

20 Jahre Zöbelboden

20 Years of Zöbelboden

Ecosystem monitoring & long-term research in Austria

Ökosystemmonitoring & Langzeitforschung in Österreich

Projektpartner:

Logos ÖBf, Nationalpark Kalkalpen, Lebensministerium,

Netzwerkpartner: LTER-Europe, Global LTER, ALTER-Net, ESFRI/LifeWatch, EBONE, EXPEER und Life+ EnvEurope

Die Produktion dieser Broschüre erfolgte mit finanzieller Unterstützung von:

**Impressum:**

Text: Thomas Dirnböck, Andrea Stocker-Kiss, Umweltbundesamt

Lektorat: Petra Kestler, Umweltbundesamt

Fotos: Umweltbundesamt (8x) und iStockphoto.com/mammamaart (S. 10-11)

Design: Manuela Kaitna, Umweltbundesamt

Druck: Druckerei Janetschek GmbH, 3860 Heidenreichstein

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH,

Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich,

<http://www.umweltbundesamt.at>

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2012

Alle Rechte vorbehalten



Zöbelboden: Einzigartiger Standort – bestens vernetzt.

Zöbelboden:
A unique site, part of a fully connected network.

Vorwort/Preface

Ökosysteme unter Langzeitbeobachtung

Der Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge ist das Kernstück der ökologischen Langzeitforschung in Österreich. Auf dem ideal ausgestatteten Monitoring- und Forschungsstandort werden seit zwei Jahrzehnten Trends von hundert Umweltparametern erfasst. Anhand dieser Parameter analysiert das Umweltbundesamt die Folgen des Klimawandels und die Wirkung von Luftschadstoffen auf ganze Ökosysteme.

In den 20 Jahren kontinuierlicher Messung und Auswertung, an der der Nationalpark Kalkalpen und die Österreichischen Bundesforste maßgeblich beteiligt sind, entwickelte sich das 90 Hektar große Gebiet zum bestuntersuchten Karst-Waldökosystem Österreichs. Der Standort Zöbelboden ist der österreichische Beitrag zum „Integrated Monitoring“-Programm der Vereinten Nationen, das auf ein besseres Verständnis der Ursachen-Wirkungs-Beziehungen in Ökosystemen abzielt.

Der Zöbelboden ist stark mit europäischen Forschungsprojekten und Monitoringprogrammen vernetzt. Dazu zählen LTER-Europe, Global LTER, ALTER-Net, ESFRI/LifeWatch, EBONE, EXPEER und Life+ EnvEurope. Europaweit einheitliche Messmethoden und -standards ermöglichen grenzüberschreitendes Umweltmonitoring, das die Grundlage für eine wirkungsvolle Luftschadstoffpolitik und die Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen bei Klimawandel bildet.

Long-term monitoring of ecosystems

The Zöbelboden site in the 'Reichraminger Hintergebirge' mountains lies at the heart of long-term ecological monitoring in Austria. This ideally equipped monitoring and research site has been used for two decades to record trends in several hundreds of environmental parameters. On the basis of these parameters the Environment Agency Austria analyses the consequences of climate change and the effects of air pollutants on a whole-ecosystem basis.

Within 20 years of continuous measurement and evaluation, an supported with substantial contributions from the 'Limestone Alps' national park and the Austrian Federal Forests, the site, which has a size of 90 hectares, has become the best examined karst forest ecosystem in Austria. The Zöbelboden site is Austria's contribution to the Integrated Monitoring programme of the United Nations which is aimed at a better understanding of cause-and-effect relationships in ecosystems.

The Zöbelboden site is part of a close-knit network of research projects and monitoring programmes. These include LTER-Europe, Global LTER, ALTER-Net, ESFRI/LifeWatch, EBONE, EXPEER and Life+ EnvEurope. Harmonised Europe-wide measuring methods and standards allow transboundary environmental monitoring which provides the basis for effective air pollution policies and the development of adaptation measures to climate change.

*Intensive monitoring:
measurement of ecosystem processes.*



Results 1: Nitrogen effects

Nitrogen emissions from agriculture, transport and industry are a major disruptive factor in natural and near-natural ecosystems. Excessive inputs can be found in 95 % of Austria's forested area. Long-term investigations at the Zöbelboden site have shown that, as a result of this, species diversity has declined and that nitrate leaching into groundwater has occurred. Emission reduction measures are necessary to preserve the protective function of our forests.

Excessive nitrogen disrupts the ecological balance of forests

The natural ecosystems of today are exposed to nitrogen levels which are 5-10 times higher than in pre-industrial times. The causes of these elevated nitrogen levels lie in the use of fossil energy sources, animal husbandry and in the fertilisation of agricultural land. At the LTER site Zöbelboden (LTER stands for „Long-term Ecosystem Research“), total nitrogen deposition in the forest amounts to about 30-40 kg/ha/year.

As a rule, forest ecosystems tend to be more exposed to air pollutants than other land use forms. At the LTER site for example, the site-specific limit value for eutrophication, measured on the basis of open field deposition according to the Critical Loads of the UNECE, is complied with – whereas the same limit value is considerably exceeded in the forest. Forests respond to excessive amounts of nitrogen in different ways: While the spruce trees at the Zöbelboden site deposit large amounts of nitrate in the groundwater in some years, efficient nitrogen fixation is achieved in the mixed beech forests. Nitrate losses are a certain sign of excessive inputs of nitrogen in forest ecosystems. Fig. 1 shows a predominantly positive nitrogen balance for the period 1993-2006, which means that nitrogen fixation occurred in forest ecosystems in most years.

In those years where the balance was negative too much nitrogen was deposited across the area and nitrate leached into the groundwater. Especially in the spruce forest, there are always years during which large amounts of nitrate end up in the groundwater.

Apart from disruptions of the nutrient cycle, there is also a negative impact on biodiversity. Loss of lichen, moss and vascular plant diversity will occur in the long term, with additional disruptions of the forest's protective function. Epiphytic lichens, that grow on trees, are a particularly good indicator of nitrogen effects. While the lichens have been recovering slowly after the acid rain of the 1990s and 2000s has subsided, many species are lost today as a result of nutrient accumulation. At the Zöbelboden site, epiphytic lichen diversity declined dramatically since 2005. This happened because the limit values for nitrogen inputs have been exceeded for many years, (Figure 2).

Excessive nitrogen levels which put the protective function of ecosystems at risk are a Europe-wide issue. UNECE working groups prepare, on the basis of measurements at monitoring sites such as the Zöbelboden, the principles and methods of emission reduction policies.



Intensives Monitoring:
Messung von ökosystemaren
Prozessen.

Ergebnisse 1: Stickstoffeffekte

Stickstoff aus der Landwirtschaft, dem Verkehr und industriellen Emissionen ist ein wesentlicher Störfaktor in natürlichen und naturnahen Ökosystemen. In Österreich sind auf 95 % der Waldfläche zu hohe Einträge zu verzeichnen. Die Langzeituntersuchungen am Zöbelboden zeigen, dass dadurch Artenvielfalt abnimmt und Nitrat in das Grundwasser gelangt. Maßnahmen zur Emissionsminderung sind notwendig, um die Schutzfunktion von Wäldern aufrecht zu erhalten.

