

Das Nährelement Eisen

Eisen (Fe) ist ein Schwermetall, das im Boden in einer Größenordnung von 40.000 – 80.000 kg pro Hektar vorkommt. Unsere Kulturpflanzen benötigen davon lediglich 0,3 – 0,5 kg / ha. Trotzdem gehören Eisenmangelerscheinungen zu den weltweit am häufigsten auftretenden und gleichzeitig am schwersten zu behandelnden Ernährungsstörungen bei Pflanzen. Allein in Rheinland Pfalz sind einige tausend Hektar obst- und weinbaulich genutzter Flächen in den Trockenlagen der Rheinebene betroffen, vor allem die kalkreichen, feinporigen, stark tonhaltigen Mergelböden in Rheinhessen und am Hardtrand.



Staubnässe bedingter Eisenmangel an Zuckerrüben.



Anfänge einer Eisenmangelchlorose bei „Alexander Lukas“ beginnend in rechter Reihe mit zunehmender Staubnässe (hoher Bicarbonatgehalt).



Verstärkte Eisenmangelchlorose bei „Alexander Lukas“ in der darauffolgenden Reihe mit weiter zunehmender Staubnässe (sehr hoher Bicarbonatgehalt).

Pflanzenverfügbares Eisen

Der größte Teil des bodenbürtigen Eisens ist im Kristallgitter verschiedenster Mineralien fest gebunden. Bei deren Verwitterung mit Hilfe von Sauerstoff und Wasser entstehen unter anderem Eisenoxide und -hydroxide, die eine zentrale Bedeutung für das Angebot an pflanzenverfügbarem Eisen haben. Die Eisenoxide liegen in Abhängigkeit vom so genannten Redoxpotential des Bodens in drei- oder zweiwertiger Form vor. Unter sauerstoffarmen Bedingungen, d.h. bei niedrigem Redoxpotential (feuchter Boden) werden die dreiwertigen Fe^{3+} -Ionen zu pflanzenverfügbaren zweiwertigen Fe^{2+} -Ionen reduziert. Im sauerstoffreichen Milieu, beispielsweise bei Trockenheit, oxidiert das zweiwertige Eisen zum dreiwertigen Eisen.

Die Löslichkeit der Eisenoxide nimmt mit zunehmendem pH-Wert drastisch ab, und zwar um das 100–1000-fache pro pH-Einheit. Damit einhergehend wird auch das Gesamtreservoir an potentiell pflanzenverfügbarem Eisen im Boden geringer. Hohe Mengen an pflanzenverfügbarem zweiwertigem Eisen (Fe^{2+}) befinden sich daher

- ▶ im leicht sauren Milieu (< pH 6,0–6,5)
- ▶ vor allem bei ausreichender Bodenfeuchte

Die Verfügbarkeit an zweiwertigem Eisen nimmt hingegen ab mit

- ▶ zunehmendem pH-Wert (> pH 6,5)
- ▶ ansteigendem Redoxpotential (Trockenheit)

Dreiwertiges Eisen (Fe^{3+}) ist nicht direkt pflanzenverfügbare, sondern muss entweder im Boden oder in der Wurzelmembran (Eisenreduktase) zu Fe^{2+} reduziert oder chelatisiert werden [Abb. 3 + 4]. Die Pflanzenwurzeln können außer zweiwertigem Eisen auch chelatgebundenes, dreiwertiges Eisen aufnehmen [Abb. 2]. Besonders auf kritischen Standorten kann die organische Eisenfraktion eine wichtige Rolle bei der Eisenversorgung der Pflanzen einnehmen. Die Pflanzenwurzeln können Chelate als ganzes Molekül aufnehmen und das eingeschlossene Eisen weiterverwenden. Solche Komplexbildner (z.B. Zitronensäure) können von den Wurzeln gezielt ausgeschieden werden. Eisenchelate stellen somit eine gleichermaßen stabile wie mobile Aufnahmeform des Eisens dar, die vor allem bei hohem pH-Wert in Lösung und damit pflanzenverfügbare bleiben.

