LFTL11	Saugspannung (FF) [hPa]	-1.10	a		u
28	LFTL20	Saugspannung (FF) [hPa]	-2.00	a		u
29	LFTL25	Saugspannung (FF) [hPa]	-2.50	a		u
30	LTDRR04	Wassergehalt (Mais) [vol %]	-0.40	a		u
31	LTDRR055	Wassergehalt (Mais) [vol %]	-0.55	a		u
32	LTDRR07	Wassergehalt (Mais) [vol %]	-0.70	a		u
33	LTDRR11	Wassergehalt (Mais) [vol %]	-1.10	a		u
34	LTDRR20	Wassergehalt (Mais) [vol %]	-2.00	a		u
35	LTDRL04	Wassergehalt (FF) [vol %]	-0.40	a		u
36	LTDRL055	Wassergehalt (FF) [vol %]	-0.55	a		u
37	LTDRL07	Wassergehalt (FF) [vol %]	-0.70	a		u
38	LTDRL11	Wassergehalt (FF) [vol %]	-1.10	a		u
39	LTDRL20	Wassergehalt (FF) [vol %]	-2.00	a		u
40	LGBR04	Bodenfeuchte gb (Mais) [rw]	-0.40	m		u
41	LGBR07	Bodenfeuchte gb (Mais) [rw]	-0.70	m		u
42	LGBR11	Bodenfeuchte gb (Mais) [rw]	-1.10	m		u
43	LGBR20	Bodenfeuchte gb (Mais) [rw]	-2.00	m		u
44	LGBR25	Bodenfeuchte gb (Mais) [rw]	-2.50	m		u
45	LGBL04	Bodenfeuchte gb (FF) [rw]	-0.40	m		u
46	LGBL07	Bodenfeuchte gb (FF) [rw]	-0.70	m		u
47	LGBL11	Bodenfeuchte gb (FF) [rw]	-1.10	m		u
48	LGBL20	Bodenfeuchte gb (FF) [rw]	-2.00	m		u
49	LGBL25	Bodenfeuchte gb (FF) [rw]	-2.50	m		u

Tab. 2: Probenahmesysteme in der ungesättigten Zone und Meßeinrichtungen im Grundwasserpegel: Distanz = Distanz der Meßeinheit von der Geländeoberkante [m]; Aufzeichnung: a = automatische Aufzeichnung, m = manuelle Ablesung; Einbau: u = ungestört, g = gestört; Mais = Maismonokultur, FF = Fruchtfolge; rw = relativer Wert; gw = Grundwasser.  
 Sampling sites in the unsaturated zone and measuring units in the observation well. elev. = distance of the measuring unit from surface [m]; recording: a = continuously, m = manually; s.c. = soil condition: u = undisturbed, d = disturbed; maize = maize monoculture, cr = rotation of crops; rv = relative value; gw = ground water.

Nr.	Kurzbezeichnung	Meßgröße	Distanz	Aufzeichnung	Probenahme	Einbau
50	LSSR04	Saugkerze (Mais)	-0.40	m	✓	u
51	LSSR07	Saugkerze (Mais)	-0.70	m	✓	u
52	LSSR11	Saugkerze (Mais)	-1.10	m	✓	u
53	LSSR20	Saugkerze (Mais)	-2.00	m	✓	u
54	LSSR25	Saugkerze (Mais)	-2.50	m	✓	u
55	LSSL04	Saugkerze (FF)	-0.40	m	✓	u
56	LSSL07	Saugkerze (FF)	-0.70	m	✓	u
57	LSSL11	Saugkerze (FF)	-1.10.	m	✓	u
58	LSSL20	Saugkerze (FF)	-2.00	m	✓	u
59	LSSL25	Saugkerze (FF)	-2.50	m	✓	u
60	LSMR04	Monolithysimeter (Mais)	-0.40	m	✓	u
61	LSMR06	Monolithysimeter (Mais)	-0.60	m	✓	u
62	LSMR07	Monolithysimeter (Mais)	-0.70	m	✓	u
63	LSRR15	Feldysimeter (Mais)	-1.50	m	✓	g
64	LSWR15	Feldysimeter (Mais)	-1.50	m	✓	g
65	LSWR30	Feldysimeter (Mais)	-3.00	m	✓	g
66	LSML04	Monolithysimeter (FF)	-0.40	m	✓	u
67	LSML07	Monolithysimeter (FF)	-0.70	m	✓	u
68	LSML11	Monolithysimeter (FF)	-1.10	m	✓	u
69	LSWR15	Feldysimeter (FF)	-1.50	m	✓	g
70	LSWR30	Feldysimeter (FF)	-3.00	m	✓	g
71	LSGVR	Gefäßlysimeter (Mais)	-1.50	a/m	✓	g
72	LSGVL	Gefäßlysimeter (FF)	-1.50	a/m	✓	g
73	LGWSP	Grundwasserstand		m		
74	LGWLF55	gw Leitfähigkeit [µS/cm]	-5.50	m	✓	
75	LGWT55	gw Temperatur[°C]	-5.50	m	✓	
76	LGWT65	gw Temperatur [°C]	-6.50	a		
77	LGWT80	gw Temperatur [°C]	-8.00	a		
78	LGWT90	gw Temperatur [°C]	-9.00	a		
79	LGWLF100	gw Leitfähigkeit [µS/cm]	-10.00	m	✓	
80	LGWT100	gw Temperatur [°C]	-10.00	m	✓	

Fig. 2 zeigt einen Längsschnitt durch die Lysimeteranlage Wagna, in dem die Einlässe für die unterschiedlichen Meßsonden und Probennahmesysteme aus der Maismonokulturparzelle tiefen- und lagerichtig dargestellt sind.

Die Errichtung der Forschungsstation Wagna wurde im Jänner 1991 begonnen, um den tief gefrorenen Boden dahingehend auszunutzen, daß die Beeinflussung der Fläche durch die Baugrube möglichst klein gehalten werden konnten. Noch während der Wintermonate konnte die Baugrube mit den gestört eingebauten Meßsystemen wieder verfüllt werden, im Juni 1991 begann der Meßbetrieb mit allen Sonden in der ungesättigten Zone. Im August 1991 wurde die Klimastation errichtet und in Betrieb genommen. Erst im Dezember 1992 wurden durch horizontalen Vortrieb vom Meßsschacht aus die TDR - Sonden zur kontinuierlichen Erfassung des Bodenwassergehaltes eingerichtet.

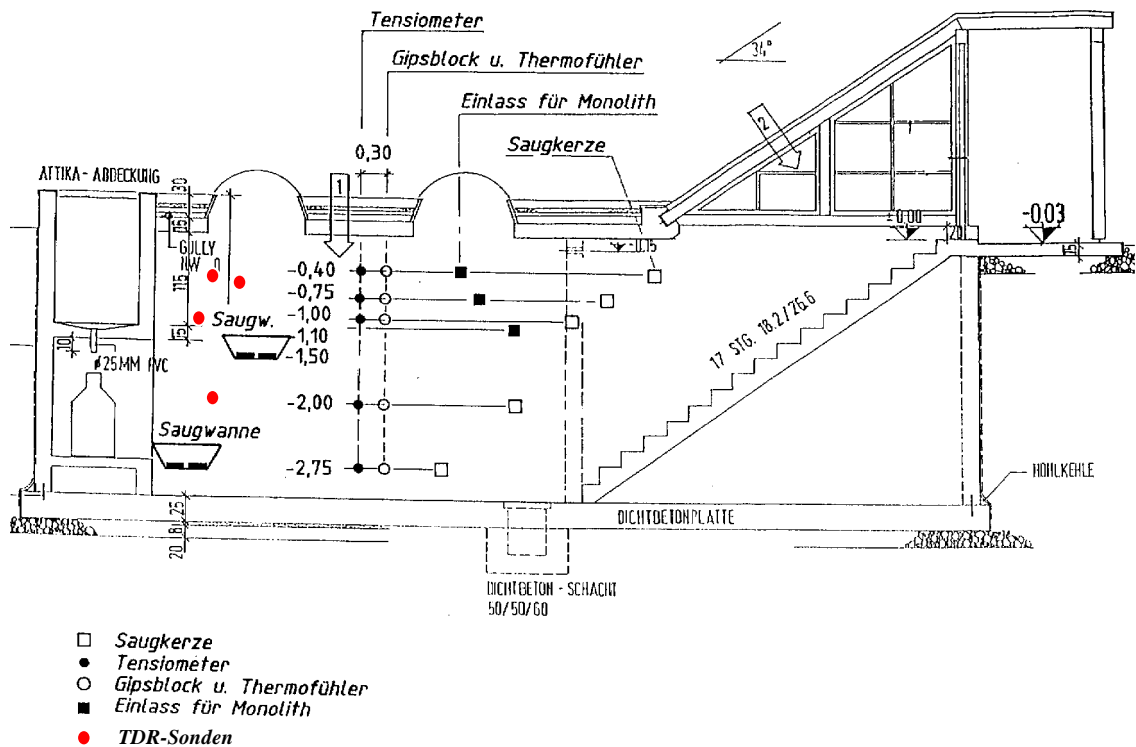


Fig. 2: Längsschnitt durch die Lysimeteranlage in Wagna mit den Einlässen für die unterschiedlichen Meßsonden und Probenahmesysteme  
 Longitudinal section of the research station „Wagna“ with the outlets of different measuring instruments and sampling systems.

