

Bedeutung des Bodenwassergehaltes für Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten im Boden

ANDREAS BOHNER, MYRIAM ADAM, MATTHIAS KANDOLF & MARTINA SCHINK

Einleitung

Zur Vermeidung von negativen Umweltauswirkungen (insb. Nitrat-Auswaschung und N_2O -Freisetzung) und für die effiziente Verwertung von Dünger-Stickstoff sind Kenntnisse über die Brutto-Nitrifikation und Denitrifikation im Boden erforderlich. Unter Brutto-Nitrifikation versteht man die mikrobielle Oxidation von Ammonium zu Nitrat; sie umfasst die gesamte Nitrat-Produktion ohne Abzug des mikrobiellen Eigenbedarfs (Immobilisierung). Denitrifikation bedeutet die mikrobielle Reduktion von Nitrat unter anaeroben Bedingungen zu den gasförmigen Stickstoff-Verbindungen NO , N_2O und N_2 . Die Brutto-Nitrifikationsrate bestimmt die im Boden insgesamt gebildete Menge an NO_3^- -N. Die Denitrifikationsrate hingegen regelt den gasförmigen Verlust an NO_3^- -N. Beide Prozesse werden sehr wesentlich von der Bodentemperatur und vom Bodenwassergehalt beeinflusst (BRADY und WEIL 1999). Vor allem die Brutto-Nitrifikationsrate zeigt im Temperaturbereich $10^\circ C$ bis $25^\circ C$ einen exponentiellen Anstieg mit zunehmender Bodentemperatur. Eine Erhöhung der Bodentemperatur um $2^\circ C$ steigert die Brutto-Nitrifikationsrate um den Faktor 1.135 und die Denitrifikationsrate um den Faktor 1.071 (BOHNER et al. 2004). Während des Jahres kommt es in den obersten Bodenschichten nicht nur zu markanten Temperaturschwankungen, sondern auch der Bodenwassergehalt ändert sich ständig. Aus diesen Gründen weisen die Nachlieferung von pflanzenaufnehmbarem Stickstoff und die gasförmigen Stickstoff-Verluste durch Denitrifikation hohe saisonale und witterungsbedingte Schwankungen auf. Das primäre Ziel dieser Arbeit ist es daher, den Einfluss des Bodenwassergehaltes auf die Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten bei konstanter Bodentemperatur experimentell zu untersuchen.

Material und Methoden

Um die hohe räumliche Variabilität der Denitrifikation (FOLORUNSO und ROLSTON 1984) zu minimieren, wurde anstelle von ungestörten, feldfrischen Bodenproben Blumenerde verwendet. Diese besteht aus Torf (85 Vol.%) und Kompost (15 Vol.%). Der pH-Wert wird vom verantwortlichen Inverkehrbringer mit 5-6 und der verfügbare Stickstoff mit $200-500 \text{ mg l}^{-1}$ angegeben. Der N_{tot} -Gehalt beträgt $3,71 \text{ g kg}^{-1}$. Durch Zugabe von Wasser wurde ein abgestufter Bodenwassergehalt von 58 bis 79 Gew.% erzielt. Der Bodenwassergehalt wurde gravimetrisch bestimmt. Die Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten wurden bei $20^\circ C$ mittels BaPS (barometrische Prozess-Separation) analysiert.