Die Eisenaufnahme

Bei der Eisernahrung der Pflanzen nimmt neben der Menge an pflanzenverfügbarem Eisen im Boden der Aufnahmeprozess eine Schlüsselrolle ein. Die Aufnahme von Eisen in Form von Fe^{2+} bzw. Eisenchelaten erfolgt vornehmlich über den Wurzelhaarbereich direkt hinter den Wurzelspitzen. Während zweiwertiges Eisen und Chelate problemlos aus der Rhizosphäre aufgenommen werden, muss das dreiwertige Eisen erst von der so genannten Eisenreduktase zu zweiwertigem Eisen reduziert werden, bevor die Aufnahme erfolgt. Die Eisenreduktase befindet sich

in den Membranen der Wurzelzellen [Abb. 3]. Ihre Aktivität sinkt mit zunehmendem pH-Wert.

Zur Pufferung bzw. Stabilisierung des pH-Wertes leistet das so genannte Bicarbonat, das aus dem Kohlendioxid des Bodenwassers entsteht, einen erheblichen Beitrag. Hohe Bicarbonatgehalte entschärfen den „Versauerungsprozess“ und tragen damit indirekt, aber entscheidend, zur Hemmung der Eisenaufnahme bei. Der Bicarbonatgehalt des Bodens nimmt mit steigendem pH-Wert und mit zunehmender Wassersättigung (Verdichtung) zu.

Folglich ist nicht nur die Pflanzenverfügbarkeit, sondern auch die Aufnahme von Eisen in hohem Maß vom pH-Wert des Bodens abgänglich. Ca. 50 Prozent (!) der Eisenaufnahme erfolgt durch direkten Kontakt der Pflanzenwurzeln mit eisenhaltigen Bodenpartikeln. Ein aktives kontinuierliches Wurzelwachstum bildet deswegen eine wichtige Voraussetzung für eine gute Eisenversorgung und stimuliert darüber hinaus auch die Produktion von Chelatoren. Offensichtlich ist auch die Mykorrhizierung der Wurzeln für die Eisenversorgung der Pflanzen von Bedeutung.

Hemmung der Eisenaufnahme

Versorgungsengpässe entstehen vor allem auf Trockenstandorten mit hohem pH-Wert. In solchen Böden liegen nur geringe Mengen an pflanzenverfügbarem Eisen vor und es treten Störungen bei der Eisenaufnahme auf. Ferner können die Aufnahme und der Transport von Eisen durch ein hohes Phosphatangebot in der Rhizosphäre beeinträchtigt werden. Phosphate fallen pflanzenverfügbares Eisen sowohl in Wurzelnähe als in den Leitungsbahnen der Pflanze zu Eisenphosphaten aus und inaktivieren es auf diese Weise. Für die Eisenver-

sorgung leistet das chelatgebundene Eisen im Boden einen wichtigen Beitrag. Das Angebot an chelatbildenden Substanzen steht mit der Menge und Qualität der organischen Substanz in engem Zusammenhang. Geringe Humusgehalte sind deshalb gleichbedeutend mit einem geringen Angebot an Eisenchelaten. Um die organischen Komplexe konkurriert vor allem das Schwermetall Kupfer. Ein hohes Kupferangebot kann über sinkende Eisenchelatbildung einen Fe-Mangel induzieren.

Transport

Eisen wird überwiegend als Fe^{3+} -Citrat im Gefäßteil in der Pflanze transportiert [Abb. 4]. In den Blattadern liegt das Eisen somit in der physiologisch inaktiven dreiwertigen Form vor. Beim Übergang aus dem Gefäßteil in das Zytoplasma der Blattzellen muss das dreiwertige Eisencitrat wieder reduziert werden, so dass dort fast ausschließlich das „aktive“ zweiwertige Eisen vorzufinden ist. Innerhalb der Pflanze ist die Beweglichkeit von Eisen nicht sehr groß. Das Nährelement wird beispielsweise kaum von den älteren Blättern in die jüngeren verlagert. Daher ist Eisenmangel zu allererst an den jüngsten Blättern zu beobachten, bei denen gleichzeitig der Eisenbedarf für die Chlorophyllbildung besonders hoch ist. Selbst wenn unmittelbar nach einer Mangelsituation ausreichend hohe Mengen von der Pflanze aufgenommen werden, stellt sich zwischen den Blattgenerationen kein Konzentrationsausgleich ein. Die sich nach Fe-Düngung neu entwickelnden Blätter sind daher häufig dunkelgrün, während die alten nach wie vor Chlorosen aufweisen. Das heißt starker Eisenmangel „wächst“ sich normalerweise nicht aus. Auch nach einer Eisen-Behandlung über die Blätter findet kaum eine Verlagerung in Blattbereiche statt, die nicht vom Spritzbelag getroffen wurden.