Die Lysimeteranlage Wagna liegt auf der tieferen Flur der Niederterrasse (Würm) des Leibnitzer Feldes. Die Niederterrasse wird von einem mächtigen Kieskörper mit einer unruhig-welligen Oberkante aufgebaut, der von einer lehmig-sandigen Deckschichte reliefnivellierend überlagert wird. Auf der Hauptflur, die den zentralen Teil des Feldes einnimmt, dominieren die mittel- bis seichtgründigen, leichten silikatischen Braunerden. Die tiefere Flur, sie ist ein bis zwei Meter in die Hauptflur eingesenkt, kommt überwiegend im Osten der Hauptflur, stellenweise aber auch im Westen vor, wird überwiegend von tiefgründigen (70-150 cm), leicht bis mittelschweren silikatischen Braunerden eingenommen. Charakteristisch für die Bodenverhältnisse auf der Niederterrasse ist die engräumige Schwankung der Gründigkeit.

Die Meßbereiche beiderseits der Lysimeteranlage werden durch zwei unterschiedliche Bodenprofile charakterisiert. Durch diese Unterschiedlichkeit des Profilaufbaues wird naturgemäß die Auswertung der Meßdaten dahingehend erschwert, daß neben den Auswirkungen der unterschiedlichen landwirtschaftlichen Maßnahmen und der verschiedenen Fruchtfolge auch die Wirkungsweise des Bodenaufbaues in die Ergebnisse einfließt.

Die feldbodenkundliche Aufnahme der Profile durch M. EISENHUT im Zuge der Errichtung der Anlage erbrachte folgende Ergebnisse:

● **linke Seite** (Fruchtfolgeparzelle, Meßstellenbezeichnungen FF):

Ahp 0-30 cm, lehmiger Sand mit mäßigem Kies- und Schottergehalt, mittelhumos (Mull), kalkarm, neutral, undeutlich mittelkrümelig bis mittelblockig strukturiert, mittelporös, leicht zerdrückbar, dunkelgraubraun (10 YR 3.5/2), schwach durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, übergehend in

AB 30-60 cm, stark lehmiger Sand mit geringem Kies- und Schottergehalt, schwach humos (Mull), kalkfrei, neutral, deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, stark grobporös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (10 YR 3.5/3), gut durchwurzelt, starke Regenwurmtätigkeit, allmählich übergehend in

B<sub>1</sub> 60-85 cm, stark lehmiger Sand, schwach humos (Humus in Wurmröhren und an Aggregatoberflächen), kalkfrei, neutral, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, porös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), gut durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, allmählich übergehend in

B<sub>2</sub> 85-110 cm, lehmiger Sand, kalkfrei, neutral, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, schwach porös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), schwach durchwurzelt und belebt, absetzend über

D ab 110 cm, Grobsand mit sehr hohem Anteil an Kies und Schotter (bis 10 cm Ø).

Wasserverhältnisse: gut versorgt, mäßiges Speichervermögen, hohe Durchlässigkeit.

● **rechte Seite** (Maismonokulturparzelle, Meßstellenbezeichnung MAIS):

Ahp 0-30 cm, stark lehmiger Sand mit geringem Kies und Schottergehalt, mittelhumos (Mull), kalkfrei, schwach sauer, undeutlich mittelkrümelig und mittelblockig-kantenrund strukturiert (zwischen 20 und 30 cm mäßig verpreßt, blockig-kantenscharf strukturiert), porös, leicht zerdrückbar, dunkelgraubraun (10 YR 3.5/2), schwach durchwurzelt, mäßige Regenwurmtätigkeit, übergehend in

AB 30-50 cm, sandiger Lehm mit geringem Kies- und Schottergehalt, schwach humos (Mull), kalkfrei, schwach sauer, deutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, stark mittelporös, leicht zerdrückbar, dunkelbraun (10 YR 4.5/3), schwach durchwurzelt, starke Regenwurmtätigkeit, übergehend in

B 50-70 cm, lehmiger Sand mit geringem Kiesgehalt, kalkfrei, schwach sauer, undeutlich mittelblockig-kantenrund strukturiert, porös, dunkelbraun (7.5 YR 4/4), schwach durchwurzelt, geringe Regenwurmtätigkeit, absetzend über



D ab 70 cm, Grobsand mit sehr hohem Anteil an Kies und Schotter.

Wasserverhältnisse: mäßig trocken, geringes Speichervermögen, hohe Durchlässigkeit.

Tab. 3: Untersuchungsergebnisse der Bodenproben aus dem Bereich der beiden Bodenprofile FF und MAIS  
Results of the soil analysis of the profiles FF and MAIS.

Parameter	FF				MAIS		
	0-30	30-60	60-85	85-110	0-30	30-50	50-70
<b>Entnahme [cm]</b>							
<b>Kationen</b> [mval/100 g]							
AK	13.00	9.70	7.40	6.40	7.80	7.60	4.10
Calcium	12.10	9.22	7.00	6.11	6.86	6.64	3.65
Magnesium	0.60	0.25	0.20	0.19	0.25	0.42	0.05
Kalium	0.67	0.18	0.08	0.05	0.68	0.53	0.32
Natrium	0.00	0.01	0.07	0.03	0.02	0.02	0.11
N-gesamt %	0.15	0.08	0.05	0.03	0.13	0.08	0.05
<b>Kornfraktionen</b> [%]							
Sand	54	48	60	58	50	48	72
Schluff	37	35	27	34	37	31	18
Ton	9	17	13	8	13	21	10
pH in CaCl <sub>2</sub>	6.9	6.7	6.7	6.8	5.7	5.8	5.9
Karbonat %	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Kalkaktivitätstest	2						
Humus %	2.0	1.1	0.6	0.4	1.7	1.0	0.5
Phosphat-C/D mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100g	12	2	1	3	14	4	1
Kalium-CAL/DL mg K <sub>2</sub> O/100g	15	14	18	4	31	25	13
<b>Königswasser</b>							
Zn [mg/kg]	67	66	61	58	74	74	56
Cu [mg/kg]	20	20	19	17	21	23	15
Cr [mg/kg]	33	33	36	34	35	38	29
Pb [mg/kg]	12	7.0	2.0	0.00	10	5.0	0.00
Ni [mg/kg]	18	22	21	20	18	24	19
Co [mg/kg]	10	11	11	11	10	11	9.0
Mo [mg/kg]	0.50	0.40	0.40	0.30	0.40	0.70	0.50
Cd [mg/kg]	0.09	0.03	0.03	0.02	0.09	0.05	0.05
Hg [mg/kg]	0.20	0.11	0.12	0.14	0.20	0.16	0.14
Fe [g/kg]	26	30	36	33	28	38	34
Mn [g/kg]	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P [g/kg]	1.01	0.67	0.76	0.65	1.05	0.91	0.77
Mg [g/kg]	4.4	4.7	5.1	5.5	4.5	5.0	4.0
K [g/kg]	1.4	1.0	1.1	0.90	1.5	1.5	1.1
As [mg/kg]	6.0	6.0	6.0	5.0	6.0	7.0	5.0
Na [mg/kg]	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10

Betrachtet man die Analysenergebnisse aus Bodenproben (Tab. 3), so fällt auf, daß die Humusgehalte in den Krümen mit 2 % in der Fruchtfolgeparzelle und mit 1.7 % in der Monokulturparzelle ein niedriges Niveau erreicht haben. Daraus ergeben sich bereits negative Auswirkungen auf die Bodenstruktur; auch das Sorptionsvermögen widerspiegelt diese Tatsache.

Die Schwermetalle entsprechen den Literaturwerten, es fällt jedoch auf, daß die Werte für Blei, Cadmium und Quecksilber in den Krümen deutlich höher liegen als in den Unterböden. Diese Tatsache läßt den Schluß auf eine geringe anthropogene Belastung (Immission) zu.

Das Speichervermögen ist auf Grund der differierenden Gründigkeit auf den beiden Standorten unterschiedlich. Wendet man die Tabellen 34 und 43-47 aus den Bodenkundlichen Kartieranleitungen (BUNDESAMT FÜR GEOWISSENSCHAFT UND GEOLOGISCHE LANDESÄMTER DER BRD, 1982) an, so ergibt sich für den Standort FF eine Feldkapazität (FK) von etwa 340 mm und eine nutzbare Feldkapazität (nFK) bezogen auf eine Durchwurzelungstiefe von 110 cm, von etwa 240 mm (auf eine Durchwurzelungstiefe von 80 cm 170 mm). Die FK wäre demnach als mittel, die nFK als sehr hoch (hoch) zu bewerten. Der Standort MAIS hat nach demselben Bewertungsschlüssel eine FK von etwa 230 mm (d.i. gering) und eine nFK von etwa 150 mm (d.i. mittel bis hoch). Die Durchlässigkeit bei wassergesättigtem Boden ist bei beiden Böden hoch (>100 cm/d, Tabelle 49, Bodenk. Kartieranleitung, [BUNDESAMT FÜR GEOWISSENSCHAFT UND GEOLOGISCHE LANDESÄMTER DER BRD, 1982]). Das unterschiedliche Wasserspeichervermögen sollte sich - besonders in Jahren mit trockenen Sommern - im Ertrag signifikant auswirken.