Ergebnisse und Diskussion

Der Verlauf der Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt ist in Abbildung 1 und 2 graphisch dargestellt. Wird der Bodenwassergehalt von 60 auf 80 Gew.% angehoben, dann kommt es bei einer konstanten Bodentemperatur von $20^\circ C$ zu einer deutlichen Verminderung der Brutto-Nitrifikationsrate während die Denitrifikationsrate steigt. Diese Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt kann mit einer polynomischen Funktion beschrieben werden. Die Beziehung zwischen Bodenwassergehalt und Denitrifikationsrate weist – im Gegensatz zu jener mit der Brutto-Nitrifikationsrate – allerdings ein sehr niedriges Bestimmtheitsmaß auf; dies ist ein Hinweis für eine hohe räumliche und zeitliche Variabilität der Denitrifikation (vgl. FOLORUNSO und ROLSTON 1984, RHEINBABEN 1990). Im untersuchten Bodenwassergehaltsbereich vermindert sich die Brutto-Nitrifikationsrate von $147,9 \text{ mg N pro kg Boden und Tag}$ auf $7,8 \text{ mg N}$ während die Denitrifikationsrate von $5,2 \text{ mg N}$ auf $15,0 \text{ mg N pro kg Boden und Tag}$ ansteigt. Zwischen 60 und 80 Gew.% Bodenfeuchtigkeit hat eine kleine Veränderung des Bodenwassergehaltes große Auswirkungen auf die Nitrat-Verfügbarkeit im Boden. Wenn sich der Bodenwassergehalt von 80 auf 60 Gew.% vermindert, steigt bei konstanter Bodentemperatur die Brutto-Nitrifikationsrate beinahe um das 20fache, während sich die Denitrifikationsrate nur um das 3fache vermindert. Das Verhältnis Brutto-Nitrifikationsrate zu Denitrifikationsrate sinkt von 18 auf 0,5, sobald der Bodenwassergehalt

von 60 auf 80 Gew.% ansteigt (Abbildung 3); bei 80 Gew.% Bodenwassergehalt ist die Denitrifikationsrate höher als die Brutto-Nitrifikationsrate. Brutto-Nitrifikation und Denitrifikation sind somit gegenläufige Prozesse, die im Boden synchron ablaufen, wobei das jeweilige Ausmaß sehr wesentlich vom Bodenwassergehalt determiniert wird.

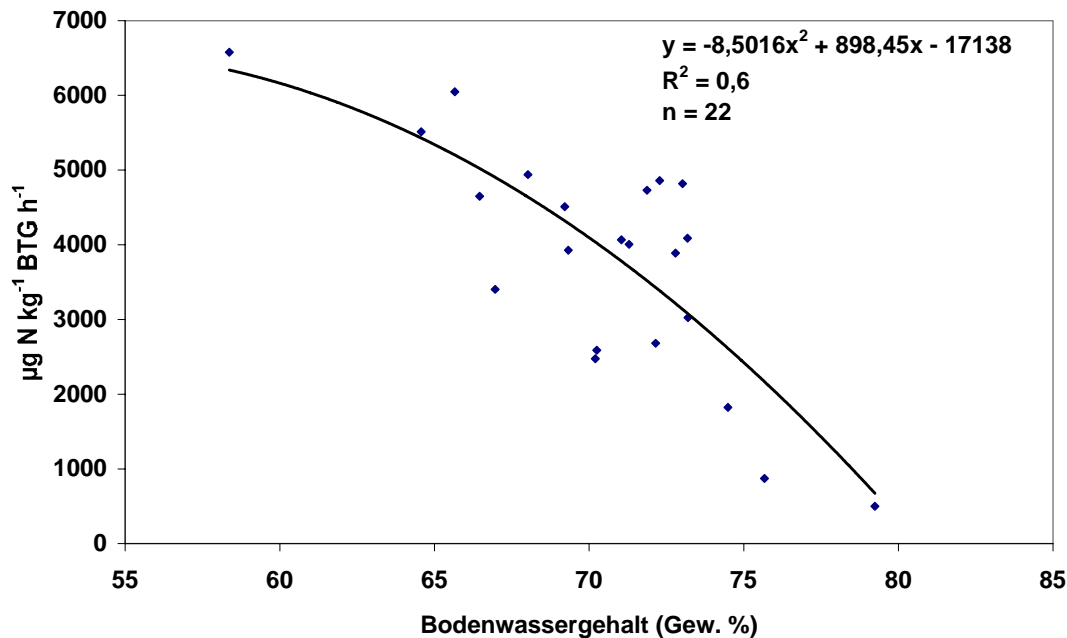


Abbildung 1: Brutto-Nitrifikationsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt (Temperatur: 20° C)