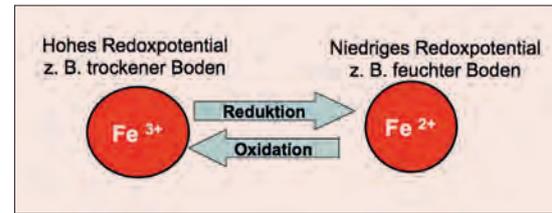


Abb. 1: Reduktion und Oxidation von Eisenoxiden im Boden.

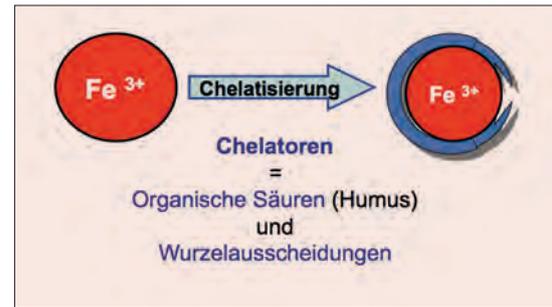


Abb. 2: Entstehung und Aufbau von Bodenchelaten.

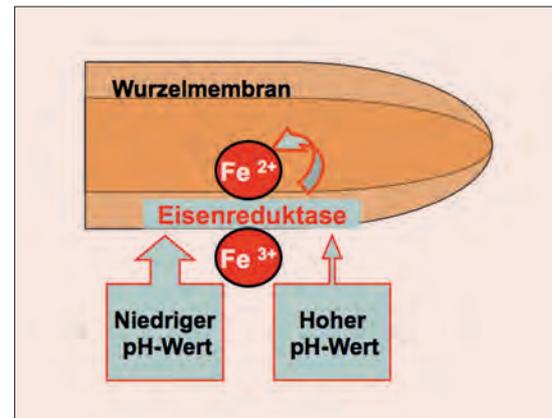


Abb. 3: Position und Wirkungsweise der Eisenreduktase in Abhängigkeit vom pH-Wert.

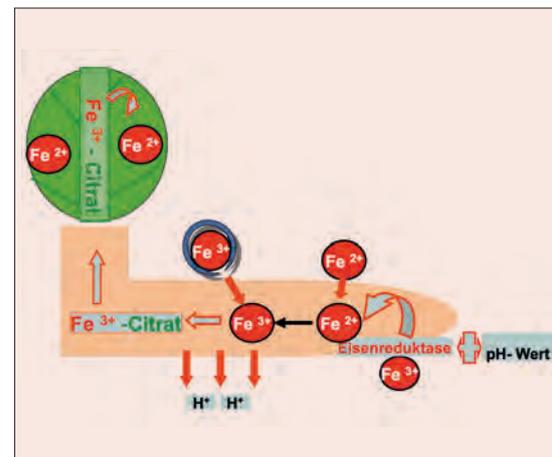


Abb. 4: Aufnahme von Eisen über die Wurzelspitzen. Umwandlung, Weitertransport und Umsetzung von inaktivem dreiwertigem Eisencitrat zu aktivem zweiwertigem Eisen in den Blättern.



Typisches Eisenmangelsymptom bei Birnen („Alexander Lukas“): Eisenmangel beginnt mit chlorotischem Befall (jüngster Blätter) an einzelnen Ästen.



Vorzeitig reifende Früchte an Bäumen der Sorte „Alexander Lukas“, die von Eisenmangel betroffen sind.



Eisenmangel an Blättern der Apfelsorte „Wellant“.

Obstart / Zeitraum	Mai bis Juni	Juli bis September
Kernobst	50 – 150	50 – 200
Steinobst	20 – 150	
Beerenobst	100 – 150	

Tab. 1: Blattgrenzwerte für Eisen (Quelle: PFC Gorsem).