## **1.2 Landbewirtschaftung**

Auf die herkömmlich bearbeitete Körnermaisvariante wird die Gülle von 3 Schweine-GVE (Großvieheinheiten) in zwei Teilgaben (ca 90 kg NH<sub>4</sub>-N vor dem Anbau, 90 kg im Juni) aufgebracht. Bei der Fruchtfolgevariante handelt es sich um eine vierschlägige Fruchtfolge, bei der auf zwei Maisanbaujahren Wintergetreide mit anschließendem Körnerraps folgen. Nach Mais bzw. Körnerraps wird ein winterhartes Zwischenfruchtgemenge eingesät. Je nach Fruchtart erfolgt die Gülleaufbringung in zwei bzw. drei Teilgaben mit Gesamtaufbringungsmengen zwischen 120 und 180 kg NH<sub>4</sub>-N.

Zur Zeit der Inbetriebnahme der Lysimeteranlage im Sommer 1991 war bei der Fruchtfolgevariante der zweite Schlag mit Körnermais auf Körnermais im Gange. Beide Varianten wurden am 10.10.1991 geerntet, nach einer schonenden Bodenbearbeitung wurde auf der Fruchtfolgeparzelle Weizen eingesät, die Herbstfurche auf der Monokulturparzelle wurde am 14.11.1991 durchgeführt. Detaillierte Angaben über die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen auf den beiden Versuchspartellen der Forschungsstation Wagna bietet Tab. 4.

Tab. 4: Landwirtschaftliche Bewirtschaftungs- und Düngemaßnahmen auf den beiden Versuchspartzellen der Forschungsstation Wagna im Zeitraum Herbst 1991 bis Herbst 1995 - die Angaben der Düngermengen sind feldfallend (Angaben der Fachschule Silberberg, Dr. H. ROBIER).  
Agricultural activities and fertilization on the two plots beside the research station „Wagna“ from autumn 1991 to autumn 1995. Fertilization data from Dr. H. ROBIER).

Fruchtfolge (Parzelle 14)		Maismonokultur (Parzelle 18)	
Datum	Kulturmaßnahme	Datum	Kulturmaßnahme
<b>1991</b>			
10.10.91	Maisernte (Kornertrag 10,7 t/ha)	10.10.91	Maisernte (Kornertrag 11,8 t/ha)
11.10.91	Gülledüngung 12,5 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2,5 (25 kgN/ha) Grubbern	14.11.91	Herbstfurche
17.10.91	WW-saat (Sorte Adam) Scheibenegge 240 kg/ha		
<b>1992</b>			
26.02.92	Gülledüngung 20 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2 (33 kg N/ha)	05.03.92	800 kg/ha Mischkalkausbringung Mag-Mika
15.04.92	Kopfdüngung 24 kg N/ha NAC	13.04.92	Gülledüngung 30 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2 (50 kg N/ha)
05.05.92	UK 100 g/ha Harmony	13.04.92	Frühjahrsfurche
27.05.92	Kopfdüngung 42 kg N/ha NAC	21.04.92	Abschleppen + Eggen
22.07.92	Weizenernte (Kornertrag 5,3 t/ha)	24.04.92	2. Eggen + Maissaat (Sorte Corsiare) Bandspritzung Dual 2,5 l/ha + Stomp 2,5 l/ha
25.08.92	Pflügen zum Rapsanbau	15.05.92	Tell gegen Winde 30 g/ha
10.09.92	Gülledüngung 20 m <sup>3</sup> /ha SPW. 1,5 (28 kg N/ha) Rapssaat mit Safentalscheibenegge Sorte Honk 4,14 kg/ha	23.06.92	Güllekopfdüngung 30 m <sup>3</sup> /ha SPW. 1 (33 kg N/ha)
		28.08.92	Maisernte (Kornertrag 6,4 t/ha)
		01.10.92	Herbstackerung
<b>1993</b>			
17.03.93	Gülledüngung 27 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2,5 (52 kg N/ha) Decis 0,25 l/ha	21.04.93	Gülledüngung 37 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2,2 (50 kg N/ha) Frühjahrsackerung
30.04.93	Kopfdüngung mit 78 kg N/ha NAC	26.04.93	Maissaat Bandspritzung Dual 2,5 l/ha + Stomp 2,5 l/ha
30.06.93	Mähdrusch f. Raps (Kornertrag 2,9 t/ha)	17.05.93	erste Maishacke
21.07.93	Gründeckensaat (Grubber+Saat)	02.06.93	Tell gegen Winde 30 g/ha Maishacke und Graseinsaat (17 kg/ha)
20.09.93	Häckseln der Gründecke	07.06.93	Güllekopfdüngung 32 m <sup>3</sup> /ha SPW. 3 (62 kg N/ha)
		23.09.93	Maisernte (Kornertrag 8,3 t/ha)
		06.10.93	Herbstfurche
<b>1994</b>			
26.04.94	Gülleausbringung 20 m <sup>3</sup> SPW 3,5 (50 kg N/ha) Frühjahrsfurche	26.04.94	Gülledüngung 44 m <sup>3</sup> /ha SPW. 4 (122 kg N/ha)
30.04.94	Maissaat Bandspritzung Dual 2,5 l/ha + Stomp 2,5 l/ha	30.04.94	Maissaat Bandspritzung Dual 2,5 l/ha + Stomp 2,5 l/ha
09.06.94	Güllekopfdüngung 20 m <sup>3</sup> /ha SPW. 4 (57 kg N/ha)	09.06.94	Güllekopfdüngung 30 m <sup>3</sup> /ha SPW. 4 (83 kg N/ha)
26.09.94	Maisernte	26.09.94	Maisernte
06.10.94	Gründeckensaat (Grubber+Saat)	06.10.94	Herbstfurche

1995			
25.04.95	Gülleausbringung 33 m <sup>3</sup> SPW 1,5 (35 kg N/ha) Frühjahrsfurche	25.04.95	Gülleausbringung 25m <sup>3</sup> SPW 3,5 (50 kg N/ha) Frühjahrsfurche
03.05.95	Maissaat (Sorte Monika) Bandspritzung Dual 2 l/ha + Stomp 2 l/ha	03.05.95	Maissaat (Sorte Monika) Bandspritzung Dual 2 l/ha + Stomp 2 l/ha
25.05.95	0.75 l Banvel - Windenbekämpfung nach Bedarf	25.05.95	0.75 l Banvel - Windenbekämpfung nach Bedarf
28.06.95	Güllekopfdüngung 30 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2 (50 kg N/ha)	28.06.95	Güllekopfdüngung 43 m <sup>3</sup> /ha SPW. 2 (70 kg N/ha)
05.10.95	Maisernte	05.10.95	Maisernte
09.10.95	Häckseln	09.10.95	Häckseln

### 1.3 Instrumentierung

Die Sickerwassergewinnung sowie die Bodenfeuchte - und Bodentemperaturmessungen erfolgen von einem überdachten Schacht aus, der in einer 4 m breiten Fahrgasse zwischen zwei unterschiedlich bewirtschafteten Äckern (Maismonokultur, Fruchtwechselfolge) errichtet wurde. Um nahezu den gesamten ungesättigten Bereich zu erfassen, wurde die Meßschachtsohle ca. 0.5 m über dem höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegel angesetzt, woraus sich eine Schachttiefe von knapp 3 m ab Geländeoberkante ergab. Die Innenlichte des Meßschachtes beträgt 5.0 mal 2.2 m, die Erschließung des Schachtes erfolgt über einen überdachten Abgang an der Schmalseite (Fig. 2).

#### 1.3.1 Meteorologische Meßeinrichtungen

Für die Erfassung der Inputbedingungen in das Gesamtsystem Boden - ungesättigte Zone - Grundwasser wurde im Augsut 1991 durch die Fa. UMS Umweltanalytische Meßsystem GmbH - Dipl. Ing. G. v. UNOLD eine Klimastation in direkter Nähe zur Lysimeterstation eingerichtet, an der folgende Parameter in 5 Minutenintervall gemessen und als Halbstundenmittelwerte (bzw. -summen) im Datensammler der Lysimeterstation abgelegt werden:

- **Niederschlag:** als Sammel- und Registriereinrichtung dient ein Niederschlagsmesser vom Typ CASELLA nach dem Kippwaagen-Meßprinzip mit einer Auflösung von 0.2 mm/Kippe bei einer Auffangfläche von 400 cm<sup>2</sup>. Das digitale Meßsignal wird als Halbstundensumme im Datensammler auf mm Niederschlagshöhe umgerechnet.
- **Luftdruck:** direkt anzeigender Luftdruckfühler mit einem elektrischen Ausgang zur Fernübertragung; Meßbereich 945 bis 1052 hPa.
- **Luftfeuchte:** Meßbereich 0 - 98 % bei einem Fehler von +/- 2.5 %, Hysterese <0.5 %, Meßprinzip kapazitiv (Cr Oxid).
- **Lufttemperatur:** Meßbereich -30 °C bis +70 °C, Meßprinzip Fenwall-Thermistor-Heißleiter, 3-Leiter-Technik, Genauigkeit <± 0.2 °C, Reproduzierbarkeit 0.1 °C langzeitstabil.