Zu viel Stickstoff stört das ökologische Gleichgewicht des Waldes

Natürliche Ökosysteme sind heute einer 5 bis 10-fach höheren Belastung mit Stickstoff ausgesetzt als in vorindustriellen Zeiten. Ursachen dafür liegen in der Nutzung fossiler Energieträger, in der Viehzucht und in der Düngung landwirtschaftlicher Flächen. Am LTER Standort Zöbelboden (LTER steht für „Long-term Exosystem Research“, ökosystemare Langzeitforschung) beträgt die Gesamtstickstoffdeposition in den Wald ca. 30 bis 40 kg/ha/Jahr.

Waldökosysteme sind Luftschadstoffen generell stärker ausgesetzt als andere Landnutzungsformen. So wird am LTER Standort der gebietspezifische Grenzwert für Eutrophierung, gemessen an den Freilandeinträgen laut Critical Loads der UNECE, eingehalten, während er im Wald deutlich überschritten wird. Die Wälder reagieren auf so hohe Stickstoffmengen unterschiedlich: Während am Zöbelboden Fichtenwälder in manchen Jahren große Mengen Nitrat ans Grundwasser abgeben, wird Stickstoff in Buchenmischwäldern effizient gebunden. Nitratverluste sind ein sicheres Zeichen für zu hohe Stickstoffeinträge in Waldökosysteme. Abbildung 1 zeigt im Zeitraum von 1993 bis 2006 eine überwiegend positive Nitrat-Bilanz, d. h. dass in den meisten Jahren Stickstoff im Ökosystem Wald gebunden wurde. In den Jah-

ren, in denen eine negative Bilanz zu verzeichnen war, wurde zu viel Stickstoff in das Gebiet verfrachtet und das Nitrat ins Grundwasser ausgeschwemmt. Gerade im Fichtenwald gibt es immer wieder Jahre, in denen große Mengen Nitrat ins Grundwasser gelangen.

Neben den Störungen des Stoffhaushalts wird auch die Biodiversität negativ beeinflusst. Die Vielfalt an Flechten, Moosen und Gefäßpflanzen geht langfristig verloren, zusätzlich wird die Schutzfunktion des Waldes gestört. Die baumbewohnenden Flechten sind ein besonders guter Indikator für Stickstoffeffekte. Erholten sich die Flechten durch das Nachlassen des „Sauren Regens“ in den 90er und 2000er Jahren langsam, gehen heute viele Arten aufgrund von Nährstoffanreicherung verloren. Am Zöbelboden führten die langjährigen Überschreitungen der Grenzwerte für Stickstoffeintrag seit dem Jahr 2005 zu einem starken Rückgang der epiphytischen Flechtenvielfalt (Abbildung 2).

Die für den Schutz der Funktionsfähigkeit von Ökosystemen zu hohen Stickstoffeinträge sind ein europaweites Problem. Die Arbeitsgruppen der UNECE erarbeiten auf Basis der Messungen an Monitoring-Standorten wie dem Zöbelboden die Grundlagen für politische Maßnahmen zur Emissionsreduktion.

Quellen/References

- Jost, G., Dirnböck, T., Grabner, M.-T. & Mirtl, M. 2011. Nitrogen leaching of two forest ecosystems in a Karst watershed. *Water Air and Soil Pollution* 218: 633–649.
- Pröll G., Dullinger S., Dirnböck T., Kaiser C. & Richter A. 2011. Effects of nitrogen on tree recruitment in a temperate montane forest as analysed by measured variables and Ellenberg indicator values. *Preslia* 83(1): 111–127.
- Diwold, K., Dullinger, S., Dirnböck, T. 2010. Effect of nitrogen availability on forest understorey cover and its consequences for tree regeneration in the Austrian limestone Alps – *Plant Ecology* 209: 11–22.

- Dirnböck, T., Mirtl, M. 2009: Integrated monitoring of the effects of airborne nitrogen and sulfur in the Austrian Limestone Alps. Is species diversity a reliable indicator? – *Mountain Research and Development* 29: 153–160.
- Hülber, K., Dirnböck, T., Kleinbauer, I., Willner, W., Dullinger, S., Karrer, G., Mirtl, M. 2008. Long-term impacts of nitrogen and sulphur deposition on forest floor vegetation in the Northern limestone Alps, Austria. *Applied Vegetation Science* 11: 395–404.
- Zechmeister, H.G., Dirnböck, T., Hülber, K., Mirtl, M. 2007. Assessing airborne pollution effects on bryophytes – Lessons learned through long-term integrated monitoring in Austria. – *Environmental Pollution* 147: 696–705.

Abbildung 1: Jahresbilanzen von Stickstoffeinträgen und Stickstoffausträgen.

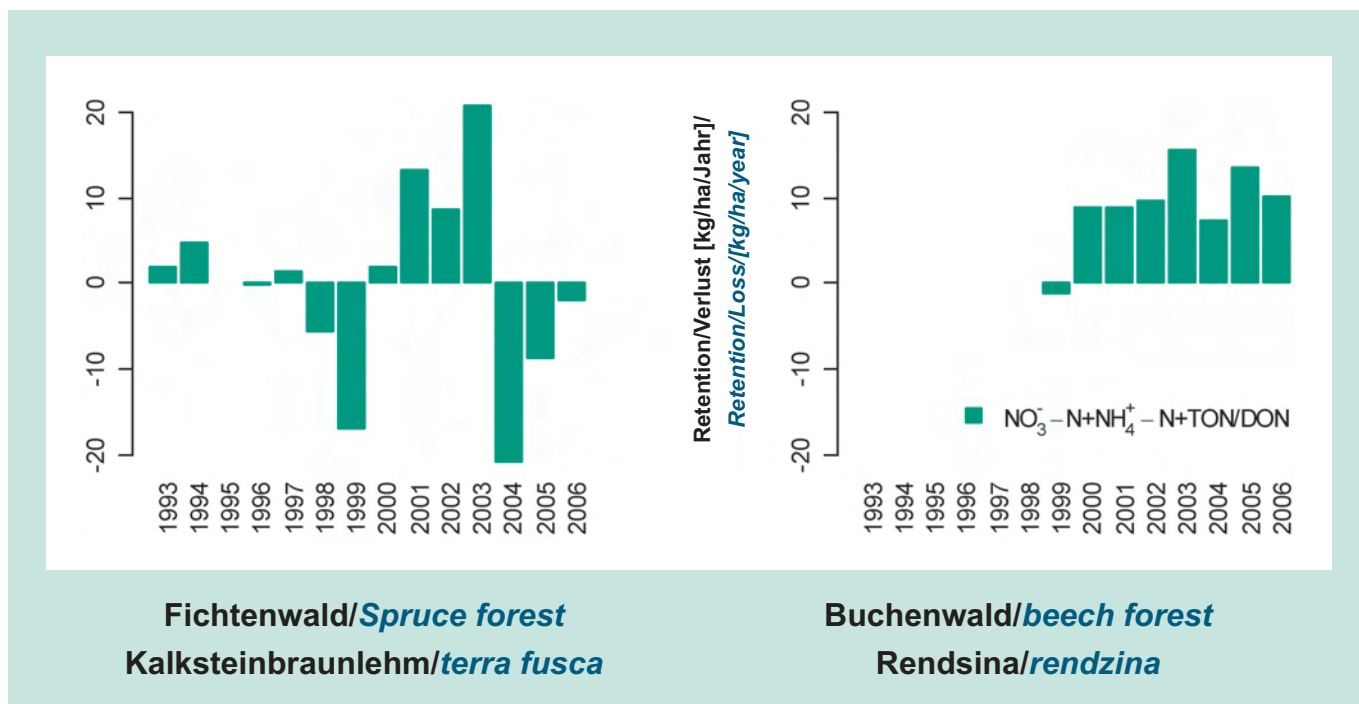


Figure 1: Annual balance between nitrogen inputs and nitrogen outputs.