Funktionen von Eisen in der Pflanze

- ▶ Eisen ist Baustein zahlreicher Enzyme, u. a. solcher, die am Chlorophyllaufbau beteiligt sind. Etwa 80 Prozent des Eisens befinden sich in den Chloroplasten, was die zentrale Bedeutung dieses Nährelementes für den Chlorophyllaufbau kennzeichnet.
- ▶ Eisen ist für die Übertragung des Energiegewinns bei der Photosynthese verantwortlich (Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie).
- ▶ Weiterhin ist Eisen am Nucleinsäurestoffwechsel sowie an der Nitratreduktion und auf diese Weise an der Eiweißsynthese beteiligt.
- ▶ Erhebliche Eisenmengen befinden sich in den Mitochondrien, den „Kraftwerken“ der Zellen. Das Eisen übt damit eine sehr wichtige Funktion beim Prozess der Gewinnung von Atmungsenergie aus.

Eisen nimmt unter den Spurennährelementen somit eine Schlüsselstellung bei allen vegetativen Wachstumsprozessen ein.

Versorgungsstufen in Boden und Blatt

Aufgrund der geschilderten Zusammenhänge ist eine eindeutige Beurteilung des Angebotes an aktivem Eisen weder über Bodenuntersuchungen noch über die Blattanalysen möglich. Allenfalls der pH-Wert des Bodens und dessen Neigung zur Verdichtung und Austrocknung geben Hinweise auf die Chloroseanfälligkeit des Standortes. Blattanalysen weisen den Gesamtgehalt an Eisen aus und damit sowohl die physiologisch inaktive dreiwertige Form wie auch das aktive zweiwertige Eisen [Abb. 4]. Etwas aussagekräftiger ist demgegenüber offensichtlich das P/Fe-Verhältnis der Blätter, welches mit dem Anteil an „aktivem“ Eisen und der Chloroseintensi-

tät korreliert. Die bekannten Grenzwerte für Blätter sind in Tabelle 1 aufgeführt. Eine eindeutige Diagnose von Eisenmangel ist nur über das allerdings sehr spezifische Blattsymptom möglich.

Eisenmangel

Ein Mangel an Eisen bedeutet immer ein Defizit an Chlorophyll, Eiweiß und Energie. In Folge dessen verschlechtert sich das Ertrags- und Wuchsverhalten befallener Pflanzen sehr deutlich. Die klassischen Chlorosen zeichnen sich durch einen vollständigen Chlorophyllverlust der jüngsten Blätter aus, bei denen eine typisch leuchtend gelbe Farbe entsteht („Gelbblaugigkeit“), wobei lediglich das Blattadernnetz ein wenig grün bleibt. In der ersten Phase sind bei Bäumen einzelne Astpartien betroffen. Bei anhaltendem Mangel können ganze Pflanzen vergilben. In extremen Fällen kommt es sogar zu Blattfall und zum Absterben von Astpartien. Auch Früchte, insbesondere Birnen, werden wegen der Chlorophylldefizite rasch gelb, teilweise sogar untypisch rot.

Voraussetzungen für das Auftreten von Eisenmangel

Leichte Eisenmangelerscheinungen werden oft gar nicht als solche erkannt. Sie treten unter ungünstigen Boden- und Umwelteinflüssen auf, vor allem auf schweren Böden unter Staunässeinfluss im Verlauf von Kälteperioden im Frühjahr als Folge eines verringerten Feinwurzelwachstums und damit verringerter Eisenaufnahme. Sie wachsen sich normalerweise nach Erwärmung vollständig aus. Bei den klassischen Chlorosen handelt es sich um Störungen des Eisenhaushaltes in der Pflanze. Sie werden auch als „Kalkchlorosen“

bezeichnet, da sie auf Kalkböden oder aufgekalkten Flächen auftreten, vor allem auf stark tonhaltigen, trockenen, humusarmen und phosphatreichen Böden und insbesondere bei Pflanzen mit gestörtem Wurzelwachstum (Verdichtungen, Wurzelschnitt, hohe Vorjahreserträge). Die Chlorosen erscheinen überwiegend im Hochsommer nach Austrocknung des Bodens und sind auch nach Wiederbefeuchtung und nachfolgender Eisenaufnahme noch lange an den Pflanzen sichtbar.

Schlechtwetterchlorosen treten in Folge kalter, nasser Wetterperioden auf sauerstoffarmen Böden einhergehend mit schlechtwetterbedingter geringer Assimilatbildung auf. Im Verlauf der nun folgenden warmen, wüchsigen Wetterperiode verdünnt sich das nur in geringen Mengen aufgenommene Eisen. In dieser Konstellation entwickeln sich sehr rasch gravierende Eisenmangelsymptome, besonders bei anschließender Trockenheit.