- **Windgeschwindigkeit** in 2 und 8 m Höhe über Gelände durch je ein Schalenstern Anemometer mit einem Anlaufwert von 0.25 m/s, Genauigkeit 1 % ( $\pm 0.1$  m/s), Belastbarkeit 75 m/s.
- **Windrichtung**: Anlaufwert 0.25 m/s bei 45° Auslenkung, Genauigkeit  $\pm 2$  Grad bei konstantem Wind  $> 5$  m/s, Auflösung 0.3 Grad, max. Belastbarkeit 75 m/s.
- **Global- und Reflexionsstrahlung**: mittels eines Strahlungspyrradiometers 8111 der Fa. Ph. SCHENK mit einem Meßbereich von 0.3 bis 60  $\mu\text{m}$ . Die kurz- und langwellige Strahlung wird in zwei getrennten Kurven (Globalstrahlung und Reflexionsstrahlung) aufgezeichnet. Die Differenz der beiden Ganglinien bildet die kurz- und langwellige Strahlungsbilanz.

### 1.3.2 Meßeinrichtungen in der ungesättigten Zone

Im Zuge der Errichtung der Forschungsstation Wagna wurden technisch aufwendige Meßeinrichtungen zur Erfassung unterschiedlichster Parameter in den, das Grundwasser des Leibnitzer Feldes überlagernden Kieskörper und die darüber gelegene lehmig-sandige Deckschicht eingebaut. Die Grundwasseroberfläche ist in einer Tiefe zwischen 3.5 und 5 m unter Gelände anzutreffen.

#### 1.3.2.1 Bodentemperatur

Die Bodentemperatur wird an zwei Meßprofilen, jeweils einem unter jeder unterschiedlich bewirtschafteten Versuchsfläche (siehe Kap. 1.2) in fünf unterschiedlichen Tiefen (0.4, 0.7, 1.1, 2.0 und 2.5 m unter der Geländeoberkante) mittels Bodentemperatursensoren erfaßt. Diese Bodentemperatursensoren sind Fenwall-Thermistor (Heißeiter) Bodenfühler im 3-Leiter-Meßprinzip. Der Meßbereich der Sonden liegt zwischen  $-30$  °C und  $+50$  °C, die Toleranz bei  $20$  °C beträgt  $\pm 0.1$  °C, über den gesamten Meßbereich  $\pm 0.2$  °C.

Die Aufzeichnung der gemessenen Temperaturdaten erfolgt auf einem zentralen, frei konfigurierbaren Datensammler, der auch die Steuerung des Meßintervalls übernimmt. Der an der Meßleitung anstehende Meßwert wird in einem Intervall von fünf Minuten abgelesen. Aus sechs Meßwerten wird das arithmetische Mittel gebildet und dieser Wert somit als Halbstundenmittelwert im Datensammler abgelegt.

#### 1.3.2.2 Matrixpotential im niederen Wasserspannungsbereich

Das Matrixpotential des Bodens wird über Tensiometer erfaßt. Unter den beiden Versuchsflächen wurde je ein Profil mit automatisch registrierenden Druckaufnehmertensiometern installiert, die die zeitliche Änderung des Matrixpotentials des Bodens in den Tiefen 0.4, 0.7, 1.1, 2.0 und 2.5 m unter der Geländeoberfläche erfassen. Die Messung erfolgt in einem Intervall von 5 Minuten, wobei das arithmetische Mittel aus 6 Messungen (Halbstundenmittel) am Datensammler aufgezeichnet wird.

Die Tensiometer vom Typ T6 sind Meßfühler, die sich durch hohe Zyklenhäufigkeit (naß-trocken-naß-Messung) und eine damit verbundene lange Standzeit auszeichnen. Diese elektronischen Druckaufnehmertensiometer sind hochauflösende Meßfühler zur kontinuierlichen Messung der Bodenwasserspannung im ungesättigten Bereich. Sie messen die Wasserspannung des Bodens und wandeln diese in ein definiertes, kontinuierliches elektrisches Signal um, das mit dem Datalogger automatisch erfaßt wird.

#### 1.3.2.2.1 Aufbau des Tensiometers

Der Tensiometerkorpus, in dem der Druckaufnehmer integriert ist, stellt das Verbindungselement zwischen der Tensiometer-Kerze und dem Tensiometer-Schaft dar. Der Korpus wird mit der Kerze wasser- und luftdicht verschraubt. Die Wassersäule im Tensiometer geht von der Kerzenspitze bis zur Mitte des im Korpus eingegossenen Druckaufnehmers.

Das Prinzip des Druckaufnehmers basiert auf dem "piezoresistiven Effekt" von Siliziumhalbleitern, deren spezifischer Widerstand sich bei Verformung ändert und über eine "Wheatston'sche Brücke" zu einem definierten Signal verarbeitet wird. Diese Verformung wird durch den Druck (bzw. die Wasserspannung) auf das sehr dünne, und daher auf Druckstöße empfindliche Siliziumplättchen erreicht. Meßfehler, die durch Umgebungstemperaturschwankungen bedingt sind, werden durch eine Kompensationsschaltung weitgehend eliminiert. Da der Druckaufnehmer gegen den atmosphärischen Luftdruck messen muß, wird dieser über den Schaft auf den Druckaufnehmer übertragen.

Die Tensiometerkerze, bestehend aus der Keramik, dem Adapter-Schraubstück, einem Dichtring und dem Siederöhrchen, stellt den Kontakt zwischen Boden und Druckaufnehmer her. Sie hat zwei Funktionen: sie muß zum einen wasserdurchlässig sein, damit die Wasserspannung des Bodens auf das Tensiometerwasser und über dieses auf den Druckaufnehmer übertragen werden kann, zum anderen muß sie luftundurchlässig sein, damit sich im Tensiometerschaft eine "Wasserspannung" (ein Unterdruck) aufbauen kann. Sie wirkt somit als "semipermeable Membran". Um das zu erreichen, werden für Tensiometer selektierte Keramiken mit einem homogenen Porengefüge bei definiertem Porendurchmesser verwendet. Trocknet der Boden aus, so wird ab ca. 900 hPa das Tensiometerwasser dampfförmig, expandiert also um ein Vielfaches und "läuft" aus der Kerze aus. Trocknet der Boden weiter aus, so reißt ab ca 3000 hPa der Wasserfilm ab, sodaß Luft eindringen kann. Spätestens dann muß das Tensiometer frisch befüllt werden. Das Tensiometerwasser muß entgast und entionisiert sein, damit es bei differierenden Drücken die Wasserspannung des Bodens ohne Volumenänderung auf den Druckaufnehmer "inkompressibel" übertragen kann.

#### 1.3.2.2.2 Meßprinzip und Grenzen der Tensiometrie

##### 1.3.2.2.2.1 Bodenwasser als Meßgröße

Mit der Wasserspannungsmessung (Saugspannung) als unmittelbarer Meßgröße der Wasserverfügbarkeit von Böden für Pflanzen wird die Summe der Wasserhaltekräfte im Boden (außer

osmotisches Potential, Differenzdruck- und Gravitationspotential) gemessen. Je nach Sättigungszustand des Bodens wird durch die als idealisiert semipermeable Membran betrachtete Keramik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  Sintermaterial) Wasser vom ansonsten hermetisch dichten Tensiometer entsprechend der im Boden herrschenden Wasserspannung angesaugt. Der sich dadurch im Tensiometer einstellende atmosphärische Unterdruck ist (unter Vernachlässigung der oben genannten Potentiale) abzüglich der vertikalen Tensiometerlänge (die in den Kalibrierwerten im Kalibrierprotokoll des Datensammlers bereits berücksichtigt ist und durch den horizontalen Einbau der Tensiometer in der Station Wagna nicht relevant ist) gleich dem Wasserspannungswert im Boden.

#### 1.3.2.2.2 Wasser als druckübertragendes Medium

Da entionisiertes und entgastes Wasser mit einem Kompressionsmodul von nahezu eins als idealisiert inkompressibel betrachtet werden darf, kann es als druckübertragendes Medium im Bereich atmosphärischer Druck  $p_0 = 0 \text{ hPa}$  bis  $p_1 = 950 \text{ hPa}$  atmosphärischer Unterdruck (atu) im Temperaturbereich von  $>0 \text{ °C}$  bis  $<30 \text{ °C}$  ohne Volumenänderung agieren.

Das heißt, daß das Tensiometer bei mechanischer Dichtheit im genannten Druckbereich bei Druckänderung zur Druckübertragung von der Keramikspitze zum Druckformer (Sensor) nur äußerst wenig Wasser über die Keramik austauscht (bei Verwendung von relativ starren Materialien wie Acrylglas und Druckaufnehmer), was, wie im folgenden erläutert, die Standzeit des Tensimeters bis zur erneuten Befüllung verlängert.

#### 1.3.2.2.3 Meßbereich und Standzeit

Die Größe des Meßbereiches ist von den folgenden Parametern abhängig:

- Druckaufnehmer
- Porengröße der Keramikkerze
- Zustand des Tensiometerwassers
- Umgebungsdruck
- Umgebungstemperatur

Der Druckaufnehmer ist geeignet, Drücke im Bereich von  $+3000 \text{ hPa}$  bis  $-3000 \text{ hPa}$  zerstörungsfrei aufzunehmen und im Bereich  $+1500 \text{ hPa}$  bis  $-1500 \text{ hPa}$  linear mit einem Linearitätsfehler  $<0.1 \%$  zu messen.