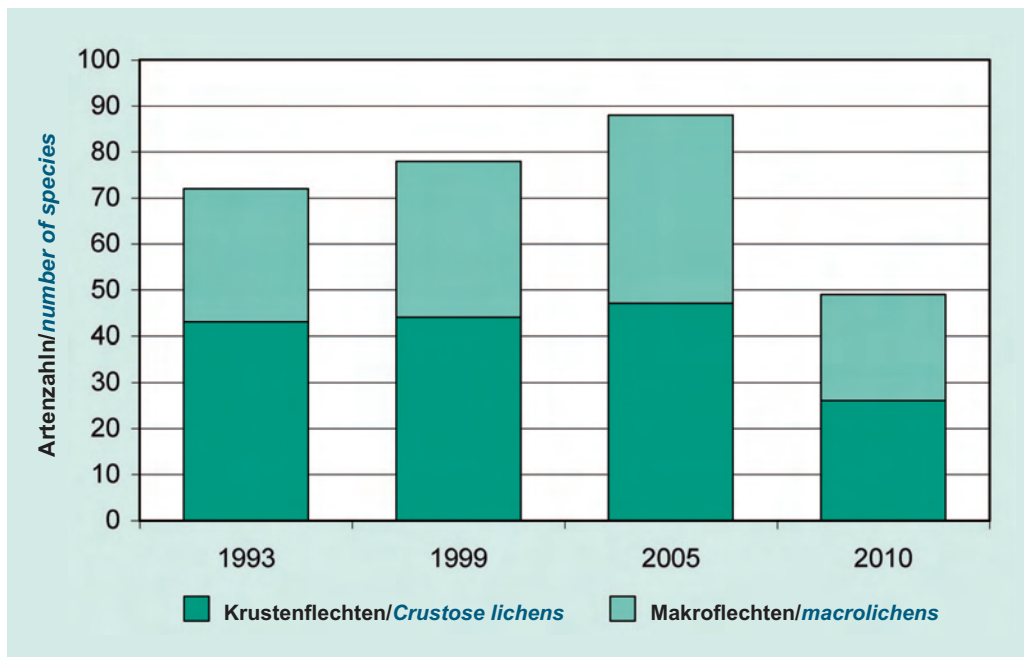


Abbildung 2:
Entwicklung der
baumbewohnenden
Flechtenarten am
Zöbelboden.

Figure 2: Development of epiphytic lichen diversity at the Zöbelboden.

Flechtenvielfalt: Fingerförmige Becherflechte (*Cladonia digitata*) am Zöbelboden.



Lichen diversity: Finger cup lichen (*Cladonia digitata*) at Zöbelboden.

Forest disturbances:
bark beetle at work.



Results 2: Carbon sink

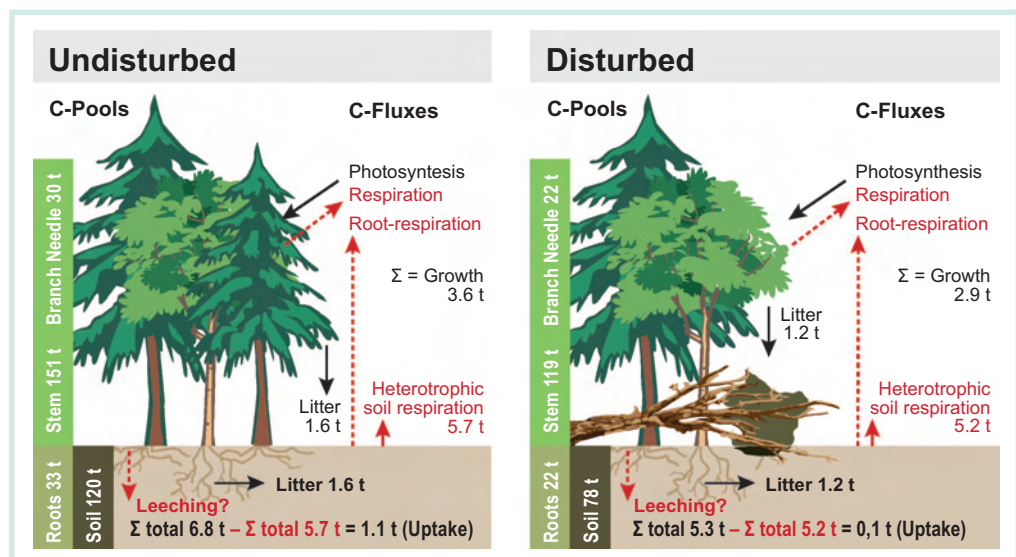
Trees absorb the greenhouse gas CO₂ from the atmosphere and thus make an important contribution to climate change mitigation. Indirect influences from climate change such as storms and bark beetle infestation, however, may release the carbon bound up in the forest. This effect is currently being investigated at the Zöbelboden.

The impact of storms and bark beetle on forests which are CO₂ sinks

Disturbances such as windthrow and bark beetle infestation are part of the natural development and dynamics of forest ecosystems. As a consequence of global climate change, however, the negative effects from such disturbances are accumulating, with the result that damage frequency is increasing worldwide. How disturbances from small-scale windthrow events and bark beetle infestation affect the carbon balance of a montane forest has been investigated at the LTER monitoring site of Zöbelboden in cooperation with the Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape. A disturbed old-growth forest stand was compared with an adjoining undisturbed forest. The carbon balances

(Figure 3: blue frame) show that both forest stands are carbon sinks. The carbon budget for the disturbed forest (windthrow; on the right hand side) is almost balanced. If the disturbance intensifies, which can be assumed, the forest stand will become a carbon source. This is due to the decreasing carbon sequestration of the forest stand, combined with an increased breakdown of organic soil matter at the same time as a result of higher soil temperatures. The results show that more frequent occurrences of small-scale disturbances from windthrow and/or bark beetle infestation in the investigated area are likely to restrict the function of the forest as a carbon sink. The further development of the carbon balance depends on many factors and is the subject of a variety of research projects with (amongst others) the University of Natural Resources and Life Sciences.

Figure 3:
Carbon pools and fluxes
in Zöbelboden forests.
The picture on the left
shows an undisturbed forest
stand, the one on the right
a disturbed forest.





Störungen im Wald:
Borkenkäfer bei der Arbeit.

Ergebnisse 2: Kohlenstoffsenke

Bäume entziehen der Atmosphäre das Treibhausgas CO₂ und leisten so einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz. Indirekte Einflüsse des Klimawandels, wie Sturm und Borkenkäferbefall, könnten den im Wald gebunden Kohlenstoff aber wieder freisetzen. Dieser Effekt wird derzeit am Zöbelboden untersucht.