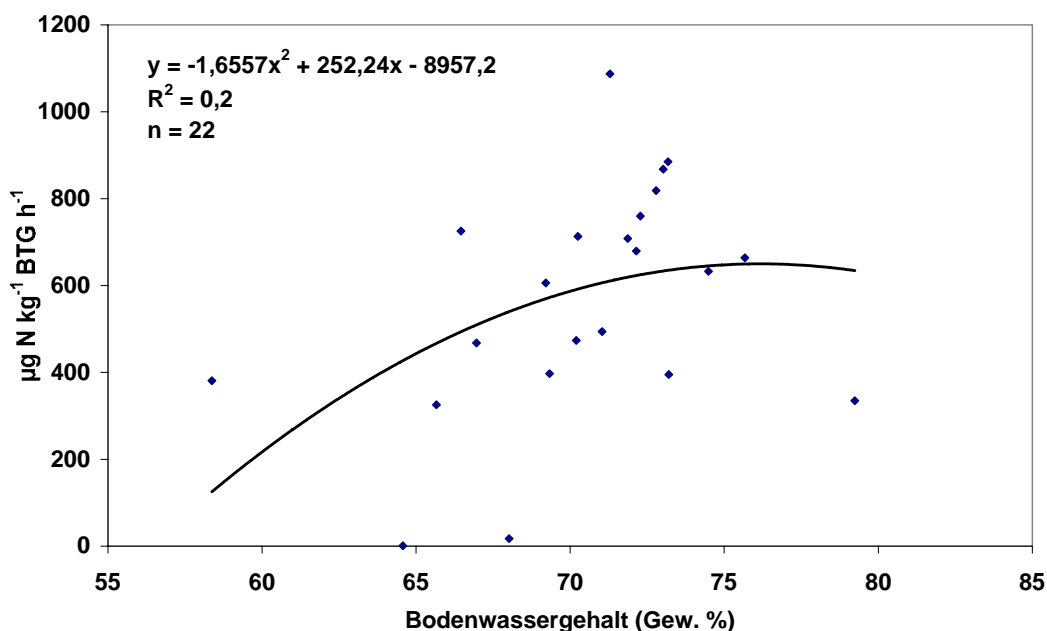


Abbildung 2: Denitrifikationsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt (Temperatur: 20° C)

Zwischen dem Wassergehalt im Boden und der Bodentemperatur bestehen Wechselwirkungen hinsichtlich Nitrifikation und Denitrifikation. Steigende Bodentemperaturen fördern die Brutto-Nitrifikation (BOHNER et al. 2004) nur solange wie der Bodenwassergehalt günstig ist, denn die Nitrifikation ist ein streng aerober Prozess, der bei ca. 60 % Wasser-gefülltem Porenvolumen sein Maximum erreicht (BRADY und WEIL 1999). Unter anaeroben Verhältnissen findet keine Nitrifikation statt; es kommt vielmehr zur Denitrifikation von vorhandenem Nitrat, wobei die denitrifikativen Stickstoff-Verluste mit steigender Bodentemperatur (BOHNER et al. 2004) und

Nitrat-Konzentration zunehmen. Hohe gasförmige Stickstoff-Verluste sind vor allem auf wechselfeuchten Standorten (Pseudogleye und krumenpseudovergleyte Böden) möglich, weil aerobe Phasen mit intensiver Nitrifikation und anaerobe Phasen mit hoher Denitrifikation abwechseln (vgl. PATRICK 1982). Durch intensive Beweidung und/oder häufiges Befahren mit schweren landwirtschaftlichen Maschinen wird der Oberboden verdichtet. Die daraus resultierende Staunässe (Krumenwechselfeuchtigkeit) und verminderte Rate der Sauerstoff-Diffusion in den Boden erhöht bei ausreichender Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung die Stickstoff-Verluste durch Denitrifikation. In gut strukturierten, locker gelagerten Böden hingegen versickert das Niederschlagswasser gewöhnlich rasch, sodass Sauerstoffmangel nur für kurze Zeit oder überhaupt nicht eintritt; diese Böden weisen daher ein niedrigeres Denitrifikationspotential als verdichtete, krumenwechselfeuchte Böden auf. Senkenstandorte sind ebenfalls durch ein höheres Denitrifikationspotential als vergleichbare Hangstandorte gekennzeichnet (STAHR 1992). Große denitrifikative Stickstoff-Verluste sind auch in Zeiten, in denen nach hohen Niederschlägen oder intensiver Bewässerung mehrere Tage mit sehr warmem Wetter folgen, zu erwarten. Vor allem im Frühling sind die Böden langfristig mit Wasser von der Schneeschmelze gesättigt. Während dieser Zeit – insbesondere aber bei warmer Witterung – sind die Bedingungen günstig für die Denitrifikation von appliziertem Nitrat-haltigen Dünger-Stickstoff (vgl. MALHI et al. 1990).