Um die Wasserspannung im Boden meßbar zu machen, wird ein semipermeables Medium eingesetzt, das Wasser transmittieren läßt, jedoch gasundurchlässig ist. Nur dadurch kann sich im Tensiometer ein zum Außendruck relativer Unterdruck aufbauen. Da die Aluminiumoxid-Sinterkerze durch ein besonderes Herstellungsverfahren eine wählbare, sehr homogene Porenverteilung besitzt, kann diese entsprechend der Größe des Wassermoleküls gewählt werden; die wesentlich größeren Gasmoleküle werden dann gesperrt.

Da der Lufteintrittspunkt der Keramik (bubble point) von der größten Porenkette abhängig ist, sollte diese möglichst homogen sein, damit der Strömungswiderstand für Wasser nicht zu groß wird. Die verwendete Keramik besitzt eine Porengröße von 0.3 Mikrometer bei hoher Homogenität der Porenverteilung, kann Gasstaudrücke von theoretisch 2000 hPa sperren und ist damit für den Tensiometereinsatz optimal geeignet.

Das Tensiometerwasser stellt die eigentliche Begrenzung des Meßbereiches dar. Sind im Tensiometerwasser Gase gelöst, steigt der Dampfdruck an, was den Meßbereich stark reduzieren würde. Aus diesem Grund ist darauf zu achten, entionisiertes Wasser bestmöglich zu entgasen. Sind im Tensiometerwasser keine Gase gelöst, kann (die Diffusion von in Wasser gelösten Gasen durch die Keramik unberücksichtigt) der Meßbereich beliebig oft durchlaufen werden. Befinden sich jedoch gelöste Gase im Tensiometerwasser, die weit vor Erreichen des Vakuums gasförmig werden, so findet ein erneuter Wasseraustausch durch die Keramik statt, so daß wiederum gelöste Gase in das Tensiometerwasser gelangen können. Aus dem sich daraus ergebenden exponentiellen Zusammenhang muß das Tensiometerwasser also gut entgast sein, um eine hohe Standzeit (= die Zeit, bis das Tensiometer frisch befüllt werden muß) zu erreichen.

Sind die Wasserspannungswerte niedrig, muß das Tensiometerwasser seltener regeneriert werden. Dies gilt auch für sich wenig verändernde Wasserspannungswerte.

Der maximale Meßwert ist unmittelbar vom Umgebungsdruck abhängig, ebenso wie von der Umgebungstemperatur durch den temperaturabhängigen Dampfdruck von Wasser.

### **1.3.2.3 Matrixpotential im hohen Wasserspannungsbereich**

Wie in Kap. 1.3.2.2.3 erwähnt, eignen sich Druckaufnehmertensiometer ausschließlich zur Erfassung der Saugspannung des Bodens im niederen Wasserspannungsbereich, der in der durchwurzelten Zone unter den im Bereich des Versuchsfeldes herrschenden hydrometeorologischen, bodenkundlichen und kulturartenspezifischen Verhältnissen jeden Sommer verlassen wird. Um die Beziehung zwischen Matrixpotential und Wassergehalt in den einzelnen Schichtgliedern des Bodens über einen möglichst großen Bereich (am besten über den gesamten auftretenden) erfassen zu können wurden für die Ableitung der Saugspannung im eher trockenen Zeitraum in den gleichen Tiefen wie und in geringer Entfernung zu den Druckaufnehmertensiometern im Zuge der Errichtung der Anlage Gipsblöcke in den ungestörten Boden eingebaut. Über die Anwendung der Gipsblockmethode zur Erfassung von Bodenwasserhaushaltsgrößen im Bereich der durchwurzelten Zone berichtet E. STENITZER (1990 und 1993).

Bei den Gipsblöcken wird über eine Widerstandsmessung der Wassergehalt eines scheibenförmigen Gipsblockes mit ca. 1.5 cm Durchmesser und einer Stärke von 1 cm gemessen. Ausgehend von der Annahme, daß sich der Feuchtegehalt des Gipsblockes an den jeweiligen Feuchtegehalt des Bodens anpaßt kann damit der Feuchtegehalt des Bodens bestimmt werden. Ist der Gipsblock über Wassergehalts-Ablesewertbeziehung geeicht, kann aus den Gipsblockablesewerten der vo-



lumetrische Wassergehalt des entsprechenden Bodens abgelesen werden. Im Labor in Petzenkirchen (Inst. f. Kulturtechnik und Bodenwasserhaushalt des Bundesamtes für Wasserwirtschaft) wurde eine Beziehung zwischen Ablesewert und Saugspannung des Bodens ermittelt, sodaß aus den Meßdaten auf das herrschende Matrixpotential in der jeweiligen Schichte zu unterschiedlichen Zeitpunkten geschlossen werden kann. Die Ablesewerte liegen zwischen 0 und 100, wobei höhere Werte feuchtere Zustände, bzw. höhere Saugspannungswerte repräsentieren. Die Gipsblockwerte werden im Rahmen der normalen Wartungstätigkeit an der Station Wagna in meist täglichem, aber zumindest 2tägigem Rhythmus erfaßt und aufgezeichnet. Das Matrixpotential bzw. der Wassergehalt des Bodens kann über diese Gipsblockablesungen v.a. für die trockeneren Verhältnisse während der Sommermonate erfaßt werden.

#### **1.3.2.4 Bodenfeuchte**

Eines der wesentlichsten Probleme bei der Erfassung des Bodenwasserhaushalts und damit verbunden der Grundwasserneubildung ist die Messung des Bodenfeuchtegehaltes und seiner Änderungen in der Zeit. Im Rahmen der Forschungsstation Wagna wurden unterschiedliche Methoden zur Erfassung des Systemparameters Bodenwassergehalt eingebaut.

Einerseits wurden in jeweils einem Profil mit fünf Meßpunkten unter jedem der beiden unterschiedlich bewirtschafteten Felder Druckaufnehmertensiometer eingebaut, die die zeitliche und tiefenmäßige Variabilität des Matrixpotentials des Bodens erfassen (siehe Kap.1.3.2.2), andererseits wurden in denselben Tiefen (0.4, 0.7, 1.1, 2.0 und 2.5 m unter der Geländeoberfläche) beim Bau der Anlage Gipsblöcke (siehe Kap. 1.3.2.3) in den ungestörten Wandbereich der Baugrube eingebaut und die Meßleitungen in den Meßschacht geführt.

Im Dezember 1992 wurden vom Meßschacht aus Bohrungen horizontal in die ungesättigte Bodenzone unter beiden Feldern jeweils so weit vorgetrieben, daß deren Endpunkte außerhalb der beim Bau offenen Baugrube zu liegen kamen. In diese Bohrungen, die in Tiefen von 0.4, 0.55, 0.7, 1.1 und 2 m unter der Oberfläche verlaufen, wurden TDR Sonden eingebaut, die den Feuchtegehalt des Bodens über die Dielektrizitätskonstante im 5 Minuten Intervall messen und die Daten an einen Datensammler liefern, der sie als Halbstundenmittelwerte abspeichert. Nach Beendigung der Einbauarbeiten stehen nun tiefengestaffelte Messungen des Bodenfeuchtegehaltes ab Februar 1993 zur Verfügung

Die Time-Domain-Reflektometrie (TDR - Sonde) ist eine schnelle und genaue indirekte Methode zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes in Stoffen. Aus Messungen der Dielektrizitätszahl und Temperatur sowie Schätzung der Porosität und Dielektrizitätszahl der Stoffmatrix wird der Wassergehalt berechnet. Der absolute volumetrische Wassergehalt kann unabhängig von der Stoffart mit einer Genauigkeit von 1 % gemessen werden. Für Wassergehaltsänderungen ist die Genauigkeit noch größer. Die TDR-Methode entstand aus der Radarentwicklung in den 40er Jahren dieses Jahrhunderts. Die Bestimmung des Wassergehaltes mit dielektrischen Techniken basiert auf der

hohen Dielektrizitätszahl des Wassers. Mit  $\varepsilon = 81$  bei 20°C ist sie wesentlich größer als diejenige der übrigen Bestandteile von Stoffen (z. B. Boden  $\varepsilon < 5$ ).

Die Messung der Dielektrizitätszahl mit TDR basiert darauf, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  einer elektromagnetischen Welle in einem Medium nur von zwei Materialkonstanten des Mediums abhängt: der Dielektrizitätszahl  $\varepsilon$  und der magnetischen Permeabilität  $\mu$ :

$$(Gl. 1) \quad c = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon * \mu}}$$

wo  $c_0$  die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ist. In Böden ist die magnetische Permeabilität im allgemeinen  $\mu = 1$ , sodaß sich Gleichung (Gl. 1) vereinfacht zu:

$$(Gl. 2) \quad c = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon}} \text{ bzw. } \sqrt{\varepsilon} = \frac{c_0}{c}$$

Zur Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  in Stoffen wird ein vom TDR Sensor erzeugter hochfrequenter elektromagnetischer Puls auf dem, im zu messenden Medium steckenden Wellenleiter geführt. Der TDR-Sensor ermittelt die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle, welche am Ende des Wellenleiters reflektiert wird. Bei bekannter Sondenlänge kann so die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  im zu messenden Medium berechnet werden. Aus obiger Gleichung ergibt sich dann die Dielektrizitätszahl  $\varepsilon$ . Detaillierte Informationen über das Prinzip der Messung von Wassergehalt, elektrischer Leitfähigkeit und Stofftransport gibt M. STACHEDER (1996).