Anfälligkeit verschiedener Obstarten

Hinsichtlich des klassischen Eisenmangels („Kalkchlorose“) sind die einzelnen Obstarten wegen ihrer unterschiedlichen Aufnahmeeffizienz unterschiedlich anfällig, und zwar in folgender Reihenfolge: Pfirsich → Birne auf Quittenunterlagen → Johannisbeere → Pflaume → Quitte → Apfel → Birne auf Sämlingsunterlagen (inkl. OHF) → Aprikose → Kirschen. Innerhalb der Quittenunterlagen bei Birnen reagieren Angersquitten (Quitte C, Quitte Adams und Quitte A) empfindlicher als Provencequitten (BA 29). Bei den Kirschenunterlagen ist *P. mahaleb* offensichtlich weniger anfällig als *P. avium*.

Abhilfe bei Eisenmangel

- ▶ Auswahl geeigneter Standorte, Sorten, Unterlagen
- ▶ pH-Wert nicht über pH 7 einstellen
- ▶ Für gute Durchlüftung und Bodenstruktur sorgen durch: Drainage, Be-

Eisen-Dünger	Vertreiber	Eisengehalt Chelat Isomer	Empfohlene Aufwandmenge pro Hektar
Carbo-Eco-Fe	Phytosolution	5 % Eisensulfat	5 – 10 kg
Lebo-Fer-WG	Lebosol	6 % EDDHA 4,8 % ortho-ortho	15 – 30 kg
Sequestren 138	Syngetha	6 % EDDHA 3,0 % ortho-ortho 2,7 % ortho-para 0,3 % para-para	15 – 30 kg
CreScal Fe	Manna	6 % EDDHA 4,8 % ortho-ortho	15 – 30 kg
Yara Vita Tenso Iron	Yara	6 % EDDHA 3,5 % ortho-ortho 2,5 % ortho-para	15 – 30 kg
Folicin DD	Jost	6 % EDDHA 3,6 % ortho-ortho 2,4 % ortho-para	15 – 30 kg

Tab. 2: Übersicht wichtiger Eisenbodendünger – Nur einfache Eisensulfatdünger sind als Bodendünger nach EU-VO-834/2007 Ökoanbau zugelassen.

Eisen-Dünger	Vertreiber	Chelat / Eisengehalt	Zusätzliche Nährelemente	Aufwandmenge pro Hektar
Carbo-Eco-Fe	Phytosolution	5 % Eisensulfat		2 – 5 l
Lebosol Eisencitrat	Leboso	Citrat 50 g / l		3 – 7 l
Wuxal Eisen plus	Manna	Glucoheptonat 70 g / l	5 % N	2 – 3 l
Fe-Biotrissol-Gluconat	Propfe	Glucoheptonat + Citrat 65 g / l	Glucoheptonat + Citrat 65 g / l	3 – 5 l
Fetrilon 13 %	Compo	EDTA 13 %		1 – 2 kg

Tab. 3: Übersicht wichtiger Eisenblattdünger – Nur einfache Eisensulfatdünger sind als Blattdünger nach EU-VO-834/2007 Ökoanbau zugelassen.

seitigung von Verdichtungen (Fahrschpuren), Lockerung, Gründüngung.

- ▶ Einsatz physiologisch saurer Dünger bis pH 7,5, wie beispielsweise schwefelsaures Ammoniak (u. a. in Vinasse) bzw. Kalisulfat usw.
- ▶ Ausgewogene Phosphatnahrung über Boden und Blatt
- ▶ Vorsicht mit dem Eintrag großer Mengen rasch verrottender organischer Substanz.
- ▶ Rechtzeitige und kontinuierliche Boden- bzw. Blattdüngung mit geeigneten Eisendüngern, am besten Eisenchelaten. Solange die Blätter noch nicht ausgewachsen sind, können die Symptome noch einigermaßen revidiert werden. Später ist die Vergilbung irreversibel.

Bodendüngung

Im Ökoanbau können lediglich einfache Eisensulfatdünger angewendet werden.