Auswirkungen von Stürmen und Borkenkäfern auf die „CO₂-Senke Wald“

Störungen wie Windwürfe und Borkenkäferbefall sind ein natürlicher Teil der Entwicklung und Dynamik von Waldökosystemen. Allerdings häufen sich als Folge des globalen Klimawandels die Belastungseffekte, sodass die Schadenshäufigkeit weltweit ansteigt. Wie sich eine Störung durch kleinräumigen Windwurf und Borkenkäferbefall auf die Kohlenstoff-Bilanz eines Berg-Waldes auswirkt, wurde am Monitoring Standort LTER Zöbelboden in Kooperation mit dem Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) untersucht. Dabei wurde ein gestörter Altbestand mit einem benachbarten ungestörten Bestand verglichen. Die Kohlenstoff-Bilanzen (Abbildung 3: blau gerahmt) zeigen, dass beide Bestände Kohlenstoff-Sen-

ken sind. Der gestörte Bestand (Windwurf; rechts) weist eine annähernd ausgeglichene Kohlenstoff-Bilanz auf. Wenn sich die Störung, wovon auszugehen ist, verstärkt, wird sich der Bestand zu einer Kohlenstoff-Quelle entwickeln. Dies hängt damit zusammen, dass die Kohlenstoff-Aufnahme des Waldbestandes abnimmt und gleichzeitig die organische Bodensubstanz infolge höherer Bodentemperaturen verstärkt abgebaut wird. Die Ergebnisse zeigen, dass häufiger auftretende kleinräumige Störungen durch Windwurf und/oder Borkenkäfer-Befall im Untersuchungsgebiet wahrscheinlich die Funktion des Waldes als Kohlenstoff-Senke einschränken. Die weitere Entwicklung der Kohlenstoffbilanz hängt von vielen Faktoren ab und wird in verschiedenen Forschungsprojekten, unter anderem mit der Universität für Bodenkultur (BOKU), untersucht.

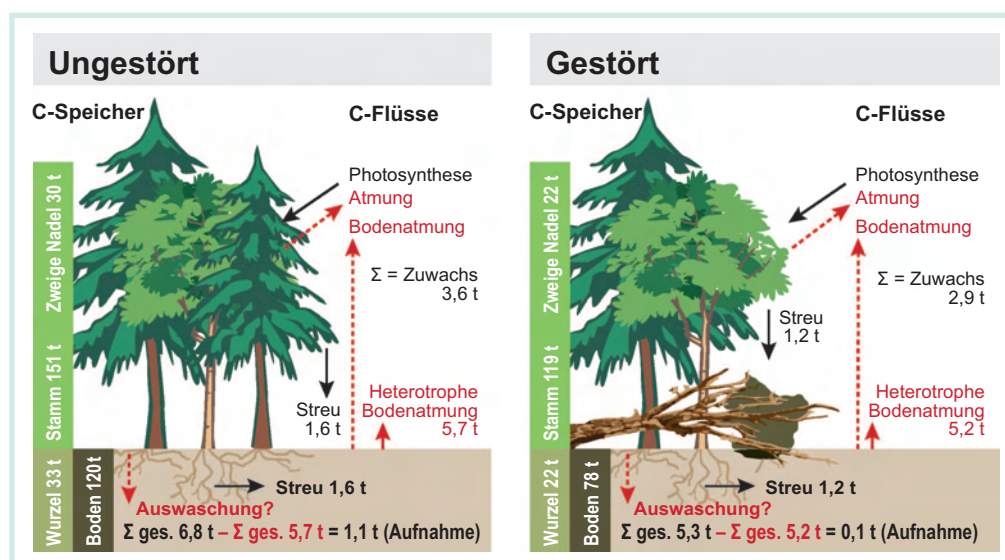
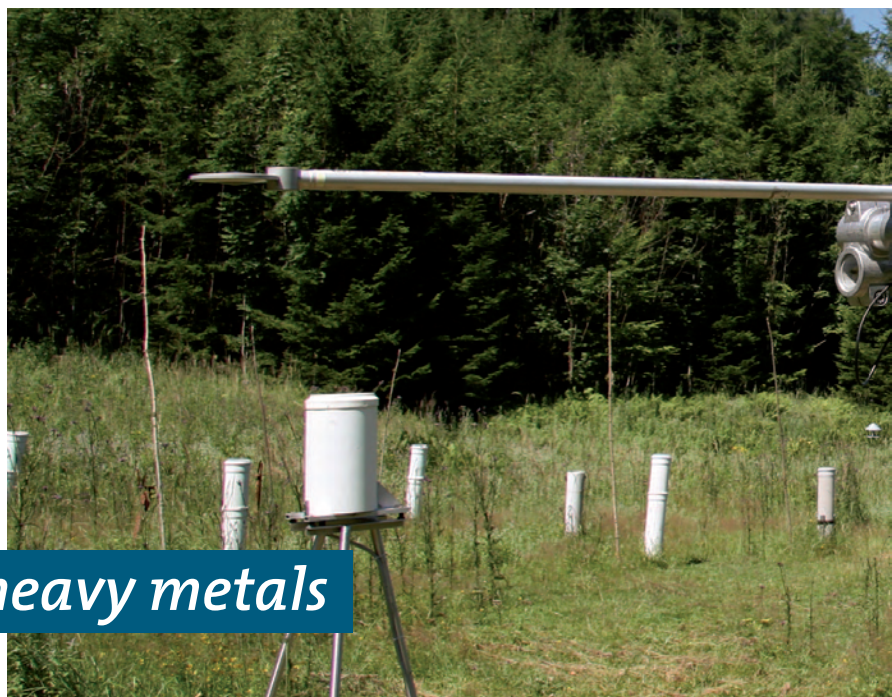


Abbildung 3:
Speicher und Flüsse von Kohlenstoff in den Wäldern am Zöbelboden.
Links: ein ungestörter Bestand, rechts: ein gestörter Bestand.



Results 3: Risk from heavy metals

As a result of emission reduction measures, ambient concentrations of critical heavy metals such as lead and cadmium have decreased dramatically (by 70-80 % at the Zöbelboden) over the last 20 years. At the same time it has been shown that the high pollutant levels over lengthy periods of time still represent a risk in drinking water.

Heavy metal deposition on the decrease since the 1980s

The Industrial Revolution and especially the economic boom after World War 2 resulted in a dramatic increase in heavy metal emissions in Europe, with the effect that heavy metals were increasingly deposited via (long-range) transport even in remote ecosystems such as the monitoring site Zöbelboden. The higher the concentrations, the higher became the potential threat to fauna, flora and to ground and drinking water.

Against this background, the Protocol on Heavy Metals to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) was adopted in Aarhus (Denmark) in 1998. One of the most important aims of the Protocol is the reduction of the three heavy metals lead, cadmium and mercury below their levels in 1990 – a target which has been successfully achieved in the case of lead and cadmium. The reduction is the result of emission abatement measures such as eliminating lead from gasoline. Checking the effectiveness of such measures is, inter alia, one of the tasks of the „Integrated Monitoring“ international cooperation project of the UNECE. The extensive investigations carried out at the LTER site of Zöbelboden in the ‘Reichraminger Hintergebirge’ mountains are Austria’s contribution to the „Integrated Monitoring“ programme.

The data measured at the Zöbelboden show that the amounts of heavy metals from long-range transport which end up in the Austrian forests today are much smaller than only a few years ago. Loads of heavy metals which are particularly harmful for the environment (cadmium, lead) remain far below the applicable guidance and limit values (which are twice and up to ten times as high as the measured values) and are much lower compared to the values measured in forest ecosystems in the 1980s. Lead and cadmium concentrations have decreased by 70-80 %. The monitoring data collected from the background site of Zöbelboden thus demonstrate the effectiveness of emission abatement measures.

At the same time, it has been shown that cadmium and lead pollution in ecosystems is still an environmental problem today. Heavy metals which are deposited in the soil are transported, or leached, into deeper soil layers much more quickly than has been assumed. Up to now, experts had assumed that heavy metals such as lead remained bound up in the soil for an extraordinarily long period of time – 100 up to 200 years. Data collected over a long period of time at the background monitoring site of Zöbelboden have shown, however, that this is not the case. These data provide information about reaction times in different soil types. The high heavy metal inputs from the 1980s may be leached into the groundwater after only a few decades and thus pollute water ecosystems and eventually our drinking water.



Luftschadstoff-Monitoring:
Messung von Schwermetallen.

Ergebnisse 3: Risiko durch Schwermetalle

Die Immissionen von kritischen Schwermetallen wie Blei und Cadmium haben in den letzten 20 Jahren aufgrund von Emissions-Minderungsmaßnahmen sehr stark abgenommen – am Zöbelboden um 70 bis 80 %. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass die hohe Belastung über lange Zeiträume noch immer ein Risiko für das Trinkwasser darstellt.

Schwermetalldeposition nimmt seit den 80er Jahren ab

Die industrielle Revolution und vor allem der wirtschaftliche Aufschwung nach dem 2. Weltkrieg führten in Europa zu einem deutlichen Anstieg der Schwermetallemissionen. In Folge wurden diese Schwermetalle durch (weiträumigen) Transport verstärkt auch in abgelegene Ökosysteme – wie das Untersuchungsgebiet Zöbelboden – eingetragen. Je höher die Konzentrationen, desto größer die potenzielle Gefährdung von Fauna, Flora und Grund- bzw. Trinkwasser.

Vor diesem Hintergrund wurde im Jahr 1998 das Schwermetallprotokoll der Genfer Konvention über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverschmutzung (CLRTAP) in Aarhus (Dänemark) verabschiedet. Eines der wichtigsten Ziele dieses Protokolls ist die Reduktion der Emissionen der drei Schwermetalle Blei, Cadmium und Quecksilber unter das Niveau von 1990 – mit Erfolg bei Blei und Cadmium. Der Rückgang ist auf internationale Maßnahmen zur Emissionsminderung wie die Bleientnahme aus dem Benzin zurückzuführen. Die Wirksamkeit solcher Maßnahmen wird unter anderem durch das Internationale Kooperationsprojekt Integrated Monitoring der UNECE überprüft. Die umfassenden Untersuchungen am LTER Standort Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge sind der österreichische Beitrag zum „Integrated Monitoring“-Programm.

Die Messdaten vom Zöbelboden zeigen, dass heute viel kleinere Mengen weiträumig transportierter Schwermetalle in die Wälder gelangen als noch vor wenigen Jahren. Die Frachten besonders umweltschädlicher Schwermetalle (Kadmium, Blei) bleiben weit unter den anwendbaren Richt- und Grenzwerten (diese liegen um das doppelte bis 10-fache über

den gemessenen Werten) und sind im Vergleich zu den Werten, die in den 1980ern in Waldökosystemen gemessen wurden, viel niedriger. So gingen die Konzentrationen von Blei und Cadmium um 70-80 % zurück. Die Monitoring-Daten vom Hintergrundstandort Zöbelboden belegen somit die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Gleichzeitig konnte nachgewiesen werden, dass die Belastung der Ökosysteme mit Blei und Cadmium noch heute ein Umweltproblem darstellt. Die Verlagerung der eingetragenen Schwermetalle in tiefere Bodenschichten, bzw. die Auswaschung, findet bei weitem schneller statt als angenommen. Bislang gingen ExpertInnen davon aus, dass Schwermetalle wie Blei außerordentlich lange – 100 bis 200 Jahre – im Boden gebunden sind. Die über einen langen Zeitraum erhobenen Daten vom Hintergrundmessstandort Zöbelboden zeigen, dass das nicht der Fall ist, und geben Informationen über die Reaktionszeiten in verschiedenen Bodentypen. Die hohen Schwermetalleinträge in den 80er Jahren können schon nach wenigen Jahrzehnten in das Grundwasser gelangen, die Gewässerökosysteme und letztlich das Trinkwasser belasten.

Quellen/References

Umweltbundesamt 2009. Long-term deposition of trace metals at the Integrated Monitoring site Zöbelboden. Element concentrations and loads between 1994 and 2008.

Report 0246, Umweltbundesamt GmbH, Vienna, Austria.

Kobler, J., Fitz, J.F., Dirnböck, T., Mirtl, M. 2010. Soil type affects migration pattern of airborne Pb and Cd under a spruce-beech forest of the UN-ECE Integrated Monitoring site Zöbelboden, Austria. Environmental Pollution 158: 849-854.

*Drinking water:
Half of the Austrian drinking water
comes from karst areas.*

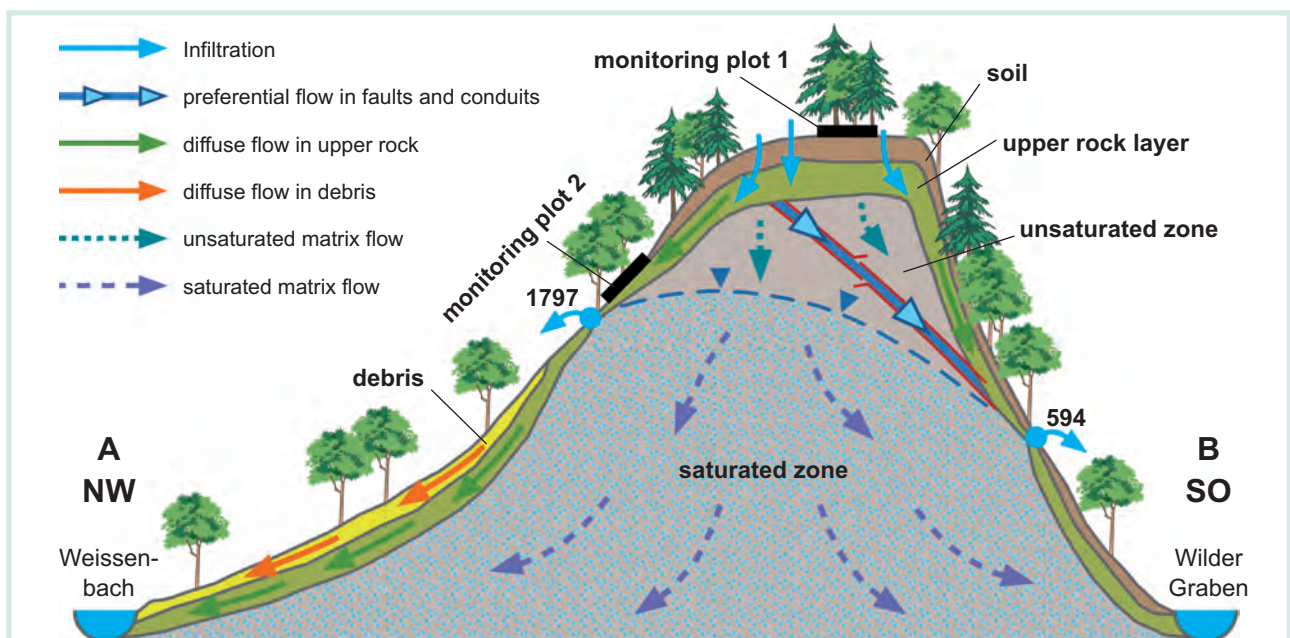
Results 4: Drinking water protection

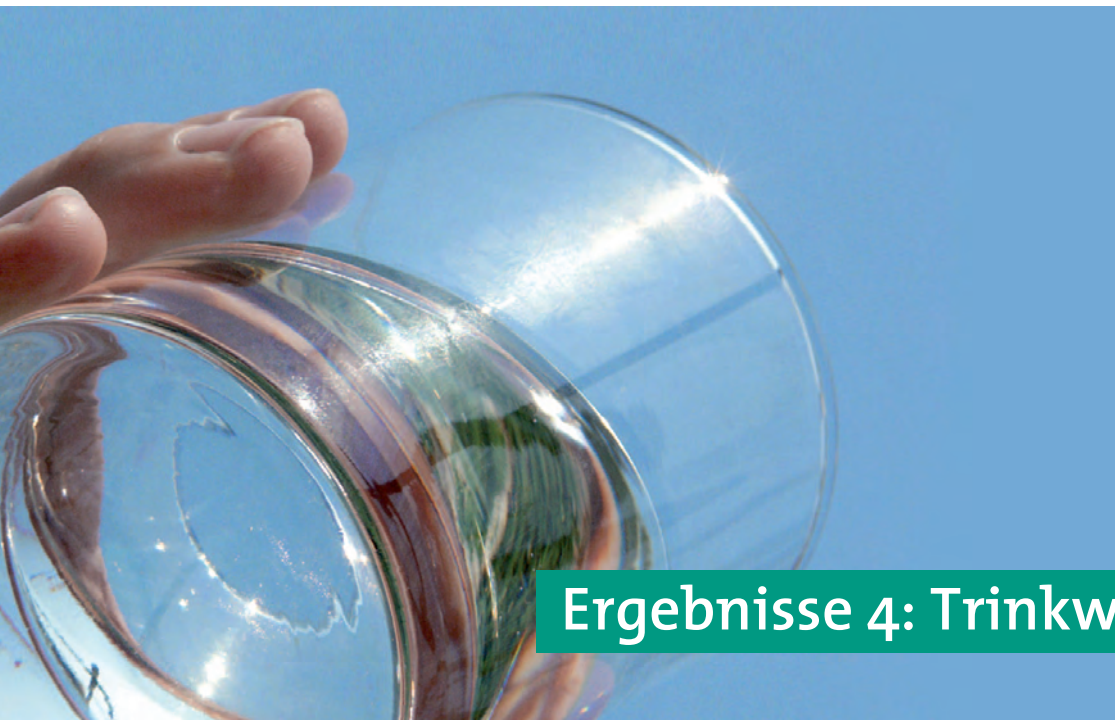
In Austria, 50 % of the population is supplied with drinking water from karst areas. The functionality of ecosystems in catchment areas is a vital requirement for the protection of drinking water resources. Long-term data collected at the Zöbelboden are incorporated into a prediction model which identifies the negative consequences of environmental changes. It helps decision makers to take measures for the sustainable protection of karst water resources.

Water catchments which are relevant to humans

In Austria 50 % of the population is supplied with drinking water from the karst areas of the Northern and Southern Limestone Alps. Functioning ecosystems in these catchments provide the livelihoods for a large number of people. Pollutant inputs and climate change disturb this functionality. Extensive karst-hydrological measurement and modelling activities at the Zöbelboden allow estimations of how the water supply for the population will change and how the water suppliers can adapt to the new conditions.

Figure 4:
Water flows in the water catchment of Zöbelboden.
At the monitoring plots on the plateau and on the slope, substances are measured which are carried to the springs along the flow path and then end up in the drinking water.





Trinkwasser:
50 % des österreichischen
Trinkwassers kommen aus
Karstgebieten.

Ergebnisse 4: Trinkwasserschutz

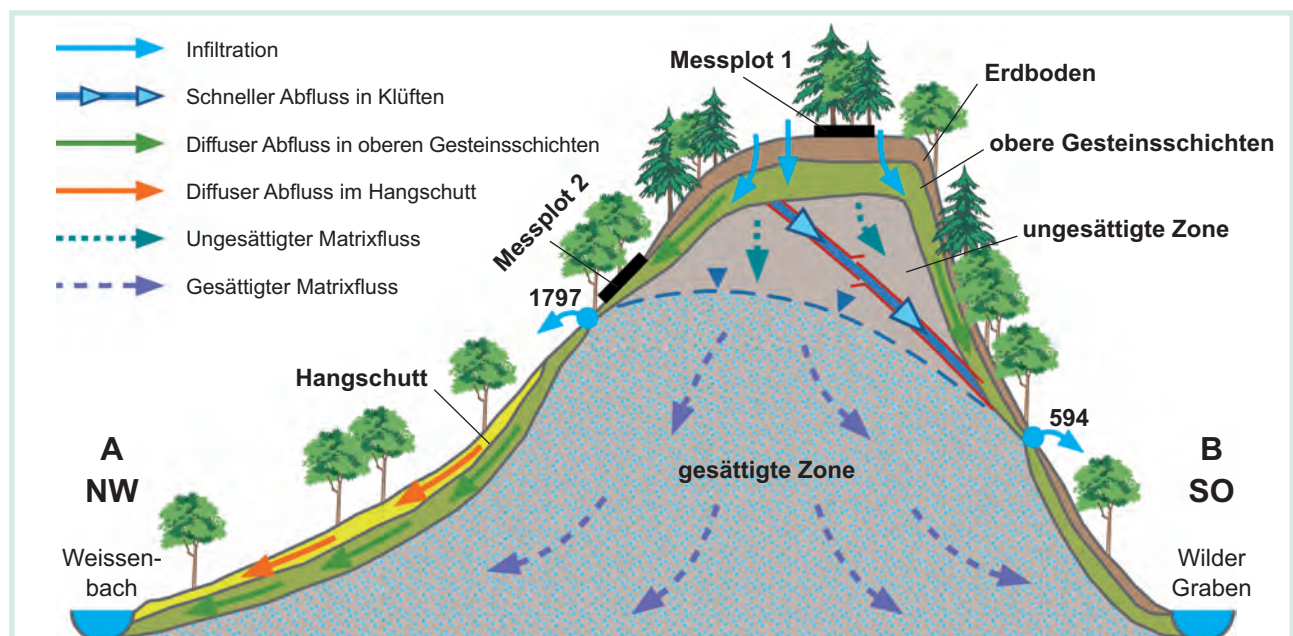
In Österreich werden 50 % der Bevölkerung mit Trinkwasser aus den Karstgebieten versorgt. Die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme in den Einzugsgebieten ist eine Voraussetzung für den Schutz dieser Ressource. Die Langzeitdaten des Zöbelboden fließen in ein Vorhersagemodell ein, das negative Auswirkungen von Umweltveränderungen erkennt. Es hilft EntscheidungsträgerInnen, Maßnahmen für den nachhaltigen Schutz der Karstwasserreserven zu setzen.

Für den Menschen relevante Wassereinzugsgebiete

In Österreich werden 50 % der Bevölkerung mit Trinkwasser aus den Karstgebieten der Nördlichen und Südlichen Kalkalpen versorgt. Funktionierende Ökosysteme in den Einzugsgebieten sind die Lebensgrundlage für viele Menschen. Schadstoffeinträge und der Klimawandel stören deren Funktionsfähigkeit. Umfassende karsthydrologische Messungen und Modellierungen vom Zöbelboden ermöglichen es abzuschätzen, wie sich die Wasserversorgung des Menschen verändern wird und wie sich die Wasserversorger an die neuen Rahmenbedingungen anpassen können.

Abbildung 4:

Wasserflüsse im Wassereinzugsgebiet Zöbelboden. An den Messplots am Plateau und im Hang werden die Stoffe gemessen, die über die Fließwege an die Quellen und damit ins Trinkwasser transportiert werden.



In tracer experiments, experts of the Environment Agency Austria have shown how precipitation seeps into deeper-lying systems and reaches the surrounding watercourses through the springs. The tracer experiments also showed how the water moves at different speeds through the rock fissure system. While the tracer substance could be detected within a day at some of the springs, traces of the same substance were still found at another spot four years after the experiment. Age detection with CFCs, tritium and helium has shown that the mean residence times at some of the springs in the area are up to 20 years or more. Special sampling and analytical methods show how pollutants pass through the mountain massif during heavy rainfall events.

The analysis of the data collected at the Zöbelboden site provides the basis for a hydrological prediction model, calibrated by the University of Freiburg with manifold measured data. The purpose of the model is to allow a scientifically sound assessment of changes in environmental conditions. Coupling long-term assessment and model development makes it possible to place the findings in a larger context.

One example is the EU ORIENTGATE project, launched in 2012 with the Zöbelboden as one of six test sites. Together with Joanneum Research and the University of Natural Resources and Life Sciences it is examined how climate change affects nitrate leaching. Measurements at the Zöbelboden have shown that during the snow melting period and during thundery summer showers increased levels of nitrate are found in the spring water. Researchers intend to find out whether increased nitrate concentrations will occur more often in the future and how water suppliers can prepare themselves for this situation. Here not only climate change plays an important part but also the way the forest is managed, since excessive timber harvesting and soil damage lead to additional nitrate loss. The long-term data collected at the Zöbelboden, in combination with individual research-oriented projects and models, provide an ideal basis for the interdisciplinary development of perspectives and solutions to a variety of environmental problems.

In Markierungsversuchen mit Farbtracern wiesen die ExpertInnen des Umweltbundesamt nach, wie der Niederschlag in tiefere Systeme sickert und durch Quellen die umliegenden Gerinne erreicht. Die Markierungsversuche zeigten auch, wie unterschiedlich schnell sich das Wasser durch das Kluftsystem bewegt. Kam es an manchen Quellen bereits innerhalb eines Tages zur Detektion des eingespeisten Markierstoffes, konnten dessen Spuren an anderer Stelle noch vier Jahre nach dem Experiment nachgewiesen werden. Altersbestimmung mit FCKWs, Tritium und Helium ergaben, dass manche Quellen des Gebiets mittlere Verweilzeiten von bis zu 20 Jahren und mehr aufweisen. Spezielle Beprobungs- und Analyseverfahren zeigten, wie Schadstoffe bei Starkregenereignissen den Gebirgsstock passieren.

Die Analyse der Daten vom Zöbelboden bildet die Grundlage für ein hydrologisches Vorhersagemodell, das von der Universität Freiburg mit den vielfältigen Messdaten kalibriert wird. Das Modell dient dazu, die Auswirkungen von geänderten Umweltbedingungen wissenschaftlich fundiert abzuschätzen. Die Kopplung der Langzeitbeobachtung und der Modellentwicklung ermöglicht es, die Erkenntnisse in einen größeren Zusammenhang zu stellen.

Ein Beispiel dafür ist das Transnationale EU Projekt ORIENTGATE, das im Jahr 2012 mit dem Zöbelboden als einem von sechs Testgebieten startete. Gemeinsam mit der Joanneum Research und der Universität für Bodenkultur (BOKU) wird untersucht, wie sich der Klimawandel auf den Austrag von Nitrat auswirkt. Messungen am Zöbelboden belegen, dass während der Schneeschmelze und während sommerlichen Gewitterregens verstärkt Nitrat im Quellwasser zu finden ist. Die ForscherInnen wollen klären, ob der erhöhte Nitratreintrag künftig häufiger vorkommen wird und wie sich ein Wasserversorger auf diese Situation vorbereiten kann. Dabei spielt nicht nur Klimawandel, sondern auch die Form der Waldwirtschaft eine Rolle, da starke Holzentnahmen und Bodenverletzungen zu Nitratverlust führen. Die Langzeitdaten des Zöbelboden in Kombination mit forschungsorientierten Einzelprojekten und Modellen sind eine ideale Grundlage, um interdisziplinär Perspektiven und Lösungen für verschiedene Umweltprobleme zu entwickeln.

Quellen/References

Humer, F. and M. Kralik (2008). Integrated Monitoring Zöbelboden: Hydrologische und hydrochemische Untersuchungen. Unpubl. Rep. Environment Agency, Vienna, pp. 34.

Kralik, M., F. Humer, W. Papesch, R. Tesch, A. Suckow, L. F. Han and M. Gröning (2009). Karstwater-ages in an alpine dolomite catchment, Austria: $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , $^3\text{H}/^3\text{He}$, CFC and dye tracer investigations. European Geosciences Union, General Assembly, 19.-24. April 2009 Vienna 11(09180).

Hartmann, A., Kralik, M., Humer, F., Lange, J. and M. Weiler (2011). Identification of a karst system's intrinsic hydrodynamic parameters: upscaling from single springs to the whole aquifer. Environmental Earth Sciences: [DOI 10.1007/s12665-011-1033-9].

Abflussmessstelle an einer Karstquelle am LTER-Standort Zöbelboden.



Runoff measurement at a karst spring at the LTER site Zöbelboden.

Target:
Set foundations within the network
for the sustainable development of
environment and society.



Outlook: Sustainable development

Information for sustainable development: LTER Zöbelboden provides reliable findings about long-term ecosystem processes. In addition to that, LTSE also considers the human factor, as well as an extended reference area which includes the whole region and thus provides results which help society, politics and business to embark on a sustainable development path.

The future:
Zöbelboden as part of the European LTER Network
LTER (Long-term Ecosystem Research)

„LTER“ stands for long-term ecosystem research: research which is concerned with ecosystems in their entirety, and with the development of processes and structures over decades. Since 2012 LTER has been part of the international programme of the Austrian Academy of Sciences. This has ensured that the results from the Zöbelboden site are linked to other research projects and strategies, bringing Austria one decisive step closer to the early detection of environmental problems, the precautionary principle and sustainable development. At European level, networking and research and strategy development are stipulated in the 6th and 7th research framework programmes and in related measures aimed at building research infrastructures.

Since the 1970s sites of long-term ecosystem research have mostly been defined in terms of their natural characteristics (e.g. catchments of small water bodies). They were limited in size (10 – 1,000 hectares) and, preferably, they were semi-natural areas with protection status. At the beginning of the 21st century intensive discussions started about the future orientation of existing and planned LTER networks. Sustainable preservation of essential ecosystem services against a background of global change had been the central political goal formulated prior to the discussions. In Austria, too, the available LTER infrastructure was consolidated. Within the national LTER-Austria network there are 34 other Austrian LTER sites in addition to the Zöbelboden. With their group („Trägerver-

bund“) of highly instrumented forest sites, the University of Natural Resources and Life Sciences, the Federal Research Centre for Forests and the Environment Agency Austria demonstrate their commitment to cooperation and to the preservation of LTER sites, thus setting the foundation for the future of the Zöbelboden. LTER Austria is part of LTER Europe, which combines more than 400 research sites, 100 institutions and thousands of research projects within 21 national networks, covering the full range of European ecosystems from the Arctic and alpine sites to Mediterranean ecosystems (Figure 5). By aligning these sites with European standards it becomes possible to identify long-term ecological changes on different scales – from local to continental – and to interpret them.

LTSE (Long-Term Socio-Ecological Research)

What all innovation processes within LTER have in common is the aim to broaden the ecosystem concept. This involves integrating social, economic as well as demographic aspects and aspects of historical use. This is the only way to meet the requirements of modern ecosystem research and to find answers to the questions arising from global change. LTSE symbolises traditional ecosystem research with the added human factor. The challenge is to make selected regions into key areas that are part of sophisticated research networks which combine several scientific disciplines and work in close interaction with local communities, regional developers and decision-makers. In Austria, two regions have been selected for the implementation of an LTSE platform project: „High Alps“ in the Ötztal and Stubai Alps and „Eisenwurz“ in the Northern Lime-



Das Ziel:

Im Netzwerk Grundlagen für eine nachhaltige Entwicklung von Umwelt und Gesellschaft schaffen.

Ausblick: Nachhaltige Entwicklung

Informationen für nachhaltige Entwicklung: LTER am Zöbelboden liefert fundierte Erkenntnisse zu ökosystemaren Prozessen über lange Zeiträume. LTSER bringt zusätzlich den Faktor Mensch ins Spiel, dehnt den Bezugsraum auf die ganze Region aus und liefert so Ergebnisse, die Gesellschaft, Politik und Wirtschaft helfen, nachhaltige Entwicklungspfade einzuschlagen.

Die Zukunft:

Der Zöbelboden als Teil des Europäischen LTER Netzwerks LTER (Long-term Ecosystem Research)

„LTER“ steht für ökosystemare Langzeitforschung: Forschung, die sich mit der Gesamtheit von Ökosystemen, der Entwicklung von Prozessen und Strukturen über Jahrzehnte befasst. Seit 2012 ist LTER Teil der internationalen Programme der Österreichischen Akademie der Wissenschaften. Damit ist die Vernetzung der Ergebnisse vom Standort Zöbelboden mit anderen nationalen Forschungsprojekten und -strategien gesichert und Österreich der Früherkennung von Umweltproblemen, dem Vorsorgeprinzip und einer nachhaltigen Entwicklung einen wichtigen Schritt näher. Auf europäischer Ebene werden die Vernetzung und die Forschungs-Strategiebildung durch das 6. und 7. Forschungsrahmenprogramm und durch entsprechende Maßnahmen zum Aufbau von Forschungsinfrastruktur Rechnung getragen.

Seit den 70er Jahren waren Standorte ökosystemarer Langzeitforschung meist naturräumlich definiert (z. B. Einzugsgebiete kleiner Gewässer), von begrenzter Größe (10 - 1.000 ha) und vorzugsweise naturnahe Gebiete mit Schutzcharakter. Mit Beginn des 21. Jahrhunderts setzte eine intensive Diskussion über die künftige Ausrichtung bestehender und geplanter LTER-Netzwerke ein. Der zentrale politische Auftrag, essenzielle Ökosystemleistungen angesichts des globalen Wandels nachhaltig zu sichern, ging dieser Diskussion voraus. Auch in Österreich kam es zu einer Konsolidierung der verfügbaren LTER Infrastruktur. Im nationalen Netzwerk LTER-Austria sind neben dem Zöbelboden 34 weitere

österreichische LTER-Standorte vertreten. Die Universität für Bodenkultur, das Bundesforschungszentrum für Wald und das Umweltbundesamt bekennen sich mit einem Trägerverbund hochinstrumentierter Waldstandorte zur Kooperation und zum Erhalt ihrer LTER Standorte, womit der Grundstein für die Zukunft des Zöbelboden gelegt ist. LTER Austria ist Teil von LTER Europe, das über 400 Forschungsstandorte, 100 Institutionen und tausende Forschungsprojekte in 21 nationalen Netzwerken vereint und die ganze Bandbreite europäischer Ökosysteme von arktischen und alpinen bis zu mediterranen Standorten abdeckt (Abbildung 5). Durch die Ausrichtung der Standorte nach europäischen Standards wird es möglich, langfristige ökologische Veränderungen auf verschiedenen Skalenebenen – lokal bis kontinental – zu erkennen und zu interpretieren.

LTSER (Long-Term Socio-Ecological Research)

Alle Innovationsprozesse in LTER verbindet der Anspruch, den Ökosystem-Begriff auszuweiten. Ziel ist die Integration sozialer, wirtschaftlicher, demoskopischer und nutzungs-geschichtlicher Aspekte. Nur so wird es möglich sein, den Anforderungen an moderne ökologische Forschung gerecht zu werden und die Fragen, die durch den globalen Wandel aufgeworfen werden, zu beantworten. LTSER symbolisiert traditionelle Ökosystemforschung erweitert um den Faktor „Mensch“. Die Herausforderung besteht darin, ausgewählte Regionen zu Schwerpunkt-Räumen hoch vernetzter Forschung zu entwickeln – quer über wissenschaftliche Disziplinen und in enger Wechselwirkung mit der lokalen Bevölke-

stone Alps, which cover parts of Styria as well as Lower and Upper Austria. The Zöbelboden and the other classic LTER sites represent important ecosystem types of landscapes found in the Eisenwurzen area. With the integrative LTSE approach it is possible to deal with issues from the regions in an interdisciplinary manner and to provide results which have a relevance to society and which facilitate decision-making in favour of sustainable development at local, regional and national level.

Figure 5:

LTER and LTSE infrastructure in Austria, as part of the European network.

LTER: Candidate and Formal member

rung, RegionalentwicklerInnen und EntscheidungsträgerInnen. In Österreich wurden zwei Regionen ausgewählt, in denen das Konzept der LTSE Plattform umgesetzt wird: „High Alps“ in den Ötztaler und Stubai Alpen und „Eisenwurzen“ in den Nördliche Kalkalpen mit Anteilen an Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark. Der Zöbelboden und die anderen klassischen LTER Standorte repräsentieren wichtige Ökosystemtypen der Landschaften in der Eisenwurzen. Der integrative Ansatz von LTSE ermöglicht es, die Fragen aus der Region interdisziplinär zu bearbeiten und gesellschaftlich relevante Ergebnisse zu liefern, die die Entscheidungsfindung zugunsten nachhaltiger Entwicklung auf lokaler, regionaler und nationaler Ebene erleichtern.



Abbildung 5: LTER und LTSE Infrastruktur in Österreich als Teil des europäischen Netzwerkes. LTER: Kandidat und **Formales Mitglied**

Figure 6:
Integration of long-term
monitoring and research.



Abbildung 6: Integration von Langzeit-Monitoring und -Forschung.

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Weitere Informationen/*Further informations*

- http://www.umweltbundesamt.at/oekosystem_monitoring
(LTER Zöbelboden)
- <http://www.environment.fi/default.asp?node=6318&lan=EN>
(UNECE ICP Integrated Monitoring)
- www.kalkalpen.at
(Nationalpark Kalkalpen)
- www.oebf.at
(Österreichische Bundesforste)
- <http://www.lter-europe.net>
(LTER Europe)
- www.lter-austria.at
(LTER Austria)
- http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/lter_allgemein/mfrp_eisenwurzten/
(LTSER Eisenwurzten)