Die im Bereich der Forschungsstation Wagna eingesetzten TDR-Sonden sind vom Typ TRIME-ES P3Z (für detaillierte Informationen über die TRIME Meßtechnik siehe M. STACHEDER, 1996), wasserdicht vergossene Sonden, wobei die gesamte Meßelektronik und der Frequenzgenerator mit den Sonden in einer Einheit zusammengefaßt sind, die im Boden eingebaut ist. Die Anordnung der Sonden ist eine Dreiecksanordnung mit einem Sondenabstand von 4 cm und einer Sondenlänge von 16 cm, sodaß der Wassergehalt in einem Probenvolumen von etwa 200 cm<sup>3</sup> gemessen wird. Die Genauigkeit der Messung beträgt bei den eingesetzten Sonden und nach der Eichung auf die vorhandenen Bodentypen, die von der Firma UMS (Umweltanalytische Meßsysteme, München) vor dem Einbau durchgeführt wurde, bei einem Wassergehalt zwischen 0 und 40 %  $\pm 1$  %, bei höheren Wassergehalten  $\pm 2$  %, die Auflösung beträgt 0.1 %.

Durch die geringe Stromaufnahme und die Anbindung an die vorhandenen Meß- und Aufzeichnungssysteme konnten die TDR-Sonden direkt an die vorhandenen Meß- und Versorgungseinrichtungen angeschlossen werden, sodaß Feuchtegehalte des Bodens als Halbstundenmittelwerte aus 5 minütigen Messungen vorliegen.

### 1.3.2.5 Sickerwassergewinnung

Um den Anforderungen der Wasserprobennahme aus einem ungestörten Boden, Befahrbarkeit durch Arbeitsmaschinen, Sickerwasserentnahme in verschiedenen Tiefen sowie Bilanzierung der

Sickerwässer zu entsprechen, wird die Sickerwassergewinnung auf vier verschiedene Arten durchgeführt.

Für die Installierung von Saugkerzen wurden an den Längsseiten des Meßschachtes in der offenen Baugrube Aluminiumhüllrohre von 2.5 m Länge in unterschiedlichen Tiefen (0.4 m, 0.7 m, 1.0 m, 2.0 m, 2.5 m) verlegt. Es wurde versucht, die feldseitigen Rohrenden am ungestörten Profil anstehen zu lassen oder nach Möglichkeit soweit einzubohren, daß beim Einbau die Saugkerze im ungestörten Boden zu liegen kommt. Zum Einbau der Saugkerze wird diese an einem Kunststoffschaff montiert und durch das Hüllrohr eingeführt. Diese Einbaumethode erlaubt im Störfall einen problemlosen Wechsel der Saugkerzen. Die Förderung des Sickerwassers erfolgt in ein gesondertes Gefäß im Meßschacht für jede Saugkerze durch Anlegen eines Vakuums über einen Vakuumvorratsbehälter. Die Höhe des angelegten Unterdruckes ist über einen eigens installierten Druckverteiler für jede Saugkerze exakt regulierbar und wird an die Saugspannung im Boden (ermittelt durch Tensiometer- bzw. Gipsblockmessungen in unterschiedlichen Tiefen) angepaßt.

Zusätzlich zu den Saugkerzen sind in Tiefen von 1.5 m und 2.5 m Kunststoffwannen eingebaut worden, die Sickerwassersammlung aus diesen versenkten Behältern geschieht über jeweils zwei Keramikplatten am Gefäßboden sowie einer Unterdruckleitung in den Meßschacht. Der Einbau dieser Gefäßlysimeter konnte nur gestört erfolgen. Durch die definierte Auffangfläche dieser Kunststoffwannen bzw -rohre ist neben der Sammlung von Sickerwasser für die chemische und isotopische Untersuchung auch die Erstellung einer Sickerwassermengenbilanz möglich.

Beim manuellen Anlegen des für die Absaugung von Sickerwasser notwendigen Unterdruckes, der einer Vakuumvorratsflasche entstammt, ergeben sich Probleme bei der Anpassung des Unterdruckes an die herrschende Saugspannung in der jeweiligen Tiefe. Je nach Größe des Unterdruckvorratsgefäßes und der Feuchtigkeitsverhältnisse im Boden baut sich mit zunehmender gesammelter Probenwassermenge der Unterdruck langsamer oder schneller ab. Beim Einsatz der tensionsgesteuerten Unterdruckabsaugung wird mittels eines Tensimeters (Steuertensiometer), das außerhalb des Lysimetergefäßes auf dem Niveau der Saugplatte eingebaut ist, die aktuelle Saugspannung gemessen und an eine Regeleinheit übertragen (P. RAMSPACHER, 1993). Durch Einstellen einer gewünschten Druckdifferenz an der Regeleinheit wird der an die Saugplatte anzulegende Unterdruck mittels einer Vakuumpumpe in einer Druckvorratsflasche erzeugt. Die Druckvorratsflasche ist mit der Saugplatte verbunden, wobei eine Probenahmeflasche dazwischengeschaltet ist. Um kein hydrostatisches Potential aufzubauen, wird die Sammelflasche auf dem gleichen Niveau wie die Saugplatte installiert (Fig. 3).

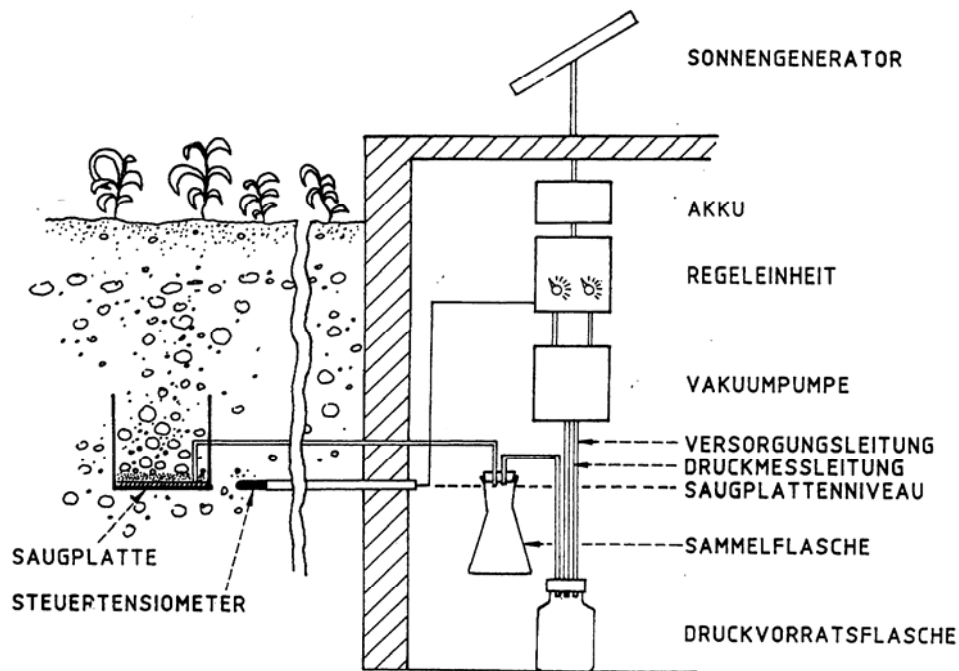


Fig. 3: Schematische Darstellung des tensionsgesteuerten Unterdrucklysimeters (RAMSPACHER, 1993)  
Schematic graph of a tension controlled subpressure lysimeter.

Zeigt die Tensiometermessung eine Änderung der Saugspannungsverhältnisse, etwa durch Austrocknung des Bodens, wird mit einer definierten Schalthysterese sofort der an der Saugplatte wirkende Unterdruck nachgeregelt. Ebenso geschieht dies, wenn der Boden feuchter wird, der Unterdruck in der Vorratsflasche wird entsprechend der Saugspannung reduziert.

Eine Möglichkeit, Sickerwasser aus einem definierten, ungestörten Bereich zu entnehmen, ist die Methode des Absaugens mittels Saugkerze aus einem abgegrenzten Monolith. Die in Wagna angewandte Methode wurde in der landwirtschaftlichen Versuchsanstalt in Petzenkirchen entwickelt und wird dort auch mit Erfolg angewandt (F. FEICHTINGER, 1992).

Die Monolithgewinnung erfolgt durch Versenkung einer Stechvorrichtung, wobei eine ungestörte Probe bis zu einer maximalen Mächtigkeit von 1.5 m und einer Abmessung von 50 cm mal 70 cm in diese Stechvorrichtung gelangt. Nach Erreichen der gewünschten Mächtigkeit wird der Monolith mittels einer Platte vom Untergrund getrennt und zur Installierung einer Absaugvorrichtung an die Oberfläche gehoben. Im gekippten Zustand wird dem Monolith an der Basis eine Sperrwanne mit eingebetteten Saugkerzen aufgesetzt.