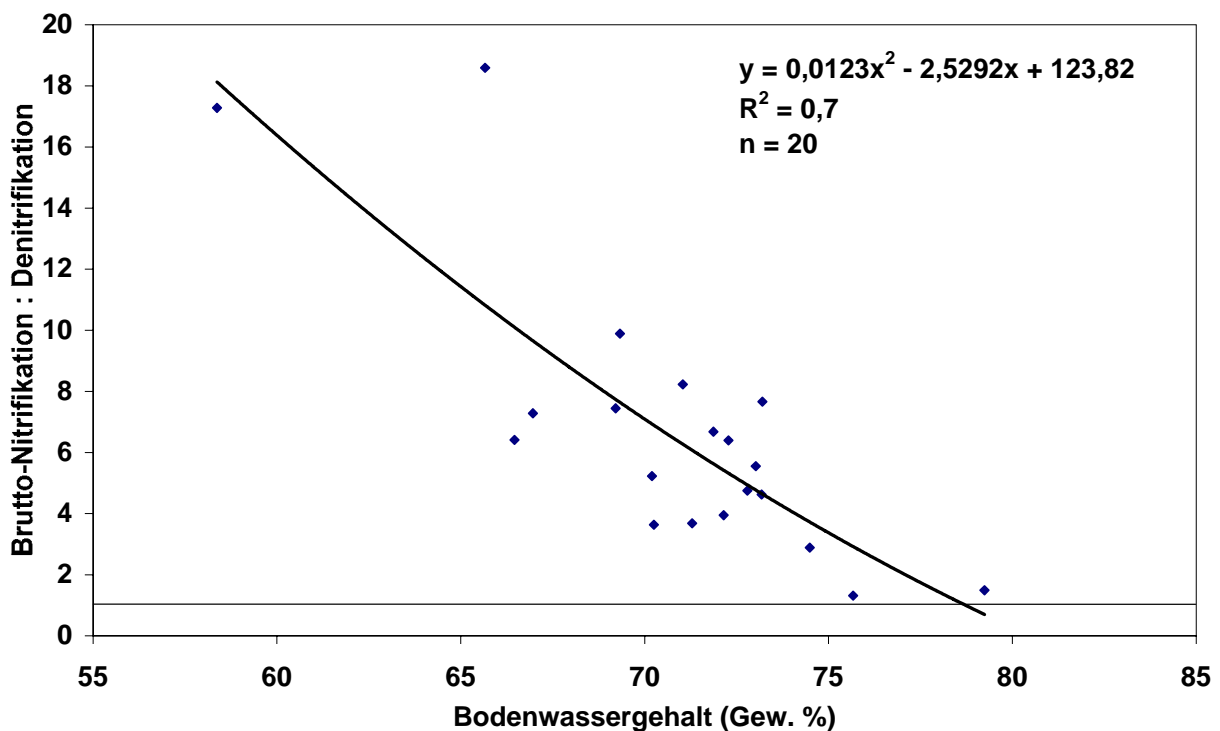


Abbildung 3: Verhältnis Brutto-Nitrifikationsrate zu Denitrifikationsrate in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt (Temperatur: 20° C)