Der Übersicht halber sind in Tabelle 2 darüber hinaus auch die im IP-Anbau erlaubten Präparate aufgeführt. Dabei handelt es sich um Eisensulfate, die mit synthetischen, pH-stabilen EDDH(M)A Chelatoren versetzt wurden und auf diese Weise eine lange aufnehmbare Verweilzeit in alkalischen Böden besitzen. Die im Ökoanbau zulässigen Eisensulfate werden auf solchen Standorten hingegen sehr schnell festgelegt. Eine Verbesserung der Wirkung ist allenfalls im Zusammenwirken mit organischen Chelatoren (= organische Düngung) und Blattdüngung zu erwarten. Das Eisensulfat kann bei der Ausbringung gelöst und zusammen mit Ammoniumhaltigen Flüssigdüngern (z. B. Vinasse) ausgebracht werden. Die Kombination mit Ammoniumhaltigen Düngern verstärkt an der Wurzelhaarzone die Abgabe von H⁺-Ionen, was zu einer leichten Versauerung der Rhizosphäre führt und somit



Injektion eines Bodenchelates mit Hilfe eines Wurzelschnittgerätes.



Berostung bei „Golden Delicious“ hervorgerufen durch unsachgemäßen Einsatz von Eisenchelaten bzw. -sulfaten.

zu einer besseren Verfügbarkeit von Eisen, Zink, Mangan und Bor beiträgt. Die Ausbringung hoher Mengen sollte dabei im zeitigen Frühjahr erfolgen, wenn möglich vor einem Niederschlag. Eine andere Möglichkeit der Eisen-Injektion besteht in der Zuhilfenahme eines Wurzelschneiders, dessen Messer flach (5–10 cm tief) an den Bäumen vorbeigezogen wird. Dabei wird unmittelbar hinter dem Messer die Eisen-Ammonium-Lösung per Schlauch injiziert.

Blattdüngung mit Eisen

Im Ökoanbau sind nur wenige Eisenprodukte zugelassen und diese überwiegend auf Basis von Eisensulfat. Das elementare Eisensulfat ist nur gering pH-Wert-stabil und verursacht bereits bei moderaten Aufwandmengen Phytotox, insbesondere an Früchten. Daher ist es lediglich vor der Blüte und nach der Ernte empfehlenswert, auf Eisensulfathaltige Blattdünger zurückzugreifen und wenn dann nur in gerin-

gen Aufwandmengen und bei Temperaturen unter 20° C.

Von der französischen Firma Biodevas werden zwei Produkte auf Pflanzenextraktbasis angeboten, über deren Wirkung und Verträglichkeit bisher keine Erfahrungen vorliegen.

Das bislang effizienteste und verträglichste Blattdüngeprodukt, Lebosol Eisencitrat, ist leider ab Januar 2016 wegen des Harnstoffanteils nicht mehr FIBL gelistet.

Damit entfällt de facto, sowohl über den Boden wie auch über das Blatt, die Möglichkeit einer effizienten, direkten Bekämpfung von Eisenmangel.



GERHARD BAAB
DLR Rheinpfalz
Kompetenzzentrum Gartenbau
Campus Klein-Altendorf 2
53359 Rheinbach
gerhard.baab@dlr.rlp.de

Bio-Bäume

POB bietet Ihnen qualitativ hochwertiges Pflanzgut in Bio-Qualität. Der Erfolg einer Obstanlage hängt sehr stark von der **Qualität des Pflanzmaterials** ab.

Unser Bio-Sortiment auf M9 Knip:

Topaz® mit Zwischenveredlung, Roter Topaz® mit Zwischenveredlung, Santana®, Collina®, Red Elstar®, Novajo®, Gala, Pinova®, Galiwa, Braeburn Hillwell®, Elstar Elrosa®, Boskoop Quast®, Sirius®

Neu! Allurèl®, Natyra® bei Vorbestellung, in Abstimmung mit Föko e.V.



POB Leicht & Wetzler GmbH • Daimlerstr. 6 • 88074 Meckenbeuren • Tel 07542-937660
Fax 07542-932286 • Mobil 0171-6835430 • www.pob-obstbauberatung.de
POB-Leicht-Wetzler@t-online.de • D-BW-022-05046-H - DE-022-Öko-Kontrollstelle

BAUMSCHULE DIPL. ING. J. JACOBY

Tel: 0177-5806857 Fax: 06868-575

E-mail: eko-vita.jacoby@t-online.de

Bio-Obstbäume

- ▶ Große Auswahl an Sorten & Baumformen
- ▶ Der Spezialist für Mostobstbäume
- ▶ Ernte-Technik und Bio-Mostobsthandel