Nach dieser Präparierung wird der Monolith mittels geeigneter Hebeeinrichtungen in eine vorgefertigte Vertiefung versenkt. Diese Vertiefung, in die der Monolith eingesetzt werden soll, ist in den Grundrißabmessungen um 10 cm größer als der Monolith selbst. Beim anschließenden Ziehen der Stechvorrichtung verbleibt die Sperrwanne unter dem Monolith, der Raum zwischen Monolith und umgebendem Material wird während des Ziehvorganges mit Filterkies (Körnung 5 mm) aufgefüllt. Der

Filterkiesmantel hat die Funktion, daß er den Monolith hydraulisch isoliert, daß aber eine Durchwurzelung durch den Kiesmantel hindurch funktionieren kann. Die Sickerwassersammlung aus dem Monolith geschieht einerseits durch eine Unterdruckleitung in einen Sammelbehälter im Kontrollschacht, andererseits wird frei auslaufendes Bodenwasser über einen Freiauslauf gewonnen und über einen Schlauch dem Meßschacht zugeleitet. Die eingesetzten Monolithe können ohne Einschränkung bewirtschaftet werden. Im Versuchsfeld Wagna wurden an zwei Bewirtschaftungsformen je drei Monolithen unterschiedlicher Tiefe (0.4 m, 0.7 m, 1.1 m [Fruchtfolgeparzelle] und 0.4 m, 0.6 m und 0.7 m [Maismonokulturparzelle]) sowie unterschiedlicher Entfernung zum Meßschacht (2.0 m, 5.0 m, 10.0 m) eingebaut.

An der Stirnseite des Meßschachtes wurden zwei Kastenlysimeter mit einem Quadratmeter als Grundfläche und einer Fülltiefe von 1.5 m errichtet. Diese beiden Gefäße wurden mit Boden und Kiesmaterial aus einer Fahrgasse zwischen den beiden Versuchspartellen schichtweise befüllt. Auf eine Sand-Kies Schicht mit einer Mächtigkeit von 0.5 m folgen Schichten der Lockersediment Braunerde, die in Lagen mit Mächtigkeiten von 5 bis 10 cm entnommen, zwischengelagert und danach unter Einhaltung der ursprünglichen Schichtmächtigkeiten (Verdichtung durch manuelle Bearbeitung) in die beiden Gefäßlysimeter eingebaut wurden. Der Einbau des Füllgutes in diese beiden Lysimeter kann nur gestört erfolgen, die Bewirtschaftung der Lysimeteroberfläche muß händisch durchgeführt werden. An den Abläufen dieser Kastenlysimeter sind Registriereinrichtungen mit kontinuierlicher Aufzeichnung der Sickerwassermengen eingerichtet. Als Sammel- und Registriereinrichtung dient ein Niederschlagsmesser vom Typ CASELLA nach dem Kippwaagen-Meßprinzip mit einer Auflösung von 0.2 mm/Kippe bei einer Auffangfläche von 400 cm<sup>2</sup>. Durch die Auffangfläche des Gefäßlysimeters von genau einem Quadratmeter wird natürlich die Genauigkeit der Aufzeichnung über die Kippwaagen-Niederschlagsmesser wesentlich erhöht. Das digitale Meßsignal wird als Halbstundensumme im Datensammler auf mm Sickerwasserhöhe umgerechnet.

Die gemessenen Sickerwassermengen in ml können aufgrund der Auffangfläche bei den Monolithen und den versenkten Kleinlysimetern in mm Sickerwasserhöhe über die in Tab. 5 angeführten Faktoren umgerechnet werden.

Tab. 5: Umrechnungswerte der gemessenen Sickerwassermengen in mm Sickerwasserhöhe für die unterschiedlichen Meßsysteme

Meßsystem	Umrechnungsformel	Ausmaß	Fläche [cm <sup>2</sup> ]
Wanne:	mm = ml * 0.004201681	68 * 35 cm	2380
Rohr:	mm = ml * 0.014144272	Durchm. 30 cm	707
Monolithe:	mm = ml * 0.002857143	50 * 70 cm	3500

### 1.3.3 Meßeinrichtungen im Grundwasser

Zur detaillierten Erfassung des Grundwasserspiegels im Bereich des Versuchsfeldes wurden insgesamt 3 Bohrungen niedergebracht, die die quartären Sedimente durchörterten und bis in die unterlagernden tertiären Sandsteine führte. Das durch diese Bohrungen aufgeschlossene Profil ist in Fig. 4 dargestellt. Während die erste der Bohrungen (Wagna I) im Zuge der Errichtung der Forschungsstation im Jahre 1991 im Grundwasseranstrombereich zur Erfassung der

Grundwassertemperatur (5 Meßpunkte in einem Tiefenprofil mit automatischer Registrierung), der elektrolytischen Leitfähigkeit des Grundwassers (1 Meßpunkte nahe der Grundwasseroberfläche und 1 Meßpunkt nahe der Endteufe durch fix installierte Meßsonden mit manueller Ablesung im Zuge der Stationswartung) und des Schwankungsverhaltens des Grundwasserspiegels (Lichtlotmessungen im Zuge der Stationswartung) eingerichtet wurde, wurden im Jahr 1995 zwei weitere Bohrungen errichtet, wobei die Bohrung Wagna II im Grundwasserabstrom von der Forschungsstation liegt und zur Erfassung der Grundwasserqualität (wöchentliche Probennahme im Zuge der Stationswartung für die hydrochemische und isopenhydrologische Analytik) dient. Bohrprofil und Pegelausbau der Kernbohrung WAGNA II sind in Fig. 4 dokumentiert. Die Bohrung durchörterte den Mutterboden mit einer Mächtigkeit von 0.25 m sowie die quartären Kiese und Sande und traf in einer Tiefe von 6.15 m unter GOK auf die tertiäre Schichtfolge. Der Wasserspiegel im quartären Grundwasserleiter wurde in einer Tiefe von 3.60 m unter GOK angetroffen.

Im Zuge der Bohrdurchführung war aufgrund der großen Ähnlichkeit der hangenden tertiären und der liegenden quartären Schichtfolgen die Grenze Quartär-Tertiär nicht eindeutig zu bestimmen, sodaß die Bohrung bis in eine Tiefe von 11.45 m abgeteuft wurde.

Die Bohrung wurde zu einem 4" Grundwasserpegel ausgebaut. Die Filterrohrtour wurde in einer Tiefe zwischen 5.4 und 10.4 m eingebracht. Der Ringraum in diesem Teufenbereich wurde mit Filterkies verfüllt. Der zu erwartende Schwankungsbereich des Grundwassers wurde nicht verfiltert, um bessere Bedingungen für die hydrochemische Beprobung des Grundwasser zu erhalten. Nach oben wurde der Ringraum durch eine Tonsperre gegen infiltrierendes Oberflächenwasser gesichert.

Wegen der Schwierigkeiten bei der Erfassung der geologischen Verhältnisse ist durch den Ausbau des Grundwasserpegels ein Großteil des Filterrohres in tertiären Sedimenten angelegt. Diese sind aber aufgrund des hohen Schluffanteiles im Vergleich zum Quartär nur sehr untergeordnet wasserführend. Die geologische Grenze zwischen Quartär und Tertiär kann als Grundwasserstauer für den quartären Aquifer betrachtet werden.