Die Bedeutung des Wasser- und Wärmehaushaltes für das Pflanzenwachstum wird aus der Abbildung 4 ersichtlich. Abbildung 4 zeigt die tägliche oberirdische Biomasseproduktion von Kulturweiden in Abhängigkeit von der Exposition bei sonst gleichen Standortsbedingungen. Auf dem südexponierten Hang ist der tägliche Ertragszuwachs im Frühjahr auf Grund der stärkeren Bodenerwärmung deutlich höher als auf dem nordexponierten Hang derselben Parzelle. Im Sommer hingegen ist die tägliche oberirdische Biomasseproduktion auf dem nordexponierten Hang wegen der besseren Wasserversorgung vergleichsweise höher. Im Herbst bestehen keine expositionsbedingte Unterschiede hinsichtlich oberirdischer Biomasseproduktion. In kühl-feuchten Gebieten ist somit die Wärme vor allem im Frühjahr ein wesentlicher ertragsbegrenzender Faktor; im Sommer hingegen gewinnt die Wasserversorgung an Bedeutung. Der Einfluss der Temperatur auf die oberirdische Biomasseproduktion ist im Herbst viel geringer als im Frühjahr; das Pflanzenwachstum wird im

Herbst hauptsächlich von den ungünstiger werdenden Strahlungsverhältnissen (abnehmende Tageslänge und Lichteinstrahlung) bestimmt (BOHNER und SOBOTIK 2001).

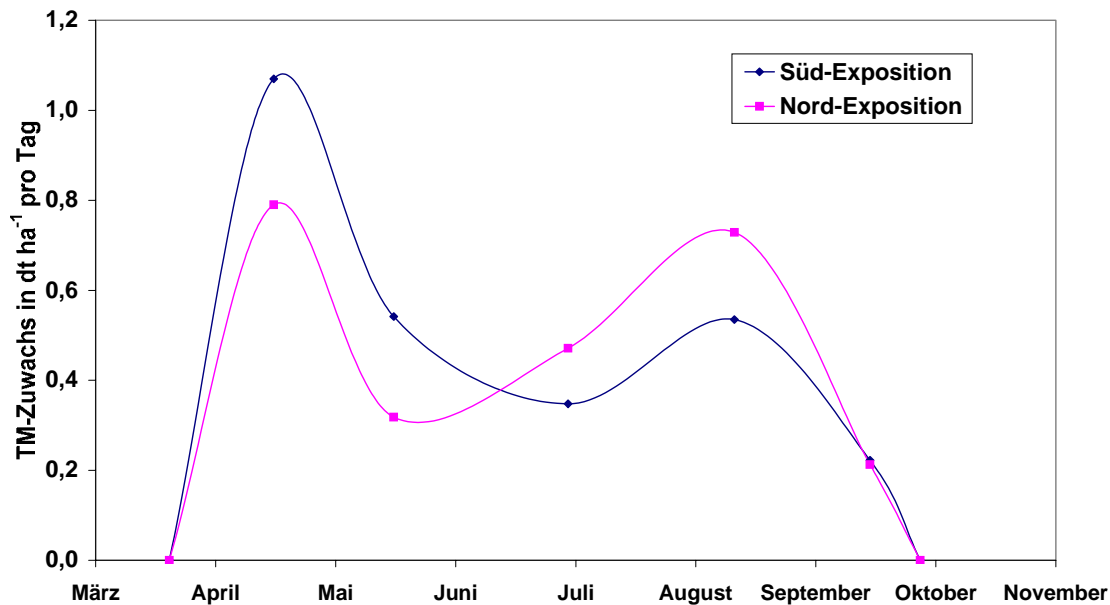


Abbildung 4: Tägliche oberirdische Biomasseproduktion von Kulturweiden in Abhängigkeit von der Exposition (Ort: Bad Mitterndorf; Seehöhe: 760 m; Bodentyp: Braunlehm); Quelle: BOHNER und SOBOTIK 2001