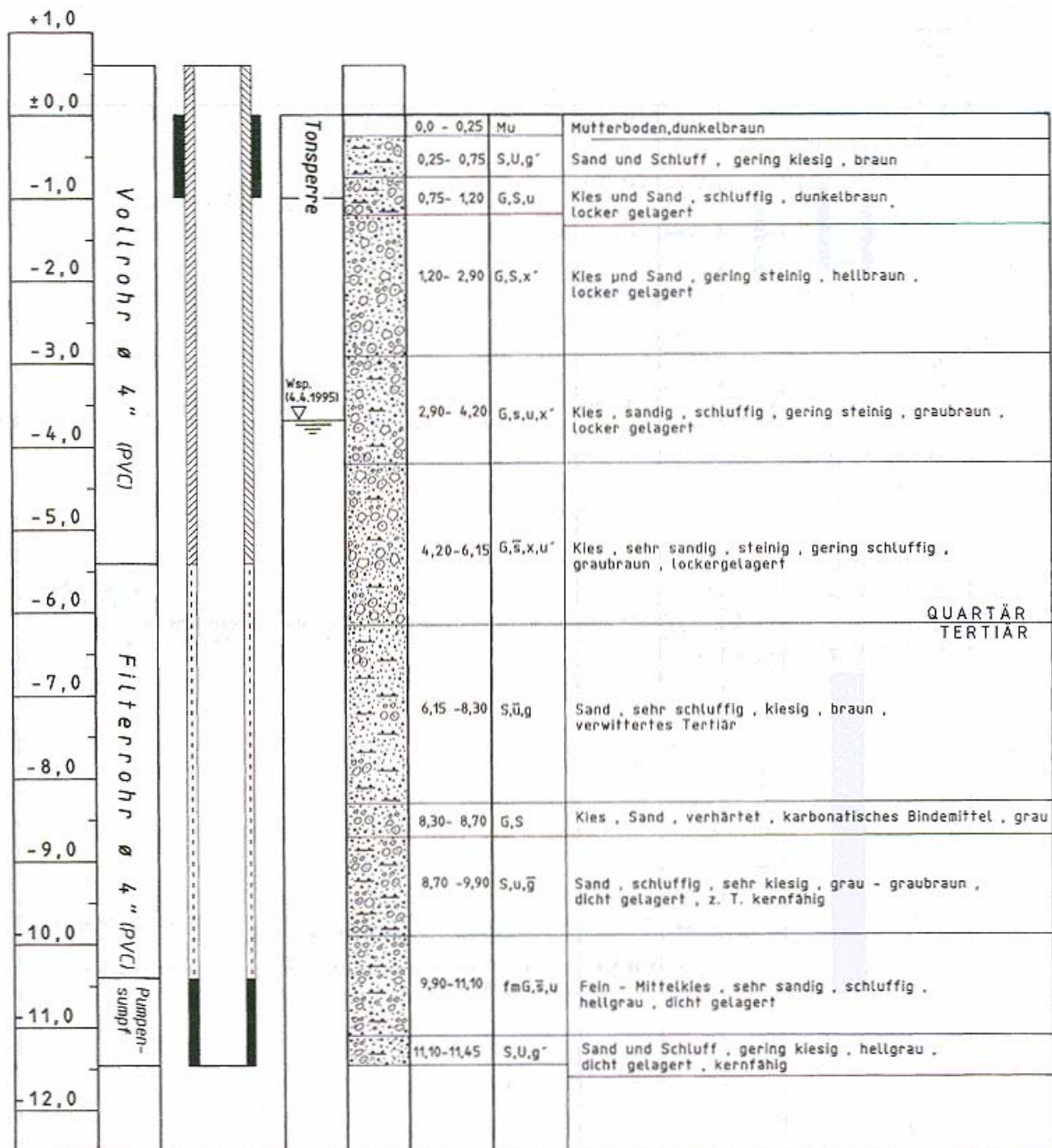


Fig. 4: Bohrprofil und Ausbau der Bohrung Wagner II.  
Soil profile and well completion of borhole Wagner II

Die Kernbohrung Wagner III wurde etwa 50 m ENE der Forschungsstation Wagner niedergebracht und sollte als Temperaturmeßstelle des hydrographischen Dienstes des Landes Steiermark dienen. Bohrprofil und Pegelausbau der Kernbohrung WAGNA III sind in Fig. 5 dokumentiert. Die Bohrung durchörterte den Mutterboden mit einer Mächtigkeit von 0.4 m sowie die quartären Kiese und Sande und traf in einer Tiefe von 5.85 m unter GOK auf die tertiäre Schichtfolge. Der Wasserspiegel im quartären Grundwasserleiter wurde in einer Tiefe von 4.05 m unter GOK angetroffen.

Die Bohrung wurde zu einem 2" Pegel zur Erfassung von Grundwasser-Temperaturprofilen ausgebaut. Dazu wurde der tiefste Bereich zwischen 6.9 m und 10.6 m mit Ton verfüllt und auf einem 20 cm mächtigen Kiespolster das 2" Rohr eingebaut. Im Tiefenbereich zwischen 5.25 m und 5.5 m, also im tiefsten Bereich des Aquifers wurde ein Filterrohr eingebaut. Der Ringraum des Bohrloches

wurde mit Kies verfüllt. Nach oben wurde der Ringraum durch eine Tonsperre gegen infiltrierendes Oberflächenwasser gesichert.

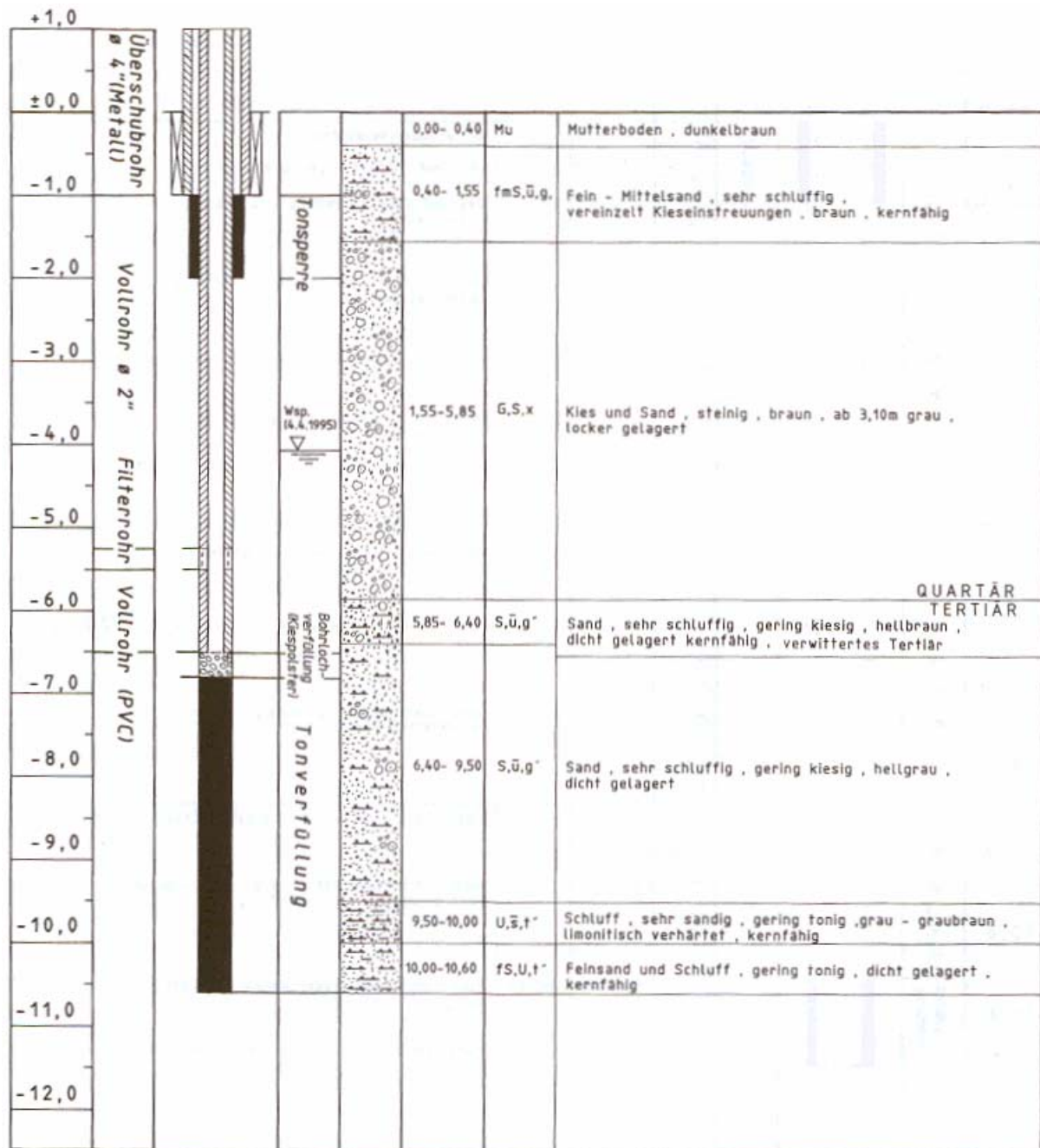


Fig. 5: Bohrprofil und Ausbau der Bohrung Wagna III.  
Soil profile and well completion of borhole Wagna III

Basierend auf diesen beiden neu errichteten Bohrungen und deren geologischer Aufnahme mußte die Höhenlage des Grundwasserstauers im Nahbereich der Forschungsstation Wagna gegenüber den bisherigen Auswertungen nach oben korrigiert werden. Die nur geringe Mächtigkeit des Grundwasserkörpers führte dazu, daß auch die Meßstelle Wagna III nicht für Temperaturprofilmessungen herangezogen werden konnte, sondern als automatische Wasserspiegellagenmeßstation eingerichtet wurde.



#### **1.3.4 Datensammlung und -dokumentation**

Alle im Bereich der Forschungsstation Wagna gewonnenen Daten werden zentral gespeichert. Nach der Aufbereitung und Auswertung bilden sie die Grundlage für die Erarbeitung von Maßnahmen seitens der Landwirtschaft zur Verringerung der Belastung des Grundwassers. Die automatisch registrierten Daten aus den in Kap. 1.3.1 bis Kap. 1.3.3 beschriebenen Meßfühler und Sonden werden in einem zentralen Datensammler abgelegt, der einmal wöchentlich ausgelesen wird. Die manuell abgelesenen Daten werden in vorgegebenen EDV-Strukturen erfaßt, womit der gesamte Meßdatenbestand mit geringem Aufwand in Auswerteprogramme und Modelle Eingang finden kann. Eine ähnliche Vorgangsweise wurde auch für die Ergebnisse der hydrochemischen und isotopenhydrologischen Analytik gewählt: die Analysenergebnisse werden auf EDV erfaßt und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gestellt.

Von allen Meßdaten an der Forschungsstation Wagna wird nach deren Überprüfung und gegebenenfalls erforderlichen Bereinigung für jedes Kalenderjahr getrennt eine schriftliche Datendokumentation erstellt. Die Ergebnisse von Zwischenauswertungen und Auswertungen zu speziellen Themenbereichen werden in Vorträgen, Publikationen und unveröffentlichten Berichten präsentiert und zusammengefasst.