Schlussfolgerung

Aus diesen Untersuchungsergebnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die barometrische Prozess-Separation (BaPS) ist eine neue Methode, mit der relativ schnell und einfach Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten analysiert werden können. Allerdings ist auf Grund der hohen räumlichen und zeitlichen Variabilität insbesondere für eine realistische Schätzung der Denitrifikationsrate eine große Zahl an Messungen erforderlich. Ein weiterer Vorteil von BaPS ist die Möglichkeit Temperatur und Wassergehalt zu variieren sowie ungestörte, feldfrische Bodenproben zu analysieren.
- Die Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsrate werden sehr wesentlich vom Bodenwassergehalt beeinflusst. Mit zunehmendem Bodenwassergehalt sinkt bei konstanter Bodentemperatur die Brutto-Nitrifikationsrate, während die Denitrifikationsrate steigt; das Verhältnis Brutto-Nitrifikationsrate zu Denitrifikationsrate wird enger und erreicht bei einem Bodenwassergehalt von 80 Gew.% einen Quotienten von 0,5.
- Der Bodenwassergehalt und die Bodentemperatur haben einen wesentlichen Einfluss auf den Stickstoff-Metabolismus im Boden und das Pflanzenwachstum. Hohe Bodentemperaturen (mindestens 15-20° C) und Bodenwassergehalte bis 60 Gew.% liefern günstige Voraussetzungen für eine hohe Nitrat-Verfügbarkeit im Boden und ein intensives Pflanzenwachstum. Abnehmende Bodentemperaturen und/oder zunehmende Bodenwassergehalte hingegen senken die Nitrat-Verfügbarkeit im Boden. Vor allem kalte und nasse Böden sind durch eine gehemmte Nitrifikation gekennzeichnet.
- Die Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsrate können durch landwirtschaftliche Maßnahmen nur sehr begrenzt beeinflusst werden. Es ist praktisch unmöglich die Bodentemperatur zu steuern mit dem Ziel die Brutto-Nitrifikationsrate wesentlich zu steigern oder die Denitrifikationsrate deutlich zu senken. Die einzige ökologisch verträgliche Maßnahme zur Reduktion des Risikos von Stickstoff-Verlusten durch Denitrifikation ist die Schaffung oder Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur im Oberboden (Krümelgefüge) durch Vermeidung einer Bodenverdichtung (vgl. RHEINBABEN 1990). Eine Minimierung von

gasförmigen Stickstoff-Verlusten ist außerdem möglich durch eine zeit- und bedarfsgerechte Düngung sowie durch Berücksichtigung des Standortes (insb. Wärme- und Wasserhaushalt bzw. Reliefposition) und der Witterung bei der Dünger-Applikation.

Dank

Wir danken der Firma UMS GmbH München, dass sie uns das BaPS Prozessanalyse-System für Testzwecke kostenlos zur Verfügung gestellt hat.

Literatur

BOHNER, A. und M. SOBOTIK (2001): Vegetationstypen, Böden und Ertragspotential des Wirtschaftsgrünlandes im Mittleren Steirischen Ennstal und Steirischen Salzkammergut und Konsequenzen für die Bewirtschaftung. 45. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 9-21.

BOHNER, A., M. KANDOLF und M. SCHINK (2004): BaPS – eine neue Methode zur Analyse der Temperaturabhängigkeit von Brutto-Nitrifikations- und Denitrifikationsraten in Böden.- ALVA-Tagungsbericht 2004, 53-56.

BRADY, N.C. and R.R. WEIL (1999): The nature and properties of soils. Prentice Hall, 881 p.

FOLORUNSO, O.A. and D.E. ROLSTON (1984): Spatial variability of field-measured denitrification gas fluxes. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 48, 1214-1219.

MALHI, S.S., W.B. MCGILL and M. NYBORG (1990): Nitrate losses in soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration. Soil Biol. Biochem. Vol. 22, 733-737.

PATRICK, W.H. (1982): Nitrogen transformations in submerged soils. In: Stevenson, F.J. (ed): Nitrogen in agricultural soils. Agronomy Monograph no. 22, 449-465.

RHEINBABEN, W. von (1990): Nitrogen losses from agricultural soils through denitrification – a critical evaluation. Z. Pflanzenern. Bodenk. 153, 157-166.

STAHR, K. (1992): Stickstoffvorräte und Stickstoffmineralisierung in baden-württembergischen Böden. Information für die Landwirtschaftsberatung in Baden Württemberg, Nr. 2, 3-31.

Autoren

Dr. Andreas BOHNER, Myriam ADAM, Matthias KANDOLF, Martina SCHINK, Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein (HBLFA), Abteilung für Umweltökologie, Raumberg 38, A-8952 IRDNING, andreas.bohner@raumberg-gumpenstein